Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Вологодский государственный технический университет»
Правительство Вологодской области
Фонд содействия развитию малых форм предприятий
в научно-технической сфере
при поддержке
Союза молодых ученых и специалистов Вологодской области

МАТЕРИАЛЫ
VI ЕЖЕГОДНОЙ НАУЧНОЙ СЕССИИ
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
ПО ОТРАСЛЯМ НАУК

Том I
Технические науки

Вологда
2012

УДК 001 (06)
ББК 72
М 34

Редакционная коллегия:
Плеханов А.А., канд. техн. наук, проректор по научной работе и инновационному развитию;
Андреев М.А., канд. техн. наук, доцент;
Булгакова Л.И., канд. техн. наук, доцент;
Верхорубов В.В., канд. техн. наук, доцент;
Дубов С.Н., канд. экон. наук, доцент;
Игнатьевский В.А., канд. экон. наук, доцент;
Лебедева Е.А., канд. техн. наук, доцент;
Москвина О.С., канд. экон. наук, доцент;
Поздеев Н.Д., канд. техн. наук, доцент;
Пономарева С.А., канд. экон. наук, доцент;
Рувинова Л.Г., д-р биол. наук, профессор;
Телина Н.В., начальник отдела НИРСиА.

М **34** **Материалы VI ежегодной научной сессии аспирантов и молодых ученых по отраслям наук:** в 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – Т. 1: Технические науки. – 397 с.

ISBN 978–5–87851–471–2 (Т. 1)
ISBN 978–5–87851–470–5

В сборнике представлены результаты научных исследований молодых ученых, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов вузов Вологодской области по проблемам экономики, информационных технологий, электроэнергетики, строительства, экологии, природопользования и охраны окружающей среды.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ

УДК 001 (06)
ББК 72

ISBN 978–5–87851–471–2 (Т. 1)
ISBN 978–5–87851–470–5

© ВоГТУ, 2012

Секция «УПРАВЛЯЮЩИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И БИЗНЕСЕ»

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СФЕРЕ ЖКХ

А.Н. Бажинов
Научный руководитель ***Е.В. Ершов****, д-р техн. наук, профессор*
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

Внедрение современных технологий в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) приводит к революционным изменениям в управлении энергоресурсами, повышая эффективность, надёжность и адаптивность работы энергетических сетей.

Автоматизированная система комплексного учёта энергоресурсов (АСКУЭ) применяется эксплуатационными и обслуживающими компаниями, осуществляющими учёт и контроль потребления энергоресурсов объектов.

АСКУЭ делает возможным решение задач оптимизации технологических и бизнес-процессов, поиска наиболее рационального использования имеющейся инфраструктуры, играет ключевую роль в повышении эффективности энергетики в масштабах города, выводит взаимоотношения с потребителями на качественно новый уровень, обеспечивает ясные выгоды как для ресурсоснабжающих предприятий, так и для потребителей.

Выгоды для предприятия включают:

- повышение операционной эффективности;
- повышение надёжности распределительных сетей и качества энергоресурсов;
- оптимизацию капиталовложений в инфраструктуру;
- улучшение обслуживания потребителей.
- Выгоды для потребителей могут включать:
- экономию энергоресурсов;
- повышение энергоэффективности.

Муниципальное унитарное предприятие г. Череповца «Электросеть» завершает создание системы коммерческого учета электроэнергии, что позволит ему получать данные об объемах электропотребления со своих приборов в режиме онлайн, тем самым повышая операционную эффективность, делая возможным глубокий комплексный анализ потребления электроэнергии, по-

зволяя внедрять новые структуры тарифов. Используемые в системе электросчетчики могут выступать в качестве шлюза, центра для сбора данных с приборов учета газа, воды, теплоэнергии. Применяемые технологии передачи информации по электросетям низкого напряжения уникальны для нашего региона и позволяют значительно снизить финансовые затраты на передачу данных.

Реализация автоматизированной системы учета всех видов энергоресурсов на основе системы АСКУЭ МУП «Электросеть» позволит получать информацию с общедомовых приборов учета об объемах и качестве поставляемых энергоресурсов. Вследствие большого числа точек учета энергоресурсов (аналитические оценки определяют более 50000 точек учета) возникает необходимость в подходах, инструментах и методах обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия для получения человеко-читаемых результатов, эффективных в условиях непрерывного прироста, распределения по многочисленным узлам коммунальной инфраструктуры.

В современных условиях работы предприятий сферы ЖКХ анализ данных большого объема с использованием методов математической статистики и технического анализа дает значительную погрешность из-за отсутствия учета влияния ряда факторов, являющихся первостепенными в условиях сложившихся рыночных отношений. Жесткая связь потребления энергоресурсов с технологическим процессом, большая зависимость от управленческих решений, определяемых конъюнктурой рынка, приводят к необходимости перехода к многофакторным моделям анализа и прогнозирования. Однако введение таких моделей подразумевает наличие гибкого и мощного математического аппарата, способного производить вычисления с учетом нестационарности временных рядов с информацией о потреблении энергоресурсов, нелинейной зависимости между используемыми факторами, а также в условиях ограниченного времени анализа в условиях реальной работы предприятий. Из существующих эффективных способов решения таких задач можно выделить методы анализа и прогнозирования с помощью гибридных систем, в основе которых лежат нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткая логика и другие технологии.

В качестве предиктора была выбрана модель анализа и прогнозирования с помощью нейро-нечетких систем. Попытки объединения нейронных сетей и нечеткой логики стали в последние годы предметом весьма интенсивных исследований. Их результатом можно считать системы выработки решений, в разной степени реализующих идею нечеткого мышления в комплексе с заимствованной от нейронных сетей способностью к обучению.

Структура модуля нейро-нечеткого управления.

Используемый модуль нейро-нечеткого управления имеет вид [2]:

$$\bar{y}=\frac{\sum_{k=1}^{N}\bar{y}^{k}\left(\prod_{i=1}^{n}\exp\left[-\left(\frac{\bar{x}_i-\bar{x}_i^{k}}{\sigma_i^{k}}\right)^2\right]\right)}{\sum_{k=1}^{N}\left(\prod_{i=1}^{n}\exp\left[-\left(\frac{\bar{x}_i-\bar{x}_i^{k}}{\sigma_i^{k}}\right)^2\right]\right)} \tag{1}$$

Использованы следующие соотношения:

1. **Метод дефуззификации** – centeraveragedefuzzification, в соответствии с которым

$$\bar{y}=\frac{\sum_{k=1}^{N}\bar{y}^{k}\mu_{\bar{B}^k}(\bar{y}^{k})}{\sum_{k=1}^{N}\mu_{\bar{B}^k}(\bar{y}^{k})}, \tag{2}$$

где A_i^k, B_i^k - нечеткие множества, $\bar{y}^k$ - центр (center) нечеткого множества $\bar{B}^k$, т.е. точка, в которой $\mu_{B^k}(y^k)$ достигает максимального значения, *N*-количество нечетких правил, $x_1,..,x_n$ - входные переменные модели, $y_1,..,y_m$ - выходные переменные модели [2].

2. **Нечеткий вывод** согласно соотношению

$$\mu_{\bar{B}^k}(y^k)=\sup_{x_1,...,x_n\in X}\left\{\mu_{B^k}(y^k)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^{'}}(x_i)\mu_{A_i^k}(x_i)\right\}, \tag{3}$$

где X - пространство с конечным числом переменных.

3. **Метод фуззификации** – с операцией типа синглетон [3]

$$A^{'}(x)=\begin{cases}1, если\ x=\bar{x}\\ 0, если\ x\neq\bar{x}\end{cases} \tag{4}$$

Заметим, что супремум в формуле (3) достигается только в случае, когда $x=\bar{x}$, т.е. для $\mu_{A_i^{'}}(x_i)=1$. При этом выражение (3) принимает вид

$$\mu_{\bar{B}^k}(y^k)=\mu_{B^k}(y^k)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^k}(x_i) \tag{5}$$

4. **Функция принадлежности** – функция Гаусса [3]

$$\mu_{A_i^k}(x_i)=\exp\left[-\left(\frac{\bar{x}_i-\bar{x}_i^{k}}{\sigma_i^{k}}\right)^2\right], \tag{6}$$

где параметры $\overline{x}_i^k$ и σ_i^k имеют физическую интерпретацию: $\overline{x}_i^k$ - это центр, а σ_i^k - ширина гауссовской кривой. Эти параметры могут модифицироваться в процессе обучения, что позволяет изменять положение и структуру нечетких множеств.

Каждый элемент формулы (1) можно задать в форме функционального блока (сумма, произведение, функция Гаусса), что после соответствующего объединения позволяет создать многослойную нейронную сеть. Пример подобной структуры приведен на рис. 1.

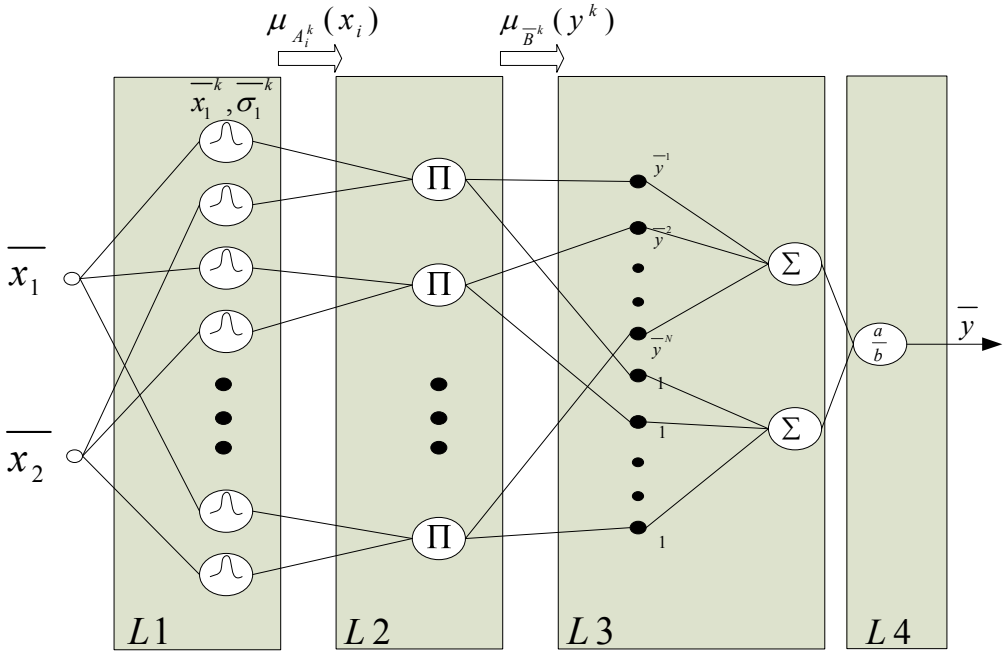


Рис. 1. Схема реализации модуля нейро-нечеткого управления

Для упрощения на схеме показан модуль управления с двумя входами (n = 2). Слои обозначены символами от ***L1*** до ***L4*** и выделены серым фоном. Элементы, обозначенные символом $\prod$ (мультипликаторы), перемножают все входные сигналы, элементы, обозначенные символом $\sum$ (сумматоры) - суммируют их, а элемент $\frac{a}{b}$ делит один сигнал на другой. Черные поименованные точки, размещенные на связях, обозначают веса этих связей. Элементы слоя ***L1*** реализуют функцию Гаусса с параметрами $\overline{x}_i^k$ и σ_i^k. Выражения и стрелки, размещенные над схемой, определяют направление распространения сигнала и его интерпретацию. В представленной структуре выделены четыре слоя.

Слой 1 (*L1*). Каждый его элемент реализует функцию принадлежности нечеткого множества A_i^k, $i=1..n$, $k=1..N$.

Слой 2 (*L2*). Конфигурация связей этого слоя соответствует базе правил, а мультипликаторы - блоку вывода (формула (5)). На выходе слоя *L2* формируется результат вывода в виде значения функции принадлежности $\mu_{\overline{B}^k}(y^k)$. Количество элементов этого слоя равно количеству правил N. Каждый узел связан с предыдущим слоем таким образом, что узел слоя *L2*, соответствующий k-му правилу, соединен со всеми узлами слоя *L1*, соответствующими нечетким множествам суждений этого правила.

Слои 3 (*L3*) и 4 (*L4*). Оба слоя представляют собой реализацию блока дефуззификации, реализующего зависимость (2). Веса связей, доходящих до верхнего узла слоя *L3* и обозначенные $\overline{y}^k$, интерпретируются как центры функций принадлежности нечетких множеств B^k. Эти веса, также как и значения параметров $\overline{x}_i^k$ и σ_i^k в слое *L1*, будут модифицироваться в процессе обучения. На выходе слоя *L4* формируется «четкое» (дефуззифицированное) выходное значение модуля управления $\overline{y}$ [2, с. 312-313].

Модификация модуля.

В рассмотренной выше структуре в каждом k-м правиле, $k=1..N$, учитывается предопределенное количество нечетких множестве A_i^k, $i=1..n$. Результат этого проявляется в большом количестве обрабатывающих элементов первого слоя (L1): это количество равно $n \times N$. Однако изучение реальных систем показывает, что нечеткие множества одной и той же переменной оказываются весьма близкими друг другу(расстояния между их центрами невелики). Поэтому их можно заменить одним нечетким множеством. Будем использовать следующую методику: вначале определяется фиксированное количество нечетких множеств для каждой переменной, и в последующем именно они и используются в правилах вывода. Например, если некоторая переменная представляет температуру окружающей среды, то для нее задается фиксированное количество нечетких множеств типа «очень холодно», «холодно», «около нуля», «тепло», «жарко» и именно на их основе формируются соответствующие правила. Пример модифицированного таким образом модуля управления представлен на рис.2. На нем видно, что в связях между слоями L1 и L2, отображающих структуру правил, одни и те же нечеткие множества A_i^k содержатся в различных правилах. Очевидно, что количество элементов в слое L1 на рис. 2 оказывается меньше, чем на рис. 1, тогда как количество элементов в слое L2 на обоих рисунках совпадает. Именно в этом заключается принципиальное различие между структурами, изображенными на рис. 1 и 2.

При проектировании двухвходового модуля управления при условии, что для каждого входа определяется семь нечетких множеств количество узлов в первом слое на рис. 2 составит 7+7 = 14. В этом случае может быть по-

строено максимум 7x7 = 49 правил. Если бы те же 49 правил использовались в немодифицированном модуле управления, то количество нечетких множеств (и, соответственно, количество узлов в первом слое) для тех же двух входов составило бы 2x49 = 98 . Выигрыш очевиден.

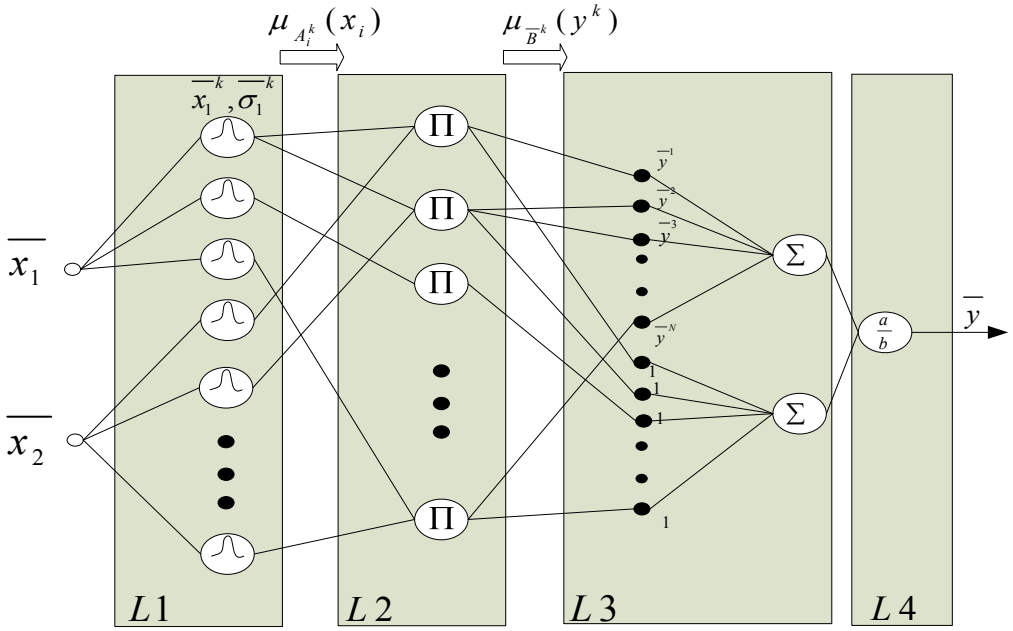


Рис. 2. Схема реализации модифицированного модуля нейро-нечеткого управления

Аналогичные упрощения можно выполнить и в отношении нечетких множеств B^k .

Сложность анализа данных в автоматизированных системахкомплексного учета энергоресурсов обусловлена большим объемом информации и необходимостью учета многих факторов. И, как следствие, для проведения вычислений требуется много времени, но оперативный анализ и прогнозирование нередко критичны ко времени выполнения для принятия решений. Рассмотренная оптимизированная структура модуля нейро-нечеткого управления позволяет решить данную проблему, значительно сократив общее время расчетов.

Аппаратно-программный комплекс автоматизированного учета энергоресурсов, базирующийся на системе коммерческого учета электроэнергии в купе с рассмотренным модулем нейро-нечеткого управления, реализует полный цикл информатизации предоставления данных об объемах и качестве поставляемых энергоресурсов и включает в себя:

– «on-line» сбор информации с коллективных и индивидуальных приборов учета всех видов энергоресурсов;

– предоставление доступа к информационным базам данных органам местного самоуправления, поставщикам жилищных и коммунальных услуг;

– оказание широкого спектра расчетных, сервисных, справочных, аналитических и информационных услуг.

Литература

1. Соловьев В.А., Владыко А.Г., Легенкин В.С. Применение нечеткой логики в устройствах регулирования энергетическими объектами // Электроэнергетика и энергосберегающие технологии: Межвуз. сб. науч. тр. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1998. – С. 125-133.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. - М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – С. 452.
3. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А., Сараев П.В., Черпаков И.В. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения: монография. – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – С. 113.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ГОТОВЫХ РЕШЕНИЙ ИНТЕРНЕТ-ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ

Е.А. Бахтенко

Научный руководитель ***А А. Суконщиков****, канд. техн.наук доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В мире программного обеспечения существует только 2 вида систем - заказные и тиражные. Тиражное решение (ТИС - тиражная информационная система) - это любой законченный продукт, продающийся на рынке ПО (ОС Windows, MS Office, Парус и т.д.). Создание нового тиражного решения - это инновационная разработка, ориентированная на системное повышение эффективности работы в той или иной области.

Еще очень важно, что ТИС - это всегда определенная методология. Тиражные решения основаны на уже готовых и отлаженных бизнес-процессах, которые предлагаются организации при закупке и внедрении системы. Эта методология уже "обкатана", так что организация-клиент получает уже "оптимизированный" для своих задач продукт.

Для наилучшей адаптации к требованиям клиента, наши тиражные системы имеют множество настроек для учета особенностей конкретной организации или предприятия при внедрении системы.

Таким образом, можно сказать, что тиражное решение - это не просто программа, а комплекс "методология + программа + поддержка работоспособности + оптимизация".

В типовых решениях реализуются функции, отвечающие массовым потребностям организаций в той или иной сфере деятельности (образование, здравоохранение и т.д.). Это позволяет обеспечить соответствие типовых решений отечественной специфике как в соответствии текущему законодатель-

ству, так и в части управления деятельностью предприятия и повышения эффективности труда, в то же время, сделав эти решения достаточно компактными и простыми в использовании. При этом удается обеспечить эффективную поддержку и развитие типовых решений.

Типовое прикладное решение можно представить в виде набора стандартных элементов — объектов конфигурации, которые обеспечивают реализацию той или иной функциональности. Один и тот же стандартный элемент может присутствовать в разных тиражных прикладных решениях. Стандартизация элементов прикладных решений облегчает освоение типовых прикладных решений пользователями, упрощает техническую поддержку, обновление и доработку, а также облегчает создание новых специализированных и индивидуальных прикладных решений.

Готовые решения предназначены для создания проектов определенной тематической направленности. Решения включают типовой контент, специально подобранный для проектов данного типа, а также мастер настройки, с помощью которого можно запустить проект с минимальными затратами времени и ресурсов. Такие решения объединяет главная цель: обеспечить быстрый запуск проекта, понятное, удобное, комфортное и при этом профессиональное управление для конечного пользователя.

На сегодняшний день современные интернет-технологии становятся все более востребованными среди государственных структур. Большое значение уделяется созданию качественных интернет-представительств, возможностям работы с гражданами и другими государственными или коммерческими организациями, используя возможности сети Интернет. В создании официального сайта большое значение имеет следование требованиям Федеральных Законов, регламентирующих структуру и состав информации, особенно ФЗ №8, который вступил в силу с 1 января 2010 года, и частей ряда других Федеральных Законов.

Кроме этого, кризис заставил обратить внимание и на внутреннюю эффективность деятельности организации: уменьшение издержек на обмен и поиск информации, автоматизацию документооборота и рабочих процессов и др. Корпоративные порталы также начинают успешно внедряться внутри государственных организаций.

С нашей стороны уже создано несколько типовых решений, рассмотрим некоторые из них.

«Сайт конференции» – готовое решение для создания профессионального веб-сайта поддержки мероприятия (конференции, семинара, выставки) для компаний, вузов и некоммерческих организаций.

«Внутренний портал учебного заведения» - типовое отраслевое решение для любых образовательных учреждений, позволяющее одновременно создать внутренний корпоративный (интранет) портал, предназначенный для сотрудников организации и портал для учащихся (экстранет-зону) для онлайн-

поддержки образовательного процесса, организации совместной работы, коммуникаций с преподавателями и учащихся между собой [1].

«Портал повышения квалификации» - это типовое отраслевое решение для организаций, занимающихся переподготовкой кадров и системным обучением специалистов, позволяющее создать внутренний корпоративный (интранет) портал для сотрудников организации и публичную часть портала (экстранет-зону) для организации сетевого взаимодействия преподавателей и обучающихся [1].

«Сайт учебного заведения» - готовое типовое решения для создания полнофункционального сайта образовательного учреждения. Установив это решение, Вы получите современный безопасный интернет-сайт, на котором будет представлена вся необходимая информация для абитуриентов, студентов и выпускников учебного заведения [1].

«Сайт дошкольного учреждения» - детскому саду, как и любому другому учреждению, нужен свой интернет-сайт. Это может быть обычный сайт-визитка, на котором посетитель найдет всю необходимую информацию. С помощью данного решения можно в кратчайшие сроки и с минимальными затратами запустить свой собственный интернет-сайт [1].

«Сайт медицинской организации» - специализированное решение для создания официального сайта государственной или коммерческой организации здравоохранения. Данное решение позволяет создать такой сайт за несколько часов. В арсенале решения готовая структура сайта и шаблоны дизайна, демонстрационный контент, настроенные интерактивные сервисы [3, 4].

«Сайт управляющей компании ЖКХ, ТСЖ и ЖСК» - программный продукт, предназначенный для комплексного решения проблемы повышения качества обслуживания потребителей и прозрачности работы организаций в сфере жилищно-коммунального хозяйства любого масштаба [6].

«Официальный сайт государственной организации» - решение предназначено для построения официального веб-сайта государственной организации органа государственной власти и местного самоуправления. Данное решение позволяет решать большинство задач, стоящих перед таким веб-ресурсом. А готовая адаптированная структура сайта и тщательно подобранный демонстрационный контент позволяют запустить подобный веб-ресурс с минимальными затратами и без программирования [2, 3, 5].

Помимо самих решений, нами создана оптимальная среда для их полноценного функционирования – выделенные сервера и облачное хранилище. Стоит отметить задачи, которые мы поставили перед собой, как в техническом плане, так и в плане организации работы учреждений.

1. Разработка и внедрение готовых решений интернет-представительств тематической направленности с целью повышение качества работы организаций в сфере образования, здравоохранения, ЖКХ и других государственных учреждений, расположенных как в г. Вологде, так и по всей России.

2. Соблюдение соответствия требованиям текущего законодательства РФ о предоставлении информации, а также других законов и положений.

3. Предоставление тиражных решений по справедливой цене, что позволит осуществить их широкое внедрение.

4. Разработка соответствующего методического обеспечения, что позволит сотрудникам учреждений, на базе которых было внедрено решение, осуществлять сопровождение решения своими силами.

5. Автоматизация работы учреждений путем внедрения современных компонентов на базе решения, таких как CRM, специализированные формы, электронные дневники и многое другое.

6. Поддержание решений в актуальном состоянии в соответствии с требованиями целевых организаций и законодательства РФ.

Производственный процесс создания типового решения и предоставление услуг по его внедрению и сопровождению состоит из следующих этапов:

1. Проведение исследования рынка и определение «своего» сегмента рынка. Выбор предполагаемой области (здравоохранение, образование и т.д.) и выявление потребностей касательно информационно-сетевых ресурсов организаций. Проводится путем анализа как тенденций заказов на соответствующих площадках (гос. закупки и т.д.), так и законодательства Российской Федерации.

2. Определение целей разрабатываемого решения – это анализ задач, которые должны быть решены в рамках web-проекта. Каждый сайт создается для решения определенных задач, конкретной компании или человека. Мы проводим анализ направления деятельности заказчика, конкретизируем задачи сайта, определяем, что необходимо для решения поставленных задач, какова целевая аудитория сайта, как можно ее заинтересовать. Нами проводится обзор сайтов конкурентов для выявления уже существующих решений, анализ их достоинств и недостатков. На основе этого мы предлагаем нашим клиентам более совершенные решения поставленных задач.

3. Проектирование структуры сайта. На основе предыдущего анализа происходит проектирование структуры сайта, определяются разделы сайта, содержимое каждого из них, определяются необходимые сервисы для посетителей. На данном этапе формируется схема получения информации посетителем сайта. Именно этот этап разработки сайта отвечает за то, насколько удобным будет ваш сайт для посетителей и для администратора сайта.

Таким образом, благодаря нашим решениям, могут быть решены большинство задач и проблем в области интернет-представительств, вставших перед государственными учреждениями в последние годы.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2012 г. N 343 "Об утверждении Правил размещения в сети Интернет и обновления информации об образовательном учреждении".

2. Федеральный закон Российской Федерации от 9 февраля 2009 г. № 8-ФЗ "Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления".

3. Федеральный закон Российской Федерации от 2 мая 2006 г. № 59-ФЗ "О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации".

4. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ “О персональных данных”.

5. Приказ Минкомсвязи Российской Федерации от 27 Декабря 2010 № 190 «Об утверждении Технических требований к взаимодействию информационных систем в единой системе межведомственного электронного взаимодействия».

6. Стандарт раскрытия информации организациями, осуществляющими деятельность в сфере управления многоквартирными домами (утв. Постановление Правительства РФ от 23.09.2010г. №731).

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.Е. Варухин

Научный руководитель ***В.Н. Тюкин****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

За последнее время значительно возрос интерес к информационным технологиям, которые позволяют, исследуя сложные системы, быстро определять необходимые статистические данные с последующим применением их на практике. На этапе проектирования систем при построении и реализации машинных моделей широко используют метод статистического моделирования Монте-Карло, который базируется на использовании случайных чисел, а, именно, возможных значений некоторой случайной величины с заданным распределением вероятностей. Несомненным преимуществом метода является возможность осуществлять реализацию случайных величин и функций многократно. На сегодняшний день имеется множество программных средств, которые позволяют осуществить данный метод [1].

Предлагаемая методика для моделирования систем автоматического моделирования в отличие от других существующих методик при работе имеет следующие преимущества:

1. Удобный и понятный интерфейс.
2. Для проведения исследований требуются минимальные машинные ресурсы.
3. Удобный ввод и вывод данных.

Основная задача работы состояла в разработке методики для моделирования систем автоматического управления при случайных воздействиях. В ходе работы был разработан алгоритм, в соответствии с которым осуществляется моделирование исследуемой модели по нашей методике (рис. 1).

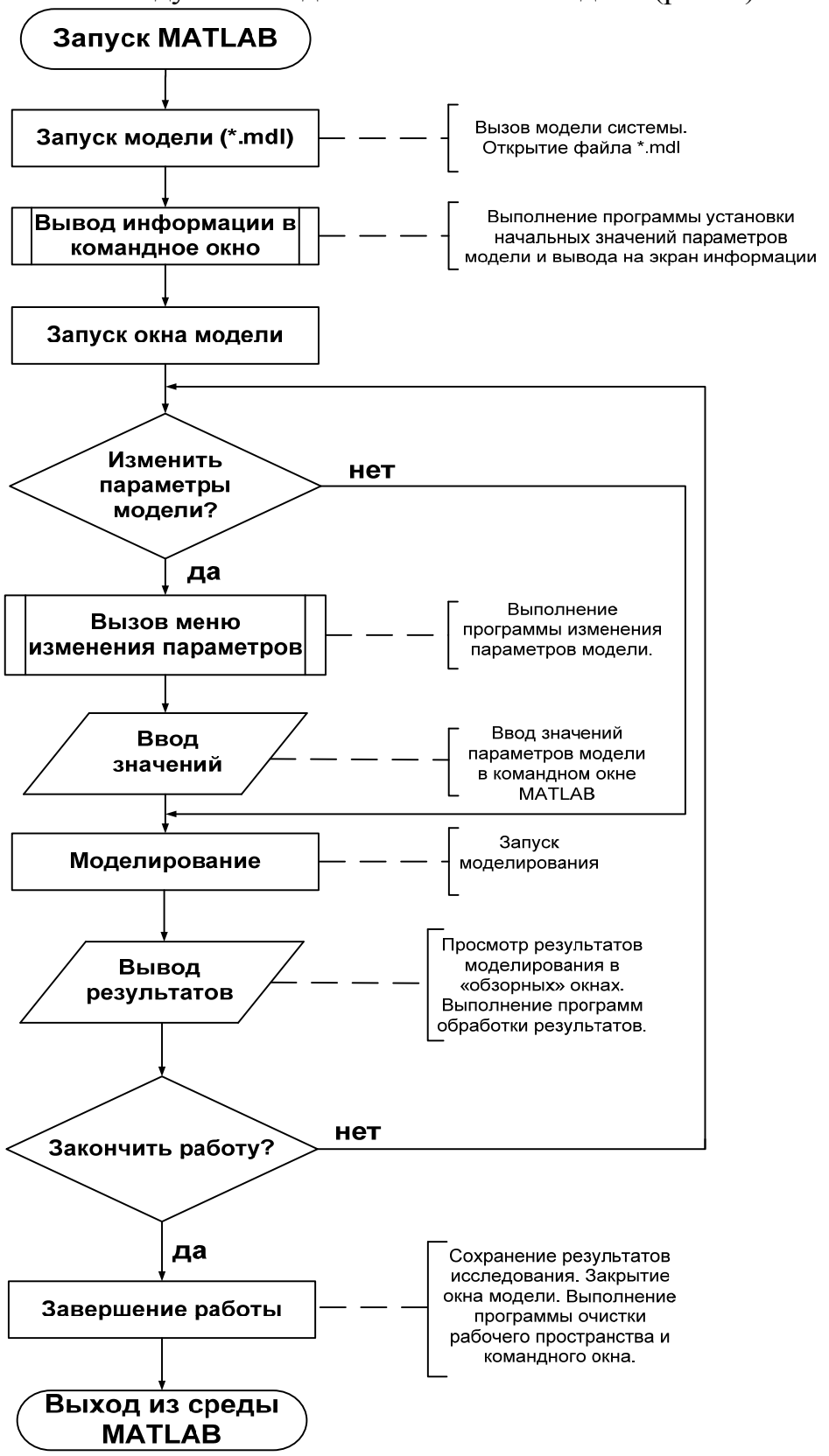


Рис. 1. Алгоритм моделирования САУ

В начале работы необходимо вызвать рассматриваемую модель системы, открыв файл с расширением .mdl. Построение s-моделей и их моделирование осуществляется в подсистеме Simulink выбранного пакета Matlab. После вызова s-модели в командной строке Matlab отобразятся начальные параметры исследуемой модели, которые установлены по умолчанию. Для запуска окна модели необходимо нажать на любую клавишу клавиатуры. После этого шага отобразится окно модели с блок-схемой рассматриваемой системы. До начала работы следует убедиться, что все исходные параметры заданы верно. Если параметры установлены, то можно переходить к моделированию. Для этого нужно нажать на кнопку “Старт” на панели управления в подсистеме Simulink. Если параметры установлены не верно, необходимо вызвать меню изменения параметров, при этом ввод новых значений параметров модели будет осуществляться в командном окне MATLAB. Когда параметры будут установлены, необходимо вновь запустить моделирование.

При помощи осциллографа Scope и блока Display получаем данные моделирования: графики и числовые значения величин соответственно.

Если необходимо повторить эксперимент, то возвращаемся к пункту изменение параметров и вновь повторяем данную процедуру. Закончив работу с моделью, необходимо сохранить результаты и выйти из среды Matlab [2].

Для демонстрации рассмотрим исследование линейной системы автоматического управления при случайных воздействиях по нашей методике.

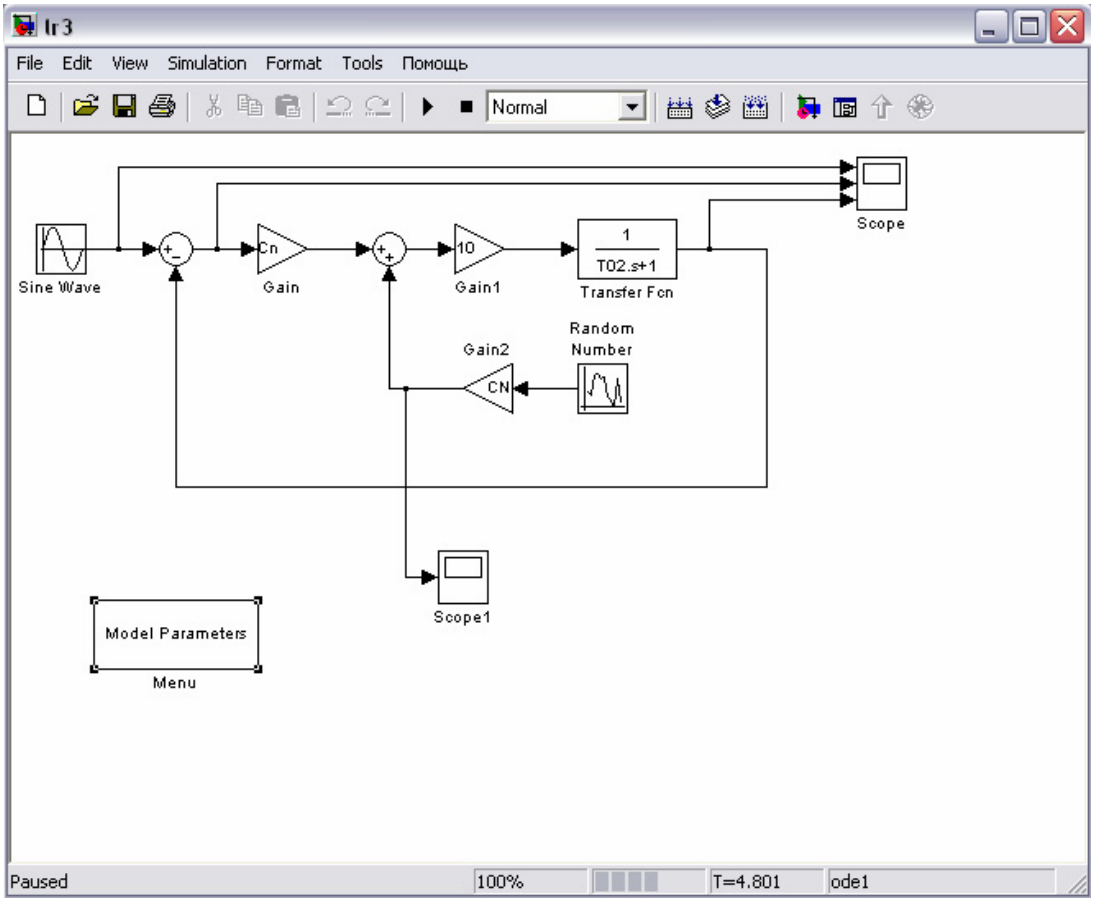


Рис. 2. Окно модели

Моделирование проводится в следующем порядке:

1. Вызываем на экран окно блок – схемы lr3.mdl, при этом начальные значения исходных данных (параметры модели) уже будут записаны в рабочее пространство. Блок-схема представлена на рис. 2.

2. Открываем окно Menu для изменения параметров модели (рис. 3).

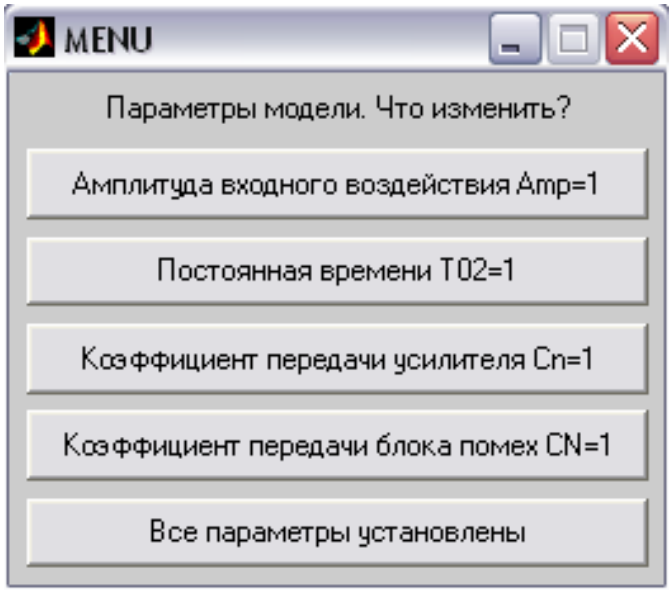


Рис. 3. Окно Menu

3. Установив нужные значения исходных параметров, необходимо закончить работу с меню, щелкнув “Все параметры установлены”.

4. Запускаем исследуемую s-model на моделирование, щелкнув на кнопке Start Simulation в панели инструментов окна блок – схемы. Результаты моделирования можно наблюдать в «обзорном окне» блока Scope.

Полученные результаты позволяют исследовать точность системы, определить ее статистические характеристики ошибок, вызванных случайными помехами. Примером является снятие зависимости дисперсии ошибки D_e от воспроизведения задающего воздействия и математического ожидания m_e от амплитуды сигнала помехи.

В перспективе, для осуществления моделирования по нашей методике, в зависимости от сложности исследуемой системы, блок “Изменение параметров” можно будет расширить, увеличив число входных значений параметров модели.

Реализация методики для моделирования САУ позволит решить задачи, рассматриваемые в курсе “Теория автоматического управления”, который является одним из видов практического обучения.

Литература

1. Гультяев, А. В. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс / А. В. Гультяев. – СПб.: Питер, 2000. – 432 с.

2. Дьяконов, В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6. Основы применения / В. П. Дьяконов. - М.: Солон-Пресс, 2005. – 800 с.

3. Аверилл М. Лоу, В. Девид Кельтон. Имитационное моделирование. – СПб.: Издательская группа BHV, 2004. – 848 с.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЦИНКОВАННОГО ЛИСТА

И.А. Варфоломеев

Научный руководитель ***Е.В. Ершов****, д-р техн. наук, профессор*

Череповецкий государственный университет

Череповец

Технология нанесения полимерного покрытия «Coil Coating» является современным методом проведения окрасочных работ, когда нанесение лакокрасочных покрытий происходит в поточных автоматизированных линиях. В этом процессе металлические листы (ленты) рулонного проката подвергаются специальной обработке и последующему нанесению лакокрасочных материалов (ЛКМ) с помощью валковых машин [4]. Предварительная окраска листового металла позволяет снизить общую стоимость продукции на 20-30 %. Процесс является экономичным за счет:

– исключения операции смазки и расконсервирования металлических рулонов;

– исключения потерь ЛКМ и органических растворителей;

– высокой производительности установки «Coil Coating».

Важным этапом в технологическом процессе окраски рулонного металлопроката является сушка ЛКМ в печи агрегата полимерных покрытий. Именно эта стадия влияет на качество конечной продукции. Большой процент брака в данном виде производства связан со слабым прилипанием ЛКМ к поверхности листа, вызванным неправильным температурным режимом сушки.

Снижение количества бракованной продукции, а также уменьшение потребляемых энергетических ресурсов за счёт совершенствования и интеллектуализации систем автоматизированного управления процессом полимериза-

ции представляют собой одно из приоритетных направлений развития сферы производства предварительно окрашенного проката.

Технология «Coil Coating» является стандартом нанесения лакокрасочного материала в металлургии. По этой причине предприятия, осуществляющие производство предварительно окрашенного проката, имеют идентичные с точки зрения конструкции линии, называемые агрегатами полимерных покрытий, в состав которых входит и печь сушки покрытия.

Управление процессом сушки сводится к заданию температур 7 печных зон, которые должны обеспечить температуру полимеризации на поверхности металлического листа при выходе из печи. Значения температур печных зон должны определяться такими параметрами как текущая скорость полосы, габариты листа, толщина полимерного покрытия и скорость вращения вентиляторов отвода газовой смеси. Хорошие результаты прилипания ЛКМ достигаются при получении выходной температуры поверхности листа максимально приближенной к температуре полимеризации краски [4].

Для повышения качества конечной продукции на первом этапе необходимо построить модель процесса прилипания лакокрасочного материала к поверхности металлической полосы.

При всей сложности строения полимерных молекул теории, предложенные для описания их динамики, достаточно просты [7]. В наиболее распространенной модели Рауза [1] полимерная структура представляется как последовательность частиц, связанных в цепь. Если частица в результате теплового движения сталкивается с поверхностью, она может либо зеркально отразиться от нее, либо оказаться крепко связанной с поверхностью, то есть стать адсорбированной. Возможно также обратное явление десорбции, когда адсорбированная частица, имеющая достаточную кинетическую энергию, покинет поверхность. В случае физической адсорбции звено полимерной цепи (адатом) связывается с поверхностью при помощи слабых связей сил Ван-дер-Ваальса, которые характеризуются энергией E_p. Эти связи не сопровождаются переносом заряда от подложки к адатому или наоборот. При более высоких температурах происходит обмен электронов между адсорбированной частицей и поверхностью, при котором образуется довольно сильная химическая связь между ними, и о частице говорят, что она хемосорбирована. Каждый адатом теперь оказывается в гораздо более глубокой потенциальной яме E_c. Чтобы попасть в эту яму, частица должна преодолеть энергетический барьер E_b. Величина $E_c + E_b$ определяет также работу выхода $A_{вых}$. На рис. 1 показан схематический график зависимости потенциальной энергии частицы E от расстояния до плоской поверхности r [8].

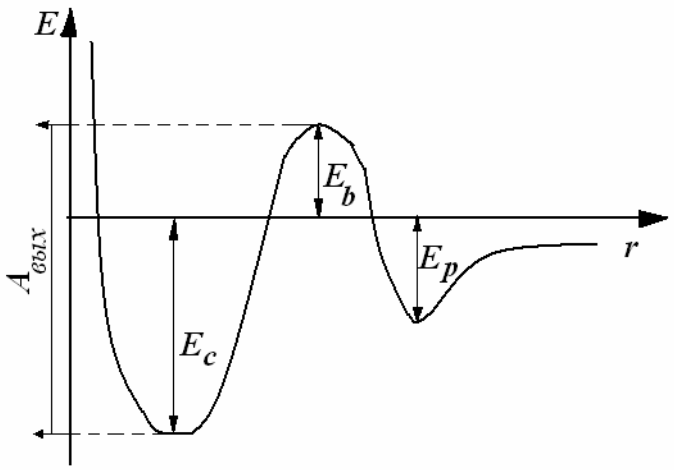


Рис. 1. Зависимость потенциальной энергии частицы от расстояния до поверхности для случая хемосорбции

В качестве отправной точки в данной работе использованы модели решеточного газа и адсорбции Ленгмюра, которая основывается на следующих предположениях:

- адсорбция ограничена толщиной монослойного покрытия;
- все адсорбционные узлы решетки эквивалентны;
- только одна частица может занять адсорбционный узел.

В этом случае адсорбционному слою соответствует двумерная модель решеточного газа, являющаяся одной из классических моделей статистической механики [2]. В данной работе поверхность листа представляется в виде двумерной прямоугольной решетки, которая содержит N узлов (адсорбционных мест) вдоль оси X и M узлов вдоль оси Y. Тогда положение узла будет характеризоваться двумя числами i и j , а его занятость – числом $n_{i,j}$, которое равно нулю, если адсорбционное место свободно и единице в противном случае. Энергия взаимодействия между узлами решетки (звеньями полимерных цепей) в данной модели определяется по формуле:

$$E = -\sum_{i,j=1}^{N,M} K n_{i,j} n_{i+1,j} - \sum_{i,j=1}^{N,M} K n_{i,j} n_{i,j+1} \ , \qquad (1)$$

где K – константа взаимодействия. При расчетах по формуле 1 учитывается взаимодействие только между ближайшими узлами.

Так как хемосорбция может происходить только при достаточно высокой температуре (частицы должны преодолеть энергетический барьер E_b), вероятность того, что звено полимерной цепи будет захвачено поверхностью металлического листа при его столкновении с поверхностью, можно аппроксимировать формулой:

$$P = P_{\max}\left(1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{T}{T_c}\right)^g}\right), \qquad (2)$$

где T – температура поверхности, T_c – температура, при которой возникает хемосорбция, P_{max} – максимальная вероятность захвата звена полимерной цепи при высоких значениях температуры, g – параметр, определяемый материалом полимера и типом грунтовки металла. Частица может выйти из состояния хемосорбции лишь в том случае, если выполняется условие $\frac{3}{2}k_B T + E > A_{вых}$.

В данной работе в начальный момент времени $t = 0$ принималось, что для всех узлов решетки $n_{i,j} = 0$, т.е. адсорбции не было. Расчеты производились с помощью компьютерного моделирования методом Монте-Карло на основе алгоритма Метрополиса, в котором генерируется случайный процесс, состоящий из набора последовательных конфигураций системы. По ансамблю таких систем при достаточно большом числе входящих в него конфигураций можно вычислять средние значения практически любых равновесных физических величин [3].

Далее было произведено вычисление относительной степени заполнения поверхности металла звеньями полимерных цепей θ как отношение числа адсорбированных узлов к общему числу узлов решетки:

$$\theta = \frac{\sum_{i,j=1}^{N,M} n_{i,j}}{NM} \qquad (3)$$

На рис. 2б показаны результаты вычислений величины θ при различных распределениях температур $T(t)$, значения которых показаны на рис. 2а.

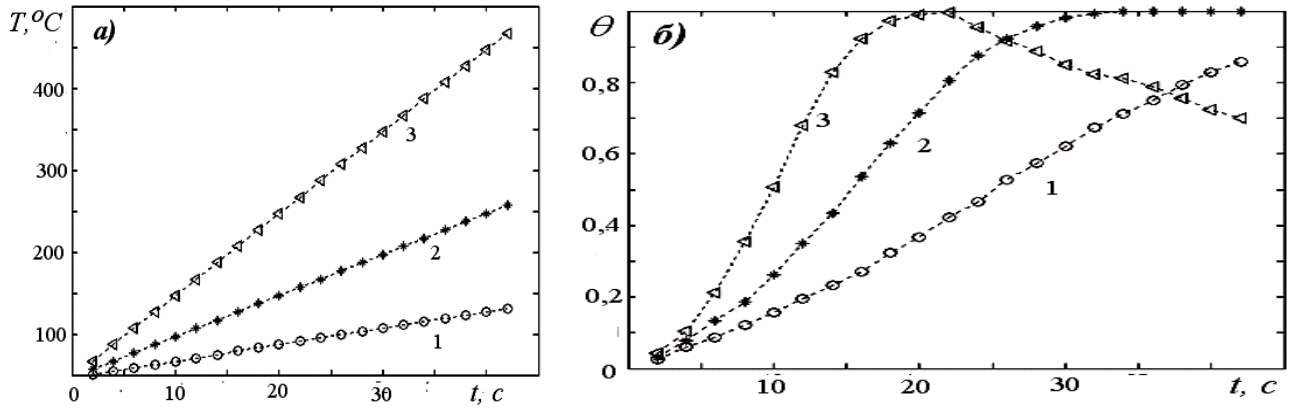


Рис. 2. а) изменение температуры стального листа от времени, б) относительная степень заполнения поверхности металла звеньями полимерных цепей при соответствующем режиме изменения температуры

При низких значениях температуры (кривая 1 на рис. 2а и 2б) прилипание слабое. При очень высоких температурах (кривая 3) прилипание возникает, но впоследствии уменьшается. В этом случае после окончания сушки полимерного покрытия оно отстанет от поверхности, что является основной причиной появления дефектов при покраске металла методом «Coil Coating».

Распределение температур на поверхности стального листа, определяемое кривой 2, является оптимальным для максимального прилипания.

На втором этапе необходимо построить модель процесса сушки покрытия с учётом оптимального температурного режима полученного по модели процесса полимеризации лакокрасочного материала на поверхности оцинкованного металлического листа.

Теплопередача внутри печи может осуществляться как за счет конвекции газа, так и за счет теплового излучения. Поэтому в данной работе использовалось дифференциальное уравнение:

$$c\rho h\frac{dT}{dt} = -\eta\sigma(T^4 - T_{sr}^4) - k(T - T_{sr}), \qquad (4)$$

где T и T_{sr} – температура стального листа и температура печи соответственно, c – удельная теплоёмкость стали, ρ – плотность стали, h – толщина металла, σ – постоянная Стефана–Больцмана, k – коэффициент теплоотдачи при конвекции, η – коэффициент рассеивания энергии при излучении.

В правой части формулы (4) первая составляющая характеризует плотность потока тепла, поглощаемого сталью за счет излучения, вторая – за счёт конвекции.

В качестве примера на рис. 3 показано распределение температуры внутри печи T_{sr} как заданные дискретные величины в центре каждой из семи зон. Так как для более точного решения дифференциального уравнения численными методами нужно знать температуру как непрерывную функцию от координаты x печи, для функции $T_{sr}(x)$ была произведена интерполяция с помощью интерполяционного полинома Лагранжа (кривая 1). Заданные значения температуры зон печи, на основании которых производилась интерполяция, обозначены символом «*». Температуры стального листа в различных точках печи, полученные в результате компьютерного моделирования, представлены на рис. 3 кривой 2. Экспериментальные значения температур поверхности листа показаны на рисунке символом «o».

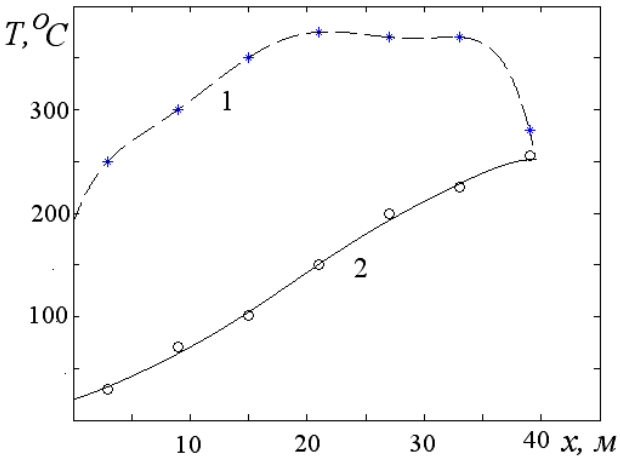


Рис. 3. Функция зависимости температуры поверхности металлического листа от температур печных зон

Коэффициенты в дифференциальном уравнении (4) определялись из сравнения полученных численных расчетов с экспериментальными данными. Определена погрешность, которая вычислялась по формуле:

$$\Delta = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} | T_i - T_i^* | , \qquad (5)$$

где T_i – температура стального листа, вычисленная в центре соответствующей зоны печи, T_i^* – температура, полученная из эксперимента, суммирование ведется по семи зонам печи. При сопоставлении результатов моделирования с экспериментальными данными оказалось, что максимальное совпадение наблюдается в случае, когда 68% потока тепловой энергии, поглощаемого стальным листом, приходится на излучение. На рис. 3 изображена зависимость температуры стального листа от координаты печи, вычисленная при решении указанного дифференциального уравнения (кривая 2) с подобранными коэффициентами.

При увеличении скорости движения полосы или изменении толщины листа нарушается тепловой режим, а, следовательно, уменьшается и прилипание. В этом случае необходимо изменять температуру внутри печи.

Для этих целей на третьем этапе необходимо разработать программный модуль интеллектуального управления на основе описанных выше моделей. Опыт построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами в металлургии показывает, что невозможно ограничиться каким-то одним типом адаптивных систем. В первую очередь это связано с невозможностью определения количественной характеристики взаимного влияния технологических параметров, а также с нелинейностью динамических изменений внешних и внутренних факторов, влияющих на объект [5]. По этой причине для данной предметной области осуществляется синтез нейросетевых систем и систем, основанных на моделировании идеального теплового объекта [6].

В качестве топологии нейронной сети был выбран многослойный персептрон с одним промежуточным слоем. Обучение с учителем происходит по алгоритму обратного распространения ошибки, в котором вместо стандартной функции коррекции весовых коэффициентов используется модель идеального теплового объекта, полученная на втором этапе. Это позволяет произвести более точную параметрическую идентификацию системы управления. Модель идеального теплового объекта осуществляет более точное сопоставление выходных значений нейронной сети её входным значениям. Входами нейронной сети в данном случае являются габариты листа, скорость движения полосы, толщина покрытия, мощность вентиляторов отвода газовой смеси. Выходные значения представляют собой температурный режим, необходимый для достижения температуры полимеризации на выходе их печи.

Разработанный модуль интеллектуального управления процессом полимеризации оцинкованного металлического листа при нанесении лакокрасоч-

ного материала по технологии «Coil Coating» позволяет снизить издержки, связанные с браком выпускаемой продукции на 5-7%.

Литература

1. Гросберг А.Ю., Хохлов А.Р. Статистическая физика макромолекул. – М.: Наука, 1989. – 344 с.

2. Жданов В.П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности. – Новосибирск: Наука, 1988. – 320 с.

3. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. – М.: Наука, 2006. – 490 с.

4. Матаморос С. Подробное описание печной установки для печи грунтовочного слоя и печи отделочного слоя и термореактора АПП. Леверкузен, Германия: gatv mbH, 2005. – 55 с.

5. Цыпкин, Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З. Цыпкин. – М: Наука, 1984. – 320 с.

6. Шевяков, А.А. Управление тепловыми объектами с распределёнными параметрами / А.А.Шевяков, Р.В.Яковлева. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.

7. Эдвардс С, Дой М. Динамическая теория полимеров. – М.: Мир, 1988. – 440 с.

8. Prutton M. Introduction to Surface Physics. Oxford: Clarendon Press, 1994. – 256 с.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

О.В. Вересова, В.Н. Волков

Научный руководитель ***А.В. Кожевников****, канд. техн. наук, доцент*

Череповецкий государственный университет

г. Череповец

В статье обсуждается современное состояние теории и практики применения нейросетевого подхода в задачах управления сложными динамическими объектами с заранее неизвестной или обладающей большой сложностью описания математической моделью. Синтез подобных систем рассмотрен на примере метода обратного пропуска ошибки через прямой нейроэмулятор. Уделено внимание целесообразности применения генетических алгоритмов для обучения сети. Выделены проблемы применения нейронных сетей для управления динамическими объектами, актуальные на сегодняшний день.

В настоящее время наблюдается большой повторный всплеск количества публикаций в области искусственных нейронных сетей. Первый имел место в

60-х годах, после выхода в свет работы Ф. Розенблатта «Принципы нейродинамики». Большая первоначальная активность вскоре сменилась большим разочарованием, поскольку стало ясно, что простые в организации персептроны для самообучения в решении сложных задач требуют слишком много времени.

Толчком к дальнейшему развитию в этой области послужили работы Хопфилда (нейронные сети Хопфилда) и Хинтона (нейронные сети с обратным распространением ошибки). Также этому способствовало развитие микропроцессорной техники. Получены обнадеживающие результаты применения нейронных сетей различных типов в самых разных областях, в частности для управления динамическими объектами.

Многие современные задачи управления динамическими объектами не могут быть решены классическими методами из-за очень большой сложности математических моделей, их описывающих. Классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальной является современная технология управления - с применением искусственных нейронных сетей. Нейроуправление динамическими объектами является новым перспективным направлением, находящимся на стыке таких дисциплин, как автоматическое управление, искусственный интеллект, нейрофизиология. Нейронные сети обладают рядом уникальных свойств, которые делают их мощным инструментом для создания систем управления: способностью к обучению на примерах и обобщению данных, способностью адаптироваться к изменению свойств объекта управления и внешней среды, пригодностью для синтеза нелинейных регуляторов.

Ключевой проблемой при решении задач управления динамическими объектами является реализация модели инверсной динамики управляемого объекта. Аналитическое решение этой задачи не всегда возможно, поскольку требуется обращение причинно-следственных зависимостей поведения реального объекта. Применение нейронных сетей позволяет находить приближенные решения этой задачи путем обучения сети на примерах управления реальным объектом.

В задачах нейроуправления для представления объекта управления используют модель черного ящика, в котором наблюдаемыми являются текущие значения входа и выхода. Состояние объекта считается недоступным для внешнего наблюдения, хотя размерность вектора состояний обычно считается фиксированной. Динамику поведения объекта управления можно представить в дискретном виде:

$$S(k+1) = \Phi(S(k), u(k)), \tag{1}$$

$$y(k+1) = \Psi(S(k)), \tag{2}$$

где $S(k) \in \mathrm{R}^N$ – значение N -мерного вектора состояния объекта на k -м такте;

$u(k) \in \mathrm{R}^P$ – значение P -мерного вектора управления;

$y(k+1) \in \mathrm{R}^V$ – значение V -мерного выхода объекта управления на такте $k+1$.

Общая схема управления динамическим объектом показана на рис.1.

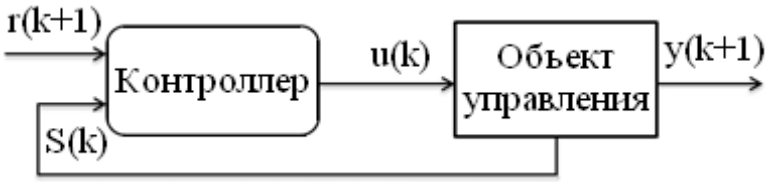


Рис. 1. Общая схема управления по обратной связи

Для оценки вектора состояния динамического объекта порядка может быть использована модель нелинейной авторегрессии с дополнительными входными сигналами (NARX) [5]:

$$S(k) = \begin{pmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \dots \\ y(k-N) \\ u(k-1) \\ u(k-2) \\ \dots \\ u(k-Q) \end{pmatrix} \quad (3)$$

На практике это соотношение обычно используют без ретроспективных управляющих входов:

$$S(k) = \begin{pmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \dots \\ y(k-N) \end{pmatrix} \quad (4)$$

Состояние динамического объекта можно также представить мгновенным снимком его фазовой траектории:

$$S(k) = \begin{pmatrix} y(k) \\ y(k)' \\ \dots \\ y(k)^{(N)} \end{pmatrix} \quad (5)$$

В ходе развития нейроуправления сформировались два основных направления в применения нейронных сетей внутри синтезируемых регуляторов: *прямые методы*, основанные на непосредственном управлении объектом

с помощью нейронной сети, и *непрямые методы*, когда нейронная сеть используется для выполнения вспомогательных функций управления, таких как фильтрация шума или идентификация динамического объекта. В зависимости от числа нейронных сетей, составляющих нейроконтроллер, системы нейроуправления могут быть *одномодульными* или *многомодульными*. Схемы нейроуправления, которые применяются совместно с традиционными контроллерами, называются *гибридными*.

Одним из наиболее популярных методов нейроуправления является метод обратного пропуска ошибки через прямой нейроэмулятор. Он основан на идее применения тандема из двух нейронных сетей, одна из которых выполняет функцию контроллера, а вторая – прямого нейроэмулятора, который обучается моделировать динамику объекта управления (рис. 2). В процессе обучения нейроконтроллера, текущая ошибка управления пропускается через нейроэмулятор в обратном направлении. При обучении прямого нейроэмулятора, на вход объекта управления подается случайный управляющий сигнал u, изменяющий положение объекта управления y, и формируется обучающая выборка $U = \{P_i, T_i\}_{i=1}^{M}$:

$$P_i = [u(i)\ S(i-1)]^T, \tag{6}$$

$$T_i = y(i)\ . \tag{7}$$

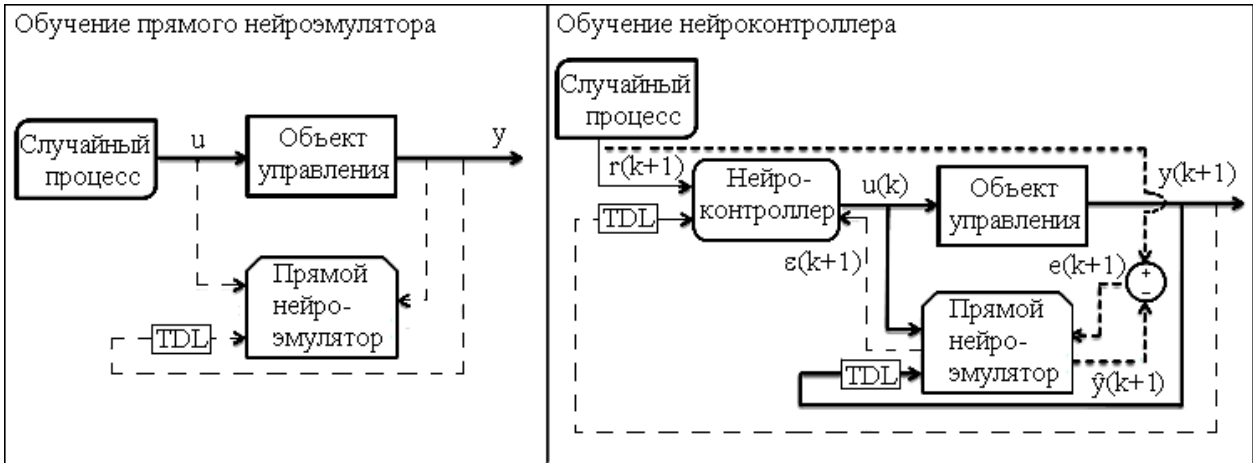


Рис. 2. Метод обратного пропуска ошибки через прямой нейроэмулятор: слева – схема обучения прямого нейроэмулятора; справа – схема обучения нейроконтроллера

Обучение прямого нейроэмулятора выполняется в режиме офф-лайн. Нейроэмулятор считается обученным, если при одинаковых значениях на входах нейроэмулятора и реального объекта, отличие между значениями их выходов становится незначительным. После завершения обучения прямого нейро-

эмулятора, проводится обучение нейроконтроллера. Обучение выполняется в режиме он-лайн по такой же схеме, как и в случае инверсного специализированного нейроуправления. Сначала (на такте k) на вход нейроконтроллера поступает желаемое положение объекта управления для следующего такта $r(k+1)$. Нейроконтроллер генерирует сигнал управления $u(k)$, который поступает на входы объекта управления и нейроэмулятора. В результате, управляемый объект переходит в положение $y(k+1)$, а нейроэмулятор генерирует реакцию $\hat{y}(k+1)$. Далее вычисляется ошибка управления $e(k) = \hat{y}(k+1) - y(k+1)$ и пропускается в обратном направлении по правилу обратного распространения. Весовые коэффициенты связей нейроэмулятора при этом не корректируются. Механизм обратного прохождения ошибки через прямой нейроэмулятор реализует локальную инверсную модель в текущей точке пространства состояний объекта управления. Пройдя через нейроэмулятор, ошибка далее распространяется через нейроконтроллер, но теперь ее прохождение сопровождается коррекцией весовых коэффициентов нейроконтроллера. Нейроэмулятор при этом выполняет функции дополнительных слоев нейронной сети нейроконтроллера, в которых веса связей не корректируются.

Обучение нейросети по правилу обратного распространения ошибки имеет ряд недостатков:

1) возможность преждевременной остановки из-за попадания в область локального минимума;

2) необходимость многократного предъявления всего обучающего множества для получения заданного качества распознавания;

3) отсутствие сколько-нибудь приемлемых оценок времени обучения.

Проблемы, связанные с алгоритмом обратного распространения привели к разработке альтернативных методов расчета весовых коэффициентов нейронных сетей. Впервые в 1989 году Дэвид Монтана и Лоуренс Дэвис использовали генетические алгоритмы в качестве средства подстройки весов скрытых и выходных слоев для фиксированного набора связей.

Генетический алгоритм является самым известным на данный момент представителем эволюционных алгоритмов и по своей сути является алгоритмом для нахождения глобального экстремума многоэкстремальной функции. Он заключается в параллельной обработке множества альтернативных решений. При этом поиск концентрируется на наиболее перспективных из них.

В некоторых случаях генетические алгоритмы - лучший метод обучения для нейронных сетей, чем простое обратное распространение. Это не подразумевает, что генетические алгоритмы выиграют у обратного распространения во всех случаях.

Следует заметить, что генетические алгоритмы будут наиболее полезны для подстройки весов в задачах, где обратное распространение и его аналоги не могут использоваться, например, в неконтролируемых задачах, когда ошибка выхода не может быть вычислена. Это часто имеет место для задач

нейроуправления, в которых нейронные сети используются, чтобы управлять сложными системами (например, поведение роботов в незнакомых окружающих средах).

За последние 20 лет нейроуправление получило значительное развитие. Доминирующая доля внимания была уделена задачам разработки нейросистем для управления нелинейными динамическими объектами, получено множество примеров успешно работающих систем этого типа. Показано, что рекуррентные сети типа NARX наилучшим образом подходят для моделирования динамических систем, что привело к их распространению в качестве идентификаторов объектов управления в непрямых и прогнозирующих методах нейроуправления. Вместе с тем, все существующие на сегодняшний день алгоритмы обучения рекуррентных нейросетей являются вариациями разработанных в начале 90-х алгоритмов, обучение которых проходит сравнительно медленно и требует значительных вычислительных ресурсов.

Остается ряд нерешенных проблем, мешающих широкому применению систем нейроуправления в индустрии.

1. Все еще отсутствует универсальная процедура анализа устойчивости нелинейных нейроконтролеров. Были предложены лишь частные решения для отдельных видов нейроконтроллеров при известной математической модели объекта управления.

2. Конструкция почти всех схем нейроуправления выглядит слишком усложненной из-за наличия нескольких нейросетей и нетривиальной последовательности процедур их обучения. Перспективным направлением исследований является получение унифицированного алгоритма обучения единой управляющей нейросети.

3. Для дальнейшего развития методов нейроуправления, актуальной проблемой остается создание новых моделей динамических нейронных сетей и способов из обучения, так как базовыми блоками построения многих методов нейроуправления являются эмпирически полученные модели прямой или инверсной динамики объекта управления.

Литература

1. Архангельский В. И., Богаенко И. Н., Грабовский Г. Г., Рюмшин Н. А. Нейронные сети в системах автоматизации. – К.: Техника, 1999. – 234 с.

2. Дзюба Д. А., Чернодуб А. Н. Обзор методов нейроуправления // Проблемы программирования. – 2011. – № 2.

3. Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю. Нейросетевые системы управления: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 2002. – 183 с.

4. Федяев О.И., Соломка Ю.И. Применение генетических алгоритмов для обучения нейронных сетей. – Донецк: ДонНТУ, 2004.

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс/ Хайкин С.; пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: Вильямс, 2006. – 1102 с.

МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ АЛГОРИТМАМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ CAPTCHA

М.Н. Вязников
Научный руководитель ***С.Ю. Ржеуцкая****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

На современных сайтах часто используются формы для комментирования и обратной связи, особенно роботами для спама. В настоящее время получили распространение программы автоматического распознавания изображений CAPTCHA («Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart» – полностью автоматизированный публичный тест Тьюринга для различия компьютеров и людей). Данный тест используется на большинстве сайтов сети Интернет в формах обратной связи для фильтрации спама. В связи с этим, стоит проблема поиска наиболее эффективных алгоритмов генерации изображений CAPTCHA таким образом, чтобы сделать разработку упомянутых выше вредоносных программ максимально сложной, либо невозможной.

В интернете сформировалось как минимум 2 основных метода автоматического прохождения теста CAPTCHA:

- эксплуатация ошибок внедрения (если, например, верный ответ содержится в параметрах передаваемых серверу);
- автоматическое распознавание с помощью заранее написанных алгоритмов преобразования изображений для обучаемых нейронных сетей.

Постараемся раскрыть суть последнего метода, т. к. первый относится к программной реализации системы.

Обучаемые нейронные сети в задаче прохождения CAPTCHA способны распознавать отдельные символы с минимальным шумом и искажениями. Поэтому для создания программ автоматизирующих этот процесс разрабатывают процедуры предварительной графической обработки, которые максимально отчищают изображение от внесенных помех. Наиболее распространенными видами искажений являются:

- шум - добавление посторонних графических элементов, типичная ошибка – это генерировать шум отличный по цвету от символов;
- изменение положения символов относительно друг друга как по вертикали, так и по горизонтали, частая ошибка – отсутствие наложения символов друг на друга (иначе искажение становится бесполезным), одинаковое количество символов в слове (легко рассчитать какие символы «склеены») или малое их наложение (шире самого широкого символа из используемого набора);

- поворот и изменение размера всего символа или его частей, типичная ошибка – это использование искажений с одинаковыми параметрами для всех наборов символов.

Однако применение таких средств зачастую оказывается не только малоэффективным, но и усложняет жизнь конечным пользователям. В статье [1] явно показаны методы восстановления очертаний символов после их искажений. Учитывая опыт её автора, сформулируем основные особенности алгоритмов генерации CAPTCHA, которые стоит учесть:

- Параметры искажений должны быть динамическими, иначе их будет легко обойти программно (1);
- Цвет шума и цвет символов должен быть одинаковыми, чтобы по этому признаку они были неотделимы (2);
- Наложение символов друг на друга - наиболее эффективный способ противостояния программам распознавания (3).

Большинство алгоритмов генерации CAPTCHA нарушают сформулированные правила, тем самым снижая свою эффективность противостояния программам распознавания. Более того, чрезмерные искажения символов приводят к неудобствам пользователей при прохождении теста. Таким образом, оценка эффективности алгоритмов CAPTCHA может заключаться в соблюдении сформулированных правил и минимизации количества искажений для максимального снижения неудобства пользователей.

Обзор алгоритмов генерации CAPTCHA ведущими мировыми ИТ-компаниями дарит нам еще несколько способов повышения стойкости этого теста:

- «Яндекс» для своей CAPTCHA использует контурные шрифты, где символы представляют собой границы привычных образов, которые при наложении друг на друга усложняют их разделение, создавая своим присутствием шум для других символов при их распознавании;
- «WebMoney» в своих сервисах предлагает пройти тривиальные CAPTCHA, но использует при этом множество алгоритмов их генерации, исключая тем самым возможность создания одной нейронной сети настроенной на конкретный набор образов (т.к. избавиться от всех искажений зачастую не удается, то обученная под специфическую CAPTCHA, сеть будет эффективно работать только с ним).

Учитывая опыт «Яндекса», можно утверждать, что если используются контурные шрифты с наложением символов друг на друга, то правило (3) может быть проигнорировано.

Опыт «WebMoney» хорош тем, что усложняет разработку программы распознавания экстенсивным методом. Подобного эффекта можно добиться, используя различные шрифты для генерации CAPTCHA, подобранные таким образом, чтобы начертания одних и тех же символов в них отличались, при

этом оставаясь в рамках понимания человеком, когда тот видит только 1 символ из всего набора шрифта.

На основе вышеизложенного, составлен алгоритм генерации CAPTCHA и реализован в виде системы, которая может быть подключена на стороннем сайте. Из особенностей алгоритма можно выделить:

- В качестве алфавита для составления слов выбраны цифры, т.к. они понятны носителям любого языка;
- Количество символов в наборе задается псевдослучайной функцией на интервале от 4 до 6;
- Использование 30 различных контурных шрифтов, которые были доступны в интернете для свободного использования и отобраны эмпирическим путем как легкие для понимания человеком, когда применяются только для 1 символа из набора;
- Динамические параметры искажений, заданные интервалами, где конкретные значения выбираются псевдослучайной функцией;
- Наложение символов друг на друга, но не больше, чем на одну третью часть длины символа, иначе человеку станет непонятен порядок их набора;
- Поворот каждого символа на интервале от -20 до 20 градусов, т.к. больший угол при максимальном наложении символов друг на друга сделает неочевидным порядок их набора для человека.

Примеры получаемых изображений приведены на рисунке. В левой колонке располагаются наиболее частые варианты, которые удовлетворяют сформулированным выше правилам. В правой – частные случаи работы алгоритма. Например, правый верхний и правый нижний варианты могут задержать пользователя при прохождении теста, т.к. сочетания нестандартного шрифта первых символов и наложения на них вторых символов последовательностей резко усложняет их интерпретацию человеком. В то же время большие расстояния в правом среднем примере позволят программе распознавания легко разложить символы по отдельности.

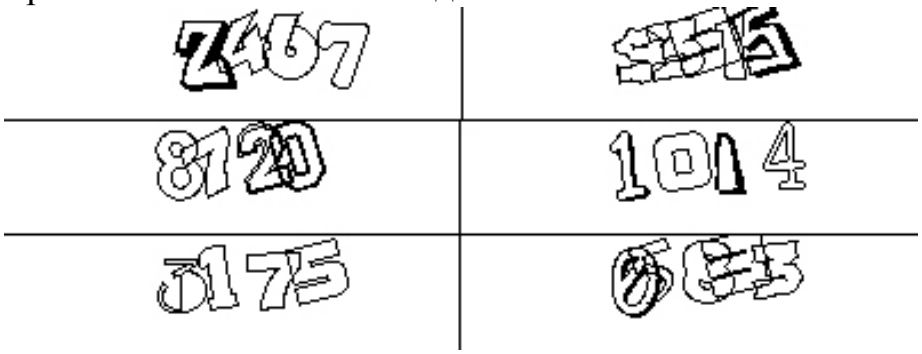


Рис. Пример работы созданного алгоритма

Таким образом, алгоритм требует более детальной настройки, учитывающей ширину символов для конкретного шрифта так, чтобы избежать вариантов, подобных представленному в правой средней позиции.

Литература

1. Распознавание некоторых современных CAPTCHA // Хабрахабр [Электронный ресурс] URL: http://habrahabr.ru/post/116222/ (дата обращения: 07.10.2012).

АРХИТЕКТУРА СТРУКТУРИРОВАННОГО ХРАНИЛИЩА ДОКУМЕНТОВ

А.И. Каберов

Научный руководитель ***С.Ю. Ржеуцкая****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В настоящее время вследствие роста объемов устройств хранения данных, а также несовершенства файловых систем, которые требуют от пользователя знания пути документа независимо от его содержания – файловые хранилища документов превращаются в так называемые «файловые помойки», что существенно затрудняет поиск и анализ документов.

Имеется несколько способов решения проблемы хранения документов. Одним из вариантов является полный отказ от хранения документов в файловой системе и переход к хранению документов в базе данных, где будут храниться как документы, так и вся информация о них. Данный способ требует полного отказа от стандартных файловых систем (NTFS, FAT) в пользу документо-ориентированных, следовательно, отказ от стандартных операционных систем.

Вторым способом решения является использование документо-ориентированных баз данных для хранения документов и информации к ним. При таком способе хранения документов доступ к ним будет возможен только с помощью специализированного программного обеспечения.

Третий способ представляет собой создание интерфейса пользователя на этапах добавления и поиска документов в хранилище, где файлы будут храниться структурированно в файловой системе, а дополнительная информация будет храниться в базе данных. Данный способ хранения документов обеспечит хороший поиск по категориям, а также доступ к документам с помощью стандартных файловых менеджеров.

Предлагаемая работа посвящена третьему способу решения представленных проблем, по следующим причинам:

– интеграция (доступ к файлам производится стандартными программами);

– быстрый поиск файлов по базе данных;

– нет зависимости от операционной и файловой системы.

Данный способ предполагает ведение базы данных, в которой будут находиться все метаданные о документах в хранилище. Метаданные - это субканальная информация об используемых данных [1], они содержат как информацию о документе (название, размер), так и пользовательские данные, зависящие от категории. К примеру, документы, которые относятся к категории «статьи», имеют такие метаданные как автор, научное направление, научный руководитель, тема и т.д. По этим данным в зависимости от настроек администратора будет строиться структура хранилища. На рис. 1 представлены две структуры хранения документов на носителе информации. Как видно из рисунка, статьи могут быть сортированы по направлению, а потом по автору, либо наоборот, так в хранилище в папке «Статьи», во втором случае, будут находиться папки с именами авторов содержащие их статьи, сортированные по направлениям.

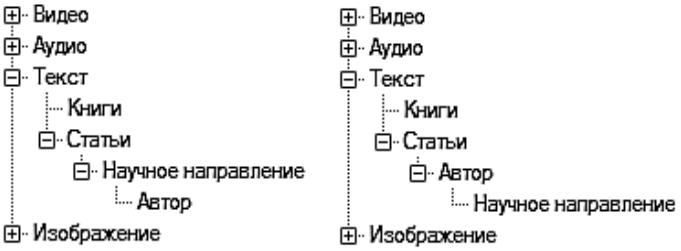


Рис. 1. Две структуры хранения документов в хранилище

Для обеспечения правильной работы хранилища документов требуется как минимум 3 программных модуля и база данных:

1. Приложение администратора служит для настройки структуры хранилища, а также для заполнения базы данных новыми категориями и настройка их. Данное приложение позволяет полностью реконфигурировать хранилище.

2. Пользовательское приложение позволяет добавлять, изменять и удалять документы и метаданные из хранилища. Представляет собой интерфейс между пользователем и хранилищем.

3. Драйвер для работы с хранилищем обеспечивает целостность документов – отслеживает удаление, перемещение и добавление документов в обход пользовательского приложения.

4. База данных содержит всю информацию о документах, которая была, как автоматически получена, так и добавлена пользователем. Также содержит проекцию структуры хранилища и все вспомогательные данные для работы системы.

Диаграмма вариантов использования приложений представлена на рисунке 2.

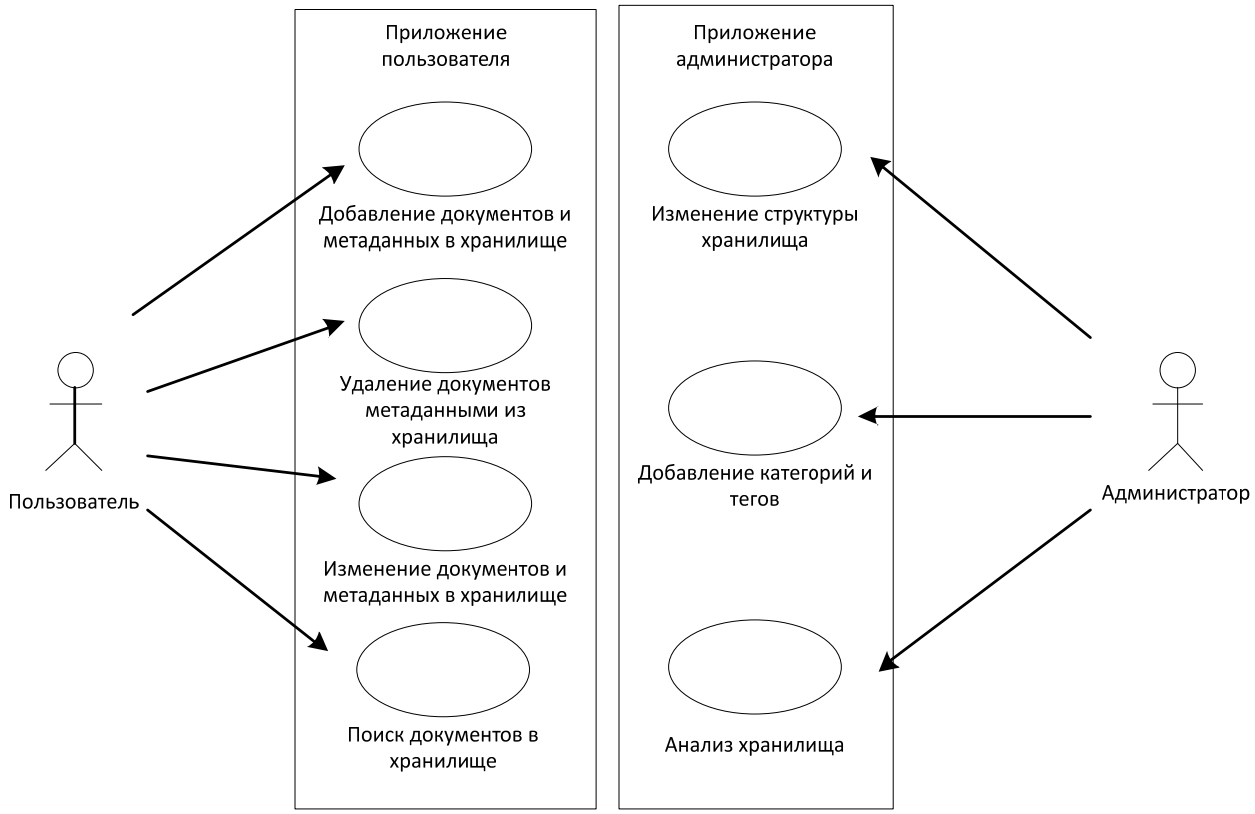


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования системы

На рисунке 3 представлен алгоритм работы пользовательского приложения при добавлении документа. Рассмотрим алгоритм добавления документа более подробно:

– Для добавления документа пользователь выделяет его и в контекстном меню выбирает пункт «добавить в архив».

– При запуске приложение анализирует документ, а также положение документа в зависимости от настроек.

- Определение типа документа по его расширению
- Анализ названия документа
- Анализ содержания документа (только для некоторых типов)
- Анализ положения документа

– На основе полученных данных заполняются некоторые поля документа. К примеру, многие популярные форматы музыкальных произведений содержат в себе теги, так на основе этих данных будут заполнены поля: исполнитель, альбом, жанр, название произведения – также будет выбрана категория аудио. Все полученные автоматическим путем данные можно изменить на следующем шаге программы.

– Далее следует заполнение данных документа, которые нельзя получить автоматическим путем.

– После заполнения метаданных идет добавление документа в архив, а впоследствии и в базу данных архива. Вся работа по добавлению документа в архив производится драйвером.

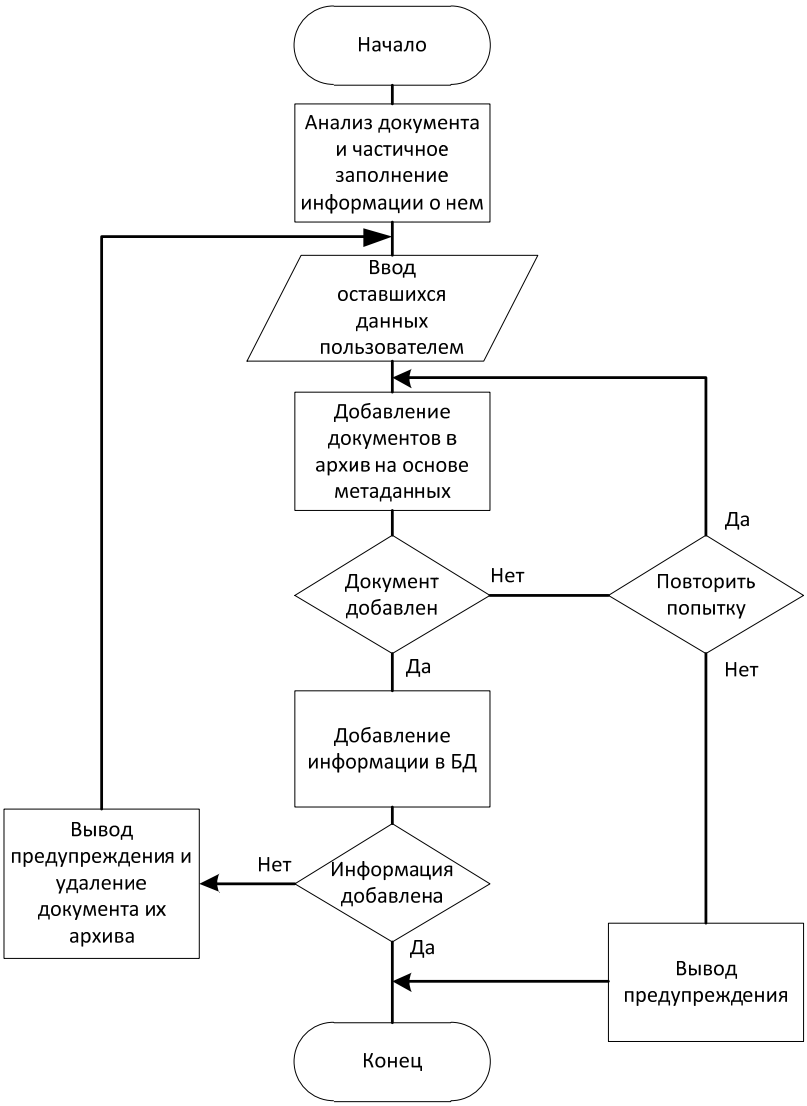


Рис. 3. Алгоритм добавления файла в архив

При использовании данной системы структура хранилища будет единообразной и будет содержать полную информацию о документах, находящихся в нем. Поиск документов в хранилище будет представлять собой поиск по базе данных, что обеспечит более высокую производительность.

В дальнейшем предполагаются следующие изменения в работе системы:

– Анализ текстовых документов и структурирование их на основе содержания

– Возможность использования системы на удаленных хранилищах информации

– Сетевой режим работы с хранилищем.

Литература

1. Воройский Ф. С. Информатика. Новый систематизированный словарь-справочник (Вводный курс по информатике и вычислительной технике в терминах). – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Либерия. – 2001. – 536с.

2. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб.: Питер, 2003. – 877с.

3. Каберов А.И. Архитектура распределенной системы документооборота с централизованным хранилищем /Молодые исследователи – регионам: мат. всерос. научн. конф.: сб. статей магистрантов. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – Вып. 3. – С. 3-5.

БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. УПРАВЛЕНИЕ УДАЛЁННЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПО GSM-КАНАЛУ

А.С. Калинин, Н.А. Клюшин

Научный руководитель ***А.В.Кожевников****, канд. техн. наук, доцент*

Череповецкий государственный университет

г. Череповец

В тяжелых отраслях промышленности комплексной механизации и автоматизации уделяется большое внимание. Это объясняется сложностью и высокой скоростью протекания технологических процессов, а также чувствительностью их к нарушению режима, вредностью условий работы, взрыво- и пожароопасностью и т. д.

Внедрение специальных автоматических устройств способствует безаварийной работе оборудования, снижение претензий со стороны потребителей, исключает случаи травматизма.

Беспроводные решения становятся все более многочисленными и разнообразными, находя свое применение не только в сфере сбора данных и мониторинга, но и в сфере управления.

Идеальным средством для построения высокоэффективных систем автоматического управления являются управляющий модуль, при минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы. Совместное использование управляющего и *GSM*-модуля предоставляет решить такую актуальную проблему, как удалённость объектов – для пользователя очень удобные возможности дистанционного управления работой, а также возможность получать от управляющего модуля *SMS*-сообщения при возникновении соответствующих ситуаций на объекте. В качестве передающей среды используется обычная сотовая связь, что дает возможность использовать обычный сотовый телефон в качестве терминала для общения с управляющим модулем. Помимо сотового телефона в качестве терминала можно использовать персональный компьютер, на который установлена соответствующая программа

для отправки/приема *SMS*-сообщений, а также подключен *GSM*-модем. При помощи *GSM*-модема можно будет осуществлять загрузку/выгрузку и *on-line* мониторинг рабочей программы управляющего модуля.

Внедрение беспроводных технологий возможно и желательно, поскольку способно решить множество серьезных проблем. Сегодня беспроводные системы встречаются довольно редко, но через два-три года они получат более широкое распространение. Природа вышеупомянутой силы вряд ли позволит беспроводной связи стать заменой традиционных технологий; скорее всего, следует ожидать появления гибридных архитектур, где беспроводная связь будет дополнять проводную. В таких системах беспроводные технологии смогут проявлять свою экономичность и эффективность, не приводя при этом к снижению уровня надежности и безопасности системы. В область управления и автоматизации постепенно проникает ряд беспроводных технологий связи, сбора данных, мониторинга, организации сетей и контроля. Развитие и распространение беспроводной связи, как и большинства других новых технологий, стимулируется единственной способной преодолеть корпоративную инерцию силой постоянным стремлением к экономии, к повышению эффективности и к получению конкурентного преимущества. Ожидание от новых систем управления 50-процентного сокращения расходов на кабельную проводку, оплату труда, материалы, тестирование и верификацию является вполне естественным.

Многообразие видов беспроводной связи:

— Как и в случае проводной связи, существует несколько протоколов и методов обмена сигналами по беспроводным каналам. Эти методы возникли из различных радиочастотных технологий и до сих пор с этими технологиями ассоциируются. Сюда входят и обычная радиосвязь, и сотовая телефония; в последнее время к ним добавились портативные и карманные компьютеры, а также другие подключаемые к персональным сетям (в частности *Bluetooth*, *Wi-Fi*) мобильные устройства с *web*-браузерами.

— В основе большинства методов беспроводной связи, рассматриваемых как вероятные кандидаты на применение в сфере управления, лежат насчитывающие уже не один десяток лет технологии рассеянной передачи и цифровой коммутации пакетов. Рассеянная (шумоподобная) передача это передача сигнала сразу по множеству каналов в пределах выделенной полосы пропускания, что способствует устранению перекрестных помех и помех при приеме, а также предотвращает перегрузку каналов. На приемном конце происходит восстановление исходного сигнала из одинаковых шумоподобных порций. Коммутация пакетов тоже позволяет организовать более эффективную связь, обеспечивая увеличение скорости передачи и объемов передаваемых данных;

— Некоторые стандарты беспроводной связи определены Институтом инженеров по электротехнике и электронике (*IEEE*) и находится в его веде-

нии, будучи частью семейства стандартов 802 (это семейство расширяется по мере роста скоростей передачи и появления новых функциональных возможностей);

— Часть стандартов беспроводной связи дала сотовая телефония. Сюда входят стандарты *Bluetooth*, *Wireless Application Protocol* (*WAP*) и *Third-Generation* (3*G*). Существуют стандарты, представляющие собой расширения обычных промышленных шин (такие как *WirelessDeviceNet*), а есть и ориентирующиеся на более специальные области применения (радиочастотная идентификация, системы обработки штрих-кодов).

*Выбор оборудования***:** *GSM*-модем подключается к *COM*2 управляющего модуля, а в качестве источника/приемника сообщений может выступать либо обычный сотовый телефон, либо другой *GSM*-модем, подключенный к ПК, на который установлена программа чтения/отправки *SMS*. Для работы с управляющим модулем подойдет любой *GSM*-модем, имеющий порт *RS*232, *RS*485 или *USB*, а также поддерживающий стандартный набор *AT*-команд. В зависимости от того, к какому порту управляющего модуля подключен *GSM*-модем, можно выбрать модель *RX*100-*R COM* с портом *RS*232 или *RX*108-*R RS*485 с портом *RS*485 (антенна и источник питания в комплект не входят). Если используется *RS*485 и на управляющем модуле и на *GSM*-модеме, то они соединяются обычным двухпроводным способом, либо *USB*.

Конфигурация оборудования: Соединение Сотовый телефон <–> сеть *GSM* <–> ПЛК + *GSM*-модем RS485 (рис. 1).

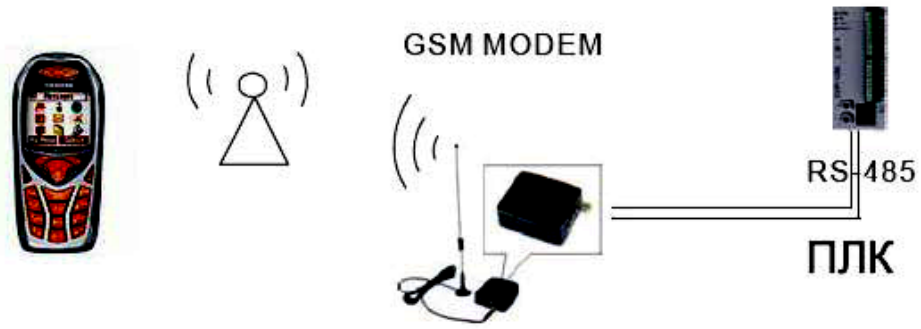


Рис. 1. Конфигурация оборудования

Данная конфигурация позволяет управлять управляющим модулем путем посылки *SMS*-сообщений с сотового телефона, а также принимать *SMS*-сообщения, которые будет отправлять управляющий модуль при возникновении соответствующих ситуаций на управляемом объекте. В данном случае *GSM*-модем имеет порт *RS*485 и подключается напрямую к порту *COM*2 (*RS*485) управляющего модуля, либо*USB*.

Реализация канала управления:

Управляющий модуль является идеальным средством для построения высокоэффективных систем автоматического управления при минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы.

Управляющий модуль работает следующим образом: *шаг 1*: чтение состояния внешних входных устройств (переключатели, датчики, клавиатура); *шаг 2*: обработка процессором предварительно заданной программы и установленного состояния выходов.

Программа состоит из последовательности отдельных управляющих инструкций, которые определяют функции управления. Управляющий модуль обрабатывает инструкции последовательно, т.е. одну за другой. Общий проход программы непрерывно повторяется.

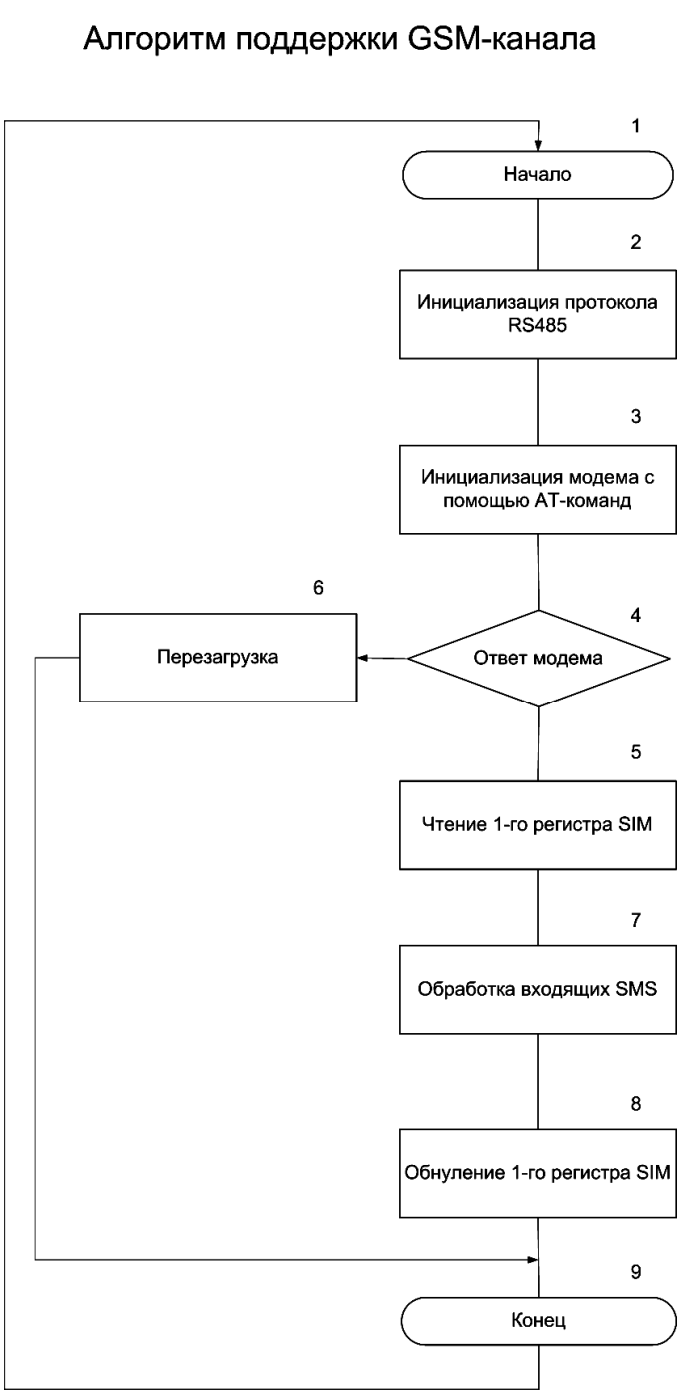


Рис. 2. Алгоритм поддержки GSM-канала

Время, необходимое для прохода программы называется временем цикла, а проходы программы – циклическим сканированием. Модуль способен работать в реальном масштабе времени и может быть использован как для построения узлов локальной автоматики, так и систем распределенного ввода-вывода с организацией обмена данными по *RS*485 интерфейсу, либо *USB*.

В качестве примера рассмотрен алгоритм поддержки *GSM*-канала и управления насосной установкой (рис. 2, 3).

Однако модуль управления не может считывать все регистры *SIM*-карты, так как это программно практически не реализуемо, а главное дальнейшая обработка становится чрезвычайно трудной. Исходя из этого, нужно читать только первый регистр на *SIM*-карте, а по-

том соответствующей *AT*-командой сразу стирать его содержимое. Таким образом, остаётся необходимость читать только один регистр, что очень удобно для дальнейшей обработки полезной информационной составляющей полученного *SMS*-сообщения. Так как первый регистр будет всегда свободен, то входящие сообщения будут поступать только туда.

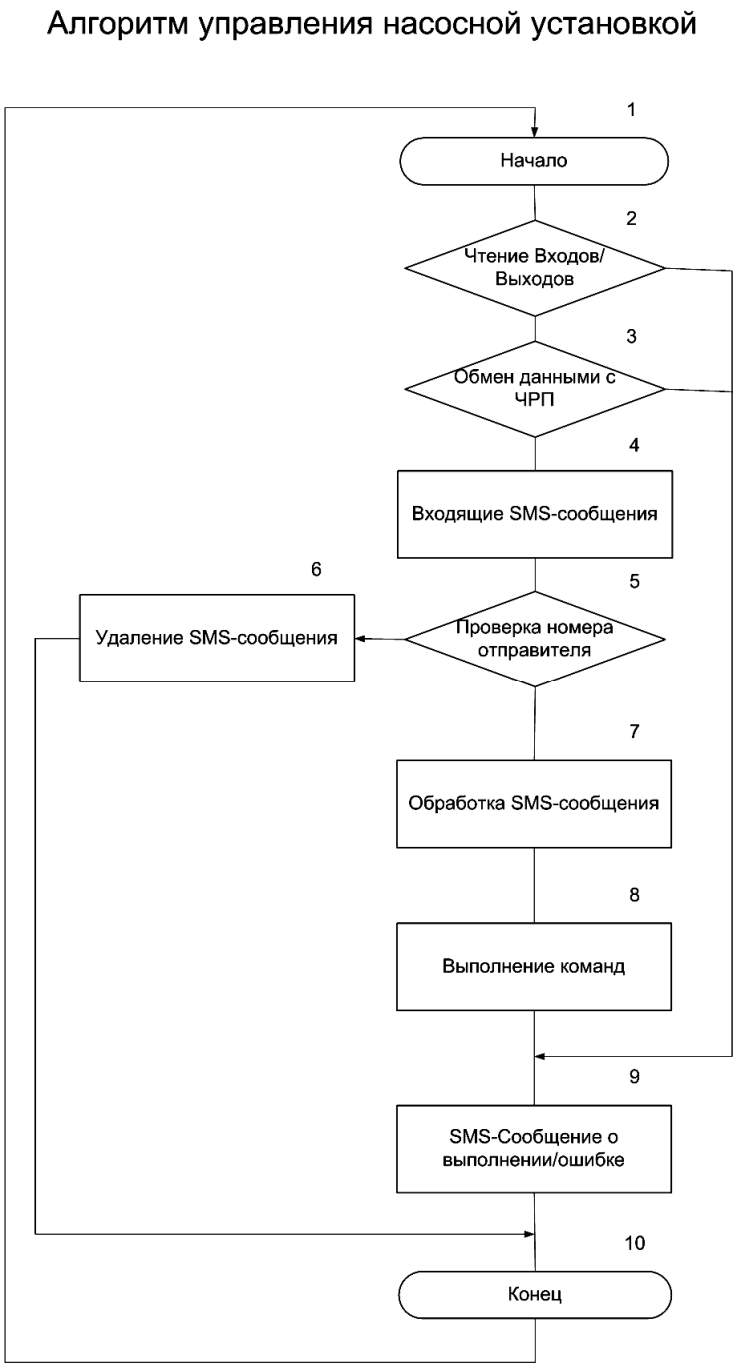


Рис. 3. Алгоритм управления насосной установкой

Шаг 1. Чтение входящих сообщений в первом регистре *SIM*-карты; *Шаг 2*. Проверка номера отправителя; *Шаг 3*. Вычленение из сообщения полезной информативной части для дальнейшей обработки; *Шаг 4*. Перенос командой *MOV* информативной части сообщения в регистры инструкции сравнения; *Шаг 5*. По результатам сравнения управляющий модуль отрабатывает какой-либо из заданных действий, например включает выход, запускает подпрограмму и т.п; *Шаг 6*. Очистка зоны приёма *SMS*, а также регистра инструкции сравнения; *Шаг 7*. Удаление *SMS*-сообщения в 1-м регистре *SIM*-карты.

Инструкции пользователя: Каждый из рассматриваемых объектов может находиться в одном из трех оперативных состояний: «Ремонт», «Резерв», «Работа».

Контроль состояния и правильности содержания насосного оборудования в соответствующем оперативном состоянии: Запрос с текстом сообщения «*KONTROL*»

Варианты состояния оборудования:

- №1*ON* – оперативное состояние «Работа»;

- №*2OFF/ON* – оперативное состояние «Резерв»;
- №3*OFF* – оперативное состояние «Ремонт»;
- *ALARM* – состояние «Авария»;
- *GSM* – управление по *GSM*-каналу;
- *MANUAL* – управление в ручном режиме;
- *AVR* – автоматическое включение резерва;
- «*RESET*» – сброс;

Включение насоса из резерва в работу: Включение насоса (или любого другого объекта) в работу из состояния холодного резерва возможно осуществлять с местного щита управления насосом, при постановке избирателя управления в положении *MANUAL*. При этом пуск производиться с питанием электродвигателя насоса от сети или от частотно-регулируемого преобразователя (ЧРП).

При дистанционном управлении с помощью *GSM*-канала, избиратель управления находится в положении *GSM*.

Отправляется команда с текстом *SMS*-сообщения; «№2*ON*» «№*1OFF/ON*». По окончании переключения приходит подтверждение в виде *SMS*-сообщения с текстом состояния оборудования.

Автоматическое включение резерва (АВР): При срабатывании АВР приходит *SMS*-сообщение с текстом; «*AVR*» и информация по состоянию оборудования. По окончании переключения приходит подтверждение в виде *SMS*-сообщения с текстом состояния оборудования.

Возникновение аварийной ситуации: При аварийной ситуации приходит *SMS*-сообщение с текстом; «*ALARM*», ошибка ЧРП, информация по состоянию оборудования. Сброс аварии производится командой с текстом *SMS*-сообщения; «*RESET*». По окончании переключения приходит подтверждение в виде *SMS*-сообщения с текстом состояния оборудования.

Заключение: Таким образом, управление удаленным объектом обеспечивает более быструю реакцию на меняющиеся производственные требования, более эффективное использование имеющихся производственных площадей и большую оперативность. Модификация же кабельной системы оказывается зачастую просто невозможной из-за связанных с этим процессом высоких расходов.

Реализация проекта позволит не только сэкономить на кабелях, но и более гибко планировать структуру предприятий и производственных линий в отсутствие необходимости прокладки многочисленных соединительных кабелей.

Предлагаемое решение более надежно. Его внедрение в рамках мониторинга процессов позволит более оперативно получать точные сведения о состоянии оборудования (потребляемом двигателями токе и состоянии коммутационной аппаратуры и т.п.), что, несомненно, поможет при проведении профилактики оборудования и устранении неполадок.

Данное решение может быть доработано по принципу как универсальности применения на любом типовом объекте, так и адаптации под конкретный объект.

Литература

1. Москаленко, В.В. Автоматизированный электропривод: учебник для вузов / В.В. Москаленко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 с.

2. Руководство по программированию. 2006г. [Электронный ресурс] // DeltaElectronics, Inc ®. – 2006. - Режим доступа: www.delta.com.tw/ industria-lautomation

3. Средства и системы компьютерной автоматизации. CONTROL ENGINEERING. Беспроводные технологии в сфере управления - 2001г. [Электронный ресурс] //– 2001. - Режим доступа: www.asutp.ru

4. Программируемые логические контроллеры DVP. 2007г. [Электронный ресурс] // Техническая документация – 2007г. – Режим доступа: www.stoikltd.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ ЧАСТНЫХ IAAS ОБЛАКОВ НА ПРИМЕРЕ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

К.Г. Комлев

Научный руководитель ***Э.М. Мухамадиев****, д-р физ.-мат. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В 2006 году впервые компания Amazon презентовала свою инфраструктуру для получения клиентами вычислительных мощностей с удаленных серверов, тем самым ознаменовав рождение термина «облачные вычисления». Мировые ИТ-гиганты, такие как Google, Sun Microsystems (ныне Oracle) и IBM, фактически сразу же последовали за первооткрывателем.

В Российской Федерации заметная активизация применения облаков произошла в 2009 году. На тот период, согласно данным IDC, всемирный рынок облачных вычислений составлял $17 млрд. (порядка 5% от всего рынка ИТ), в то время как в России всего $4,8 млн. Однако на конец 2010 года IDC зафиксировала объем российского рынка облачных услуг (публичных и частных) в $35 млн., а к началу 2011 года рынок потребности IaaS составлял более $12 млн. (т.е. треть всего рынка облачных вычислений, в то время как в 2009 году 94% использовали SaaS). Последнее обозначает прямую востребованность отечественного рынка в облаках IaaS.

Напомним, что облака как материализация символа, используемого для обозначения Сети, начались с осознания возможности виртуализировать различного вида ресурсы (серверы, системы хранения данных, приложения) и предоставлять эти ресурсы пользователям в форме сервисов по требованию (*aaS). Затем, открывается сфера для бизнеса, которому провайдер предоставляет услуги на условиях повременной оплаты. Однозначное преимущество такого вида дея-

тельности вполне очевидно – разделение полномочий, а значит оптимизация ресурсов: провайдер сосредотачивает свое внимание на создании и совершенствовании общего пула ресурсов, а пользователь оплачивает ровно то, что потребил. Указанная концепция функционирует уже давно, со времен реализации многопользовательских ОС с разделением времени, разница лишь в том, что за 40 лет изменились представления о ресурсах и методах их распределения.

Рассматривая процесс массового перехода в глобальные облака, можно выделить основное препятствие – предприятия опасаются передавать свои данные наружу, отказываясь верить в заявления провайдеров, о надежности хранения важнейших активов. Следует учитывать и тот факт, что действующее законодательство в РФ, пока еще не готово к принятию публичных облаков. В качестве ответной реакции возникает желание перенести достоинства облаков внутрь корпоративных сетей, что и стало основной причиной рождения частных облаков. Последнее поддержали имеющиеся технологии:

- стандартные серверы стали достаточно мощными для поддержки множества виртуальных машин;
- имеется необходимое ПО для резервирования ресурсов и предоставления их по требованию;
- достигнута достаточная пропускная способность каналов, разработаны интерфейсы, распространились мобильные устройства для обеспечения доступа.

В декабре 2011 года аналитики Gartner на конференции Data Center Conference задали ее участникам вопрос: «Что для вас является главным стимулом для перехода на частное облако?» Ответ, набравший наибольшее число голосов (59%) – «agility». Таким образом, сегодня ИТ-бизнес заинтересован в гибкости, маневренности и реактивности, а не в очевидной «стоимости» (ответ – который набрал лишь 21% голосов).

Для реализации частного облака необходимо пройти несколько этапов:

1) создать динамическую инфраструктуру (виртуализация);
2) создать средства для автоматизированного управления инфраструктурой;
3) осуществить миграцию приложений;
4) передать результаты пользователям.

Рассмотрим указанные этапы формирования частного облака на примере информатизации системы образования Вологодской области.

В августе 2010 года возникла прямая потребность в организации системы виртуализации, вызванная постоянно растущими потребностями в решении новых задач информатизации при недостаточном аппаратном оснащении. Еще тогда вопрос более рационального использования вычислительной мощности аппаратных серверов вставал наиболее остро. Этому способствовал ряд следующих аспектов:

- постоянно растущие потребности в новых ИТ-услугах требовали серьезного увеличения финансирования, что для бюджетной сферы с жестким планированием фактически не представляется возможным. При стандартном решении требовалось под каждую задачу минимум закупить новый аппаратный сервер, а в комплексе – организовать дополнительную систему кондиционирования, увеличить площадь для серверного оборудования, провести модернизацию системы электропитания, и, как следствие, увеличить расходы на поддержания работоспособности данных услуг;
- проблема с организацией отказоустойчивости предоставляемых услуг. Для каждой серьезной задачи требовалось дублировать сервер, поскольку оборудование в любом случае может дать сбой, а оказываемые услуги должны осуществляться в режиме 24/7/365 (24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году);
- нерациональное использование вычислительных мощностей. Потребляемые ресурсы ряда услуг занимали 10% мощности аппаратного сервера при стандартной нагрузке, и не превышали 20% при разовой пиковой нагрузке. В то же время совместить сервисы не представлялось возможным по причинам конфликтов ПО или безопасности систем.

При выборе системы виртуализации (т.е. гипервизора и системы управления доступом к виртуальным машинам) были сформулированы следующие требования:

1) система должна быть открытой и свободно распространяемой (т.е. удовлетворять позиции президента РФ относительно свободного программного обеспечения);
2) система должна быть поддерживаемой и активно развивающейся;
3) система должна быть бесплатной.

В результате анализа различных решений для виртуализации был выбран гипервизор KVM (Kernel-based Virtual Machine), работающий под управлением ОС GNU/Linux, который удовлетворял всем поставленным требованиям.

В дополнение к гипервизору, непосредственно нами, был реализован функционально тривиальный веб-интерфейс, позволяющий удаленно управлять виртуальными машинами (создавать и удалять; включать, выключать, перезагружать; а также давать различным пользователям права на ту или иную виртуальную машину).

Реализовав указанную систему, мы получили возможность перенести ряд задач на одну аппаратную платформу. Предоставляемым ресурсом является одна или несколько виртуальных машин с возможностью интегрировать их совместную работу, фактически реализуется инфраструктура, а значит, полученное решение – частное IaaS облако.

Частное облако, организованное на одном сервере, особенно акцентирует проблему отказоустойчивости, поскольку при аппаратном сбое одновременно выйдут из строя несколько ИТ-сервисов.

В ноябре 2010 года было подготовлено и реализовано новое решение, изображенное на рис. 1. Основная идея заключалась в следующем: на двух аппаратных серверах создаются одинакового размера 2 группы томов (volume group), основанных на технологии LVM (Logical Volume Manager). Внутри данных томов (VG1 и VG2) выделяются логические разделы (logical volume), которые представляют собой систему хранения для виртуальных машин (обозначены VM). Виртуальные машины (VM1-VM3), расположенные на первой группе томов (VG1), исполняются на первом сервере, а виртуальные машины (VM7-VM9), расположенные на второй группе томов (VG2), – на втором сервере. Группа томов VG1 и VG2 синхронизируются одновременно на обоих серверах, с помощью технологию DRBD (Distributed Replicated Block Device), которая работая поверх протокола TCP/IP, коммутируется через объединённый сетевой интерфейс из 4-х гигабитных портов (с общей пропускной способностью порядка 3,2 Гбит/с).

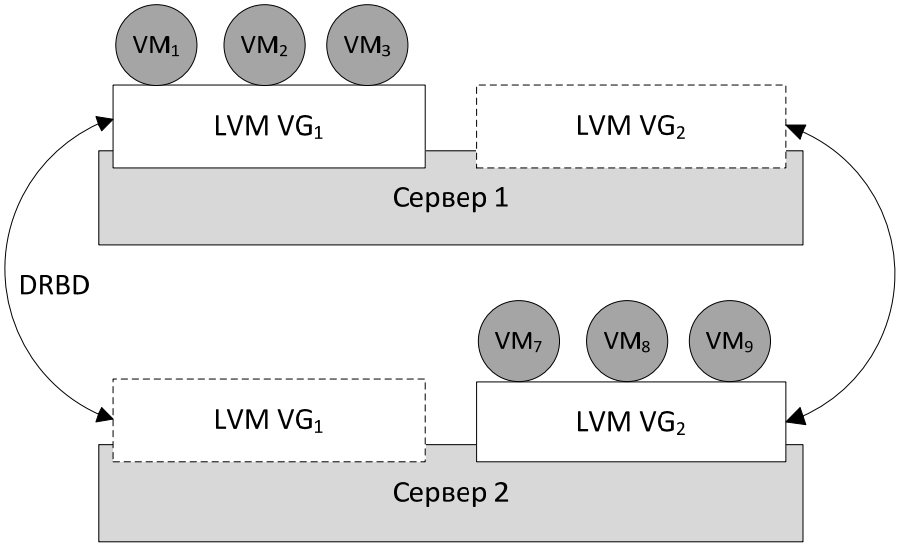


Рис. 1. Схематическое представление организации отказоустойчивой системы из двух серверов

При физическом отказе одного из серверов виртуальные машины запускаются на другом функционирующем сервере, поскольку последний имеет актуальную копию дисковой подсистемы. Случай отказа сетевого интерфейса не рассматривается, поскольку вероятность отказа четырех портов одновременно чрезвычайно мала (если вероятность отказа, одного порта равна 10^{-3}, то отказ четырех портов одновременно равен 10^{-12}).

Для реализации данного проекта было разработано:

- ПО для мониторинга работы серверов;
- ПО для миграции виртуальных машин с одного сервера на другой;
- ПО для восстановления работоспособности отказавшего сервера (синхронизация группы томов, и миграция виртуальных машин, на восстановленный сервер).

Таким образом, полученная система позволила организовать отказоустойчивую работу ИТ услуг. Разработанное решение показало свою надежность при использовании в реальных условиях около 2 лет.

Однако полученное IaaS облако обладает рядом недостатков:

1) фактически отдельно взятый сервер должен использовать не более 50% своих возможностей. Каждый из узлов обязан оставлять свободными часть ресурсов, в случае, если иной узел даст сбой, другими словами, несмотря на то что используется два физических сервера, максимальное количество реализуемых виртуальных машин ограничивается ресурсами лишь одной аппаратной платформы;

2) система не масштабируема, т.к. для увеличения числа максимального количества виртуальных машин потребуется создание аналогичной «пары серверов»;

3) несмотря на то что система фактически осуществляет отказоустойчивую работу, теоретическая вероятность сбоя всей системы остается достаточно высокой (если предположить, что вероятность физического сбоя сервера равна 10^{-2}, то вероятность одновременного сбоя 10^{-4}).

В декабре 2011 года началась работа над новым проектом, призванным закрыть указанные недостатки. К концу февраля 2012 года был реализован отказоустойчивый кластер виртуальных машин, схематически представленный на рис. 2. Частное облако состоит из двух основных элементов: кластера хранения и кластера исполнения.

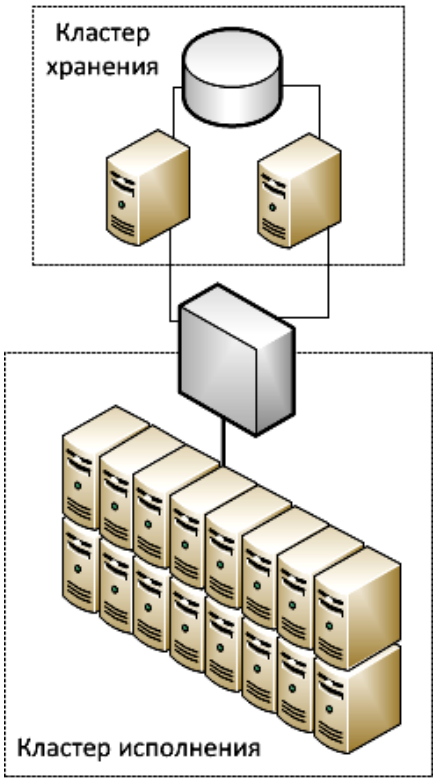


Рис. 2. Схематическое представление архитектуры отказоустойчивого кластера виртуальных машин

Кластер исполнения представляет собой Blade-сервер, включающий 10 лезвий (по два мощных физических сервера на одном лезвии). У каждого физического сервера («полулезвия») два сетевых интерфейса и один InfiniBand интерфейс. Два независимых аппаратных коммутатора внутри Blade системы организованы в стек и соединены CX4 кабелем с маршрутизатором предоставляющим выход в сеть Интернет. Кластер исполнения запускает и выделяет свои ресурсы виртуальным машинам.

Кластер хранения представляет собой стек дисковых хранилищ подключенных к RAID-контроллерам серверов. У каждого из узлов есть InfiniBand-адаптер, соединенный с InfiniBand коммутатором внутри Blade-системы кла-

стера исполнения. Сервера хранения экспортируют по интерфейсу InfiniBand (скорость до 40 Гб/с) блочные устройства через технологию LVM.

Кластер исполнения построен на основе Proxmox VE – дистрибутиве GNU/Linux, базирующемся на Debian. В данную ОС не входит возможности по интеграции сетевых хранилищ, построенных на InfiniBand-коммутации (и вообще каких-либо утилит по реализации InfiniBand-коммутации), поэтому всю необходимую часть мы реализовали самостоятельно.

Несмотря на тот факт, что Proxmox VE ориентирован на создание кластера исполнения, в нем не предусмотрено никаких механизмов балансировки нагрузки и реализации отказоустойчивости (т.е. восстановления виртуальных машин на функционирующих узлах). Указанные вопросы также проработаны нами самостоятельно.

На данный момент процесс балансировки нагрузки при отказе одного из узлов кластера исполнения основывается на «жадном алгоритме», который, в большинстве случаев дает оптимальное решение, но все же не является точным, поэтому одним из основных направлений совершенствования системы является реализация иного алгоритма нахождения оптимального распределения нагрузки на узлы кластера.

Стоит отметить, что структура, показанная на рис. 2, позволяет реализовать сетевую бездисковую загрузки образов ОС узлов исполнения. Подобная задача уже решалась с поправкой на вычислительный кластер в [1], сам механизм организации бездисковой загрузки описан в [2], в том числе и механизмы автоматизации сетевой загрузки указанные в [3].

Таким образом, основными преимуществами разработанного облака является следующее:

- система масштабируема. Применение бездисковой загрузки для узлов кластера исполнения позволяет добавить новые узлы исполнения и хранения, соединив их через InfiniBand коммутатор;
- выгодный форм-фактор и упрощенная модель администрирования облака. Полученная система физически занимает 17U (меньше половины стойки) в серверной стойке, аналогичная аппаратная реализация только без использования Blade-сервера занимала бы 32U, не говоря о дополнительных закупках на RAID-контроллеры и Infiniband-адаптеры для каждого отдельного узла и наращивании системы электропитания и кондиционирования. Применение бездисковой загрузки позволяет легко восстановить вышедшее из строя лезвия методом горячей замены;
- система полностью организована на бесплатном свободном программном обеспечении, что позволяет модернизировать полученное облако, наращивая функциональные возможности и оптимизируя узкие места технического решения. Аналогично построенное облако, организованное на продуктах от компании VMWare обошлась бы в несколько млн. рублей, требуя при этом дополнительное обучение и сертификацию специалистов;

- и как следствие всех предыдущих преимуществ – минимальная стоимость.

На данный момент обозначена только одна проблема – балансировка нагрузки при отказе узла кластера исполнения. Реализованная программная часть, хотя и справляется с нахождением распределения, может быть оптимизирована, и в дальнейшем планируется уделить указанной задаче особое внимание.

Литература

1. Сенченко В.В., Комлев К.Г. Проектирование кластера для ресурсоёмких вычислений на основе бездисковой загрузки // Материалы III ежегодных смотров - сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук. – В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – Т. 2.: Экономические науки. – С. 221-227.

2. Сенченко В.В., Комлев К.Г. Бездисковая сетевая загрузка UNIX-LIKE систем на примере FreeBSD // Молодые исследователи - регионам: материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов. – В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – Т. 1. – С. 76-77.

3. Сенченко В.В., Комлев К.Г. Разработка комплекса программ на Shell (UNIX) для автоматизации и настройки клиентов бездисковой сетевой загрузки FreeBSD 7.0 // Молодежь и высокие технологии: материалы всероссийской студенческой олимпиады (Всероссийский конкурс компьютерных программ). – Вологда: ВоГТУ, 2009. – С. 77-79.

КРОССПЛАТФОРМЕННАЯ СИСТЕМА БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА

И.В. Лобачев

Научный руководитель ***С.Б. Федотовский****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В настоящее время ведение бухгалтерского учета малоэффективно без компьютерной обработки данных, и на рынке предлагается множество бухгалтерских программ, удовлетворяющих самым разным требованиям.

Существующие прикладные системы бухгалтерского учета очень разнообразны и неоднородны. Чаще всего выделяют следующие классы программ:

- ориентация на размер предприятия;
- локальные и сетевые версии;
- ориентация на бухгалтерский учет в различных сферах деятельности, а также ориентация на бюджетный учет;
- отечественные и зарубежные программы.

Основным же классификационным признаком бухгалтерских программ остается ориентация на размер предприятия и состав выполняемых ими

функций. Однако среди множества предлагаемых решений достаточно сложно выбрать программу для своего предприятия [1].

Рассмотрение достаточно большого количества бухгалтерских программ позволяет сделать ряд выводов. Одни из них являются громоздкими и дорогими, другие обладают сложным и малопонятным интерфейсом, для работы с которым требуется подробная документация. Одним из основных недостатков является то, что большинство предлагаемых программных продуктов привязано к конкретной платформе и не предоставляет свободы выбора. Например, они работают исключительно на операционных системах семейства Microsoft Windows, которые, как известно, являются платными. Это приводит к дополнительным затратам компании, что зачастую неоправданно, так как поставленные задачи можно успешно решать с использованием открытого программного обеспечения.

Поэтому на некоторых предприятиях целесообразнее использовать программное обеспечения, написанное под узкую специализацию. Кроме того, в случае обнаружения непредвиденных ошибок, есть возможность оперативно их исправить, пока система находится в тестовом режиме.

Сервисный центр - небольшая компания, занимающаяся оказанием услуг по ремонту бытовой и офисной техники. Как и любой компании, сервисному центру необходимо вести учет своей деятельности. С точки зрения бухгалтерии учет должен охватывать вопросы связанные с оказанием услуг, затратами на ремонт, клиентами (контрагентами), сотрудниками, банком, заработной платой, уплатой налогов и т.д.

Было принято решение создать единую базу данных по всем участкам учета и соответствующую систему бухгалтерского учета. Данная система должна обеспечить все необходимые функции, для автоматизации бухгалтерского учета.

Разрабатываемое средство должно удовлетворять следующим критериям:

- программа должна полностью соответствовать правилам и практическим рекомендациям по ведению бухгалтерского учета;
- программа должна быть разработана для главного бухгалтера, работать через веб-интерфейс;
- программа должна позволять получать необходимые первичные документы в печатном виде;
- программа должна содержать все необходимые отчеты как для внутреннего пользования, так и для сдачи в контролирующие органы;
- программа должна предусматривать идентификацию пользователя;
- программа должна быть удобна и проста в эксплуатации;
- программа должна обеспечивать безопасность и конфиденциальность данных;
- программа не должна быть привязана к конкретной платформе и нацелена на использование открытого программного обеспечения;

- программа должна иметь архитектуру «клиент-сервер» для использования в локальной вычислительной сети.

Для выполнения поставленной цели было решено использовать следующие средства разработки.

Система разрабатывается с использованием архитектуры «клиент-сервер», для которой необходим протокол общения между клиентом и сервером. Основным протоколом такого вида на сегодняшний день является HTTP – протокол прикладного уровня передачи данных.

В качестве клиента, работающего с протоколом HTTP, используется веб-браузер. Самыми известными на сегодня являются Internet Explorer, Mozilla FireFox, Opera, Safari, Google Chrome. Все вышеперечисленные браузеры являются свободными. Выбор конкретного браузера остается за пользователем.

Для использования протокола HTTP на стороне сервера необходим веб-сервер. На текущий момент существует большое количество веб-серверов под все возможные платформы. Для разработки выбран «Apache». Это бесплатный HTTP сервер. Является один из самых популярных web-серверов на сегодняшний день (устанавливается на 60% всех серверных машин).

Для реализации бизнес логики программы будет использован язык Python.

В качестве системы управления базами данных выбрана MySQL - это одна из самых популярных и самых распространенных СУБД для вэб-приложений. Поддержка сервера MySQL автоматически включается в поставку Python.

Для повышения скорости разработки, быстрого решения стандартных задач и создания структуры приложения используются framework’и, существующие практически для любого языка, в том числе и Python. Для языка Python существует несколько фреймворков, из которых самыми популярными являются два: Pylons и Django. Выбор Django, а не Pylons, был сделан по двум причинам: скорость разработки на Django значительно выше, документация по Django наиболее полная и понятная [2].

В качестве среды разработки выбрана Aptana Studio.

В результате была разработана система для ведения бухгалтерского учета в сервисном центре. Ниже приведено ее краткое описание.

Для удобства пользователей интерфейс представлен в виде набора рабочих столов с возможностью переключения между ними.

Каждый рабочий стол позволяет выполнять ряд логически сгруппированных действий. Введение нескольких рабочих столов позволяет распределить большое количество элементов управления между несколькими рабочими зонами, из которых в конкретный момент времени видна лишь одна. Рабочие зоны (рабочие столы) являются независимыми и существуют одновременно. Это позволяет, выполняя какое-либо действие, прерваться, перейти на

другой рабочий стол, выполнить необходимую операцию и вернуться к прерванному действию.

Для бухгалтера предусмотрен следующий набор рабочих столов:

- касса – выполнение операций по движению наличных денежных средств;
- банк – выполнение операций по движению безналичных денежных средств;
- покупка – приобретение товаров и услуг;
- продажа – реализация товаров и услуг;
- склад – оприходование деталей и списание их на производство;
- зарплата - начисление, удержание налогов и выплата зарплаты;
- кадры – управление информацией о сотрудниках фирмы;
- отчеты – формирование отчетов;
- контрагенты - управление информацией о контрагентах фирмы.

Каждый рабочий стол представлен в виде одного или двух списков, которые содержат информацию о соответствующих документах. Для каждого списка предусмотрен поиск и сортировка. Основные действия, выполняемые пользователем, одинаковы для каждого рабочего стола: добавление, редактирование или удаление документа. Для добавления документа предусмотрена кнопка «Добавить». При нажатии открывается форма добавление. Ввод может осуществляться как пошагово, если необходимо выбрать вид документа или тип операции, так и непосредственно в форму ввода, если документ по данной операции единственный. После ввода всех реквизитов для сохранения документа в базе необходимо нажать кнопку «Сохранить». Для отказа от ввода предусмотрена кнопка «Отмена». Для редактирования уже введенного документа необходимо дважды щелкнуть по соответствующей записи в списке. Откроется форма редактирования, где можно внести необходимые исправления, сохранить их или отказаться от редактирования. Для печати первичных документов как после ввода реквизитов, так и при редактировании предусмотрена кнопка «Печать». Для удаления документа нужно выбрать необходимый документ в списке и нажать кнопку «Удалить». Удалять документы можно по одному или списком. Для избегания случайного удаления предусмотрено диалоговое окно подтверждения, в котором содержится название удаляемого элемента. Можно продолжить удаление, нажав кнопку «Да» или отказаться - «Отмена».

Разработанная система обеспечивает все необходимые функции, для автоматизации бухгалтерского учета и учитывает особенности его ведения, использует для работы только бесплатное программное обеспечение и является кроссплатформенной.

Программа не требует особых навыков в обучении, проста и удобна для пользователя, создана специально для бухгалтера. Решает все основные проблемы, которые были до ее внедрения:

- освобождает бухгалтера от проведения рутинных операций, связанных с вводом первичных данных и выполнением необходимых расчетов;

- позволяет получить необходимые первичные документы в печатном виде;

- содержит необходимые отчеты как для внутреннего пользования, так и для сдачи в контролирующие органы;

- отвечает требованиям безопасности и конфиденциальности данных.

Данная система была разработана для сервисного цента «Электронные системы и сервис», где проходила тестирование и была успешно внедрена.

Литература

1. Информационные системы в экономике / Под ред. Г.А. Титоренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 463 с.

2. Джефф Форсье, Пол Биссекс, Уэсли Чан Django. Разработка веб-приложений на Python. Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2009. – 456 с, ил.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ НА БАЗЕ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Н.А. Лукьянова

Научный руководитель ***А.А. Суконщиков****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В настоящее время существует множество способов моделирования компьютерных сетей. Большинство методов не способны смоделировать параметры с качеством обслуживания [1]. Для решения этой задачи используется расширение аппарата сетей Петри – нечеткие сети Петри [2]. Преимуществами данного метода являются:

1) работа с нечеткими исходными данными;

2) нечеткость приемов обработки;

3) возможность реализации.

Нечеткую сеть Петри можно описать в виде следующего набора:

$$NP = (P, T, A, S, F, q, n, g, h, C, Gn, M, R),$$

где P – конечное непустое множество позиций; T – конечное непустое множество переходов; A – отношение, $A \subseteq (P \times T \cup T \times P)$ соответствует множеству дуг; S – конечное непустое множество стартовых (начальных) позиций; F – конечное непустое множество финальных (выходных) позиций; q – вещественная величина, соответствующая времени жизни («потенциалу») метки в позиции; n – целочисленная величина, равная минимальному числу меток,

необходимому для активизации перехода; g – функция для определения суммарного потенциала меток в каждой позиции в определенный момент времени; C – множество цветов меток, $C = \{a, b\}$; h: $T \times P \to C$ – функция раскраски выходных и входных дуг переходов; Gn – нечеткий потенциал позиции; M – функция принадлежности; R – интервальность параметров.

В качестве примера работы нечетких сетей можно представить следующую структуру (рис. 1).

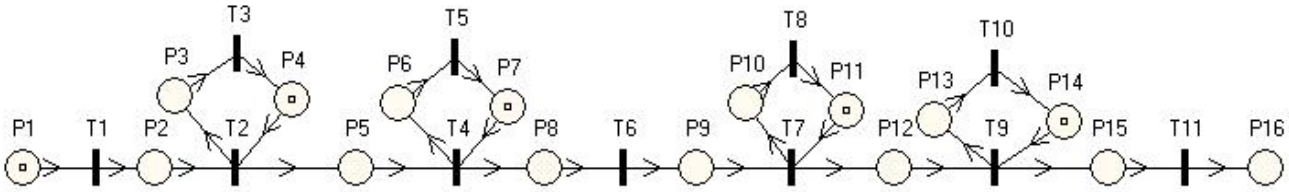


Рис. 1. Сеть Петри

На схеме позиции P1 и P16 выступают в роли складов.

Позиции P2 и P9 – транспортная система, подающая детали роботам.

Позиции P5 и P12 – станки по сборке деталей.

Позиции P3 и P4, P10 и P11, P6 и P7, P13 и P14 – роботы, которые передают детали на станок и забирают собранные.

После сбора деталей роботы P6 и P7, P13 и P14 передают собранные детали в транспортную систему P8 и P15.

На основе этого материала разработан программный продукт, который позволяет создавать схемы сетей как графически, так и задавая параметры в матричном виде.

Данная схема была построена в разработанном программном продукте [3] (рис. 2). Здесь задаются параметры для каждого элемента системы, например, емкость позиций, время задержки перехода, состояние позиции, приоритет перехода и другие.

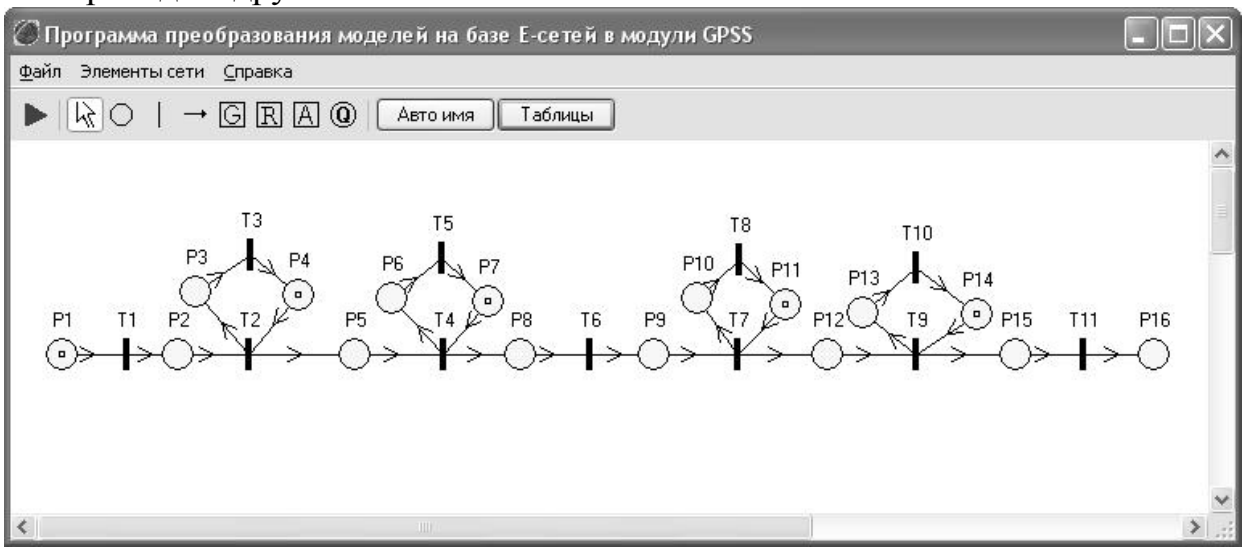


Рис. 2. Вид схемы в разработанной программе

Здесь присутствует кнопка «Таблицы», которая позволит перейти в режим представления в виде таблиц. В данной форме представлены данные, которые взяты из схемы предыдущего окна. Данные параметры можно просматривать, но не редактировать. Для перехода в режим редактирования необходимо нажать на кнопку «Начать моделирование» и программа перейдет в новое окно (рис. 3). На данной форме можно регулировать различные данные. Здесь также появляется матрица ингибиторных дуг. Можно задать нечеткость системы с помощью функций принадлежности.

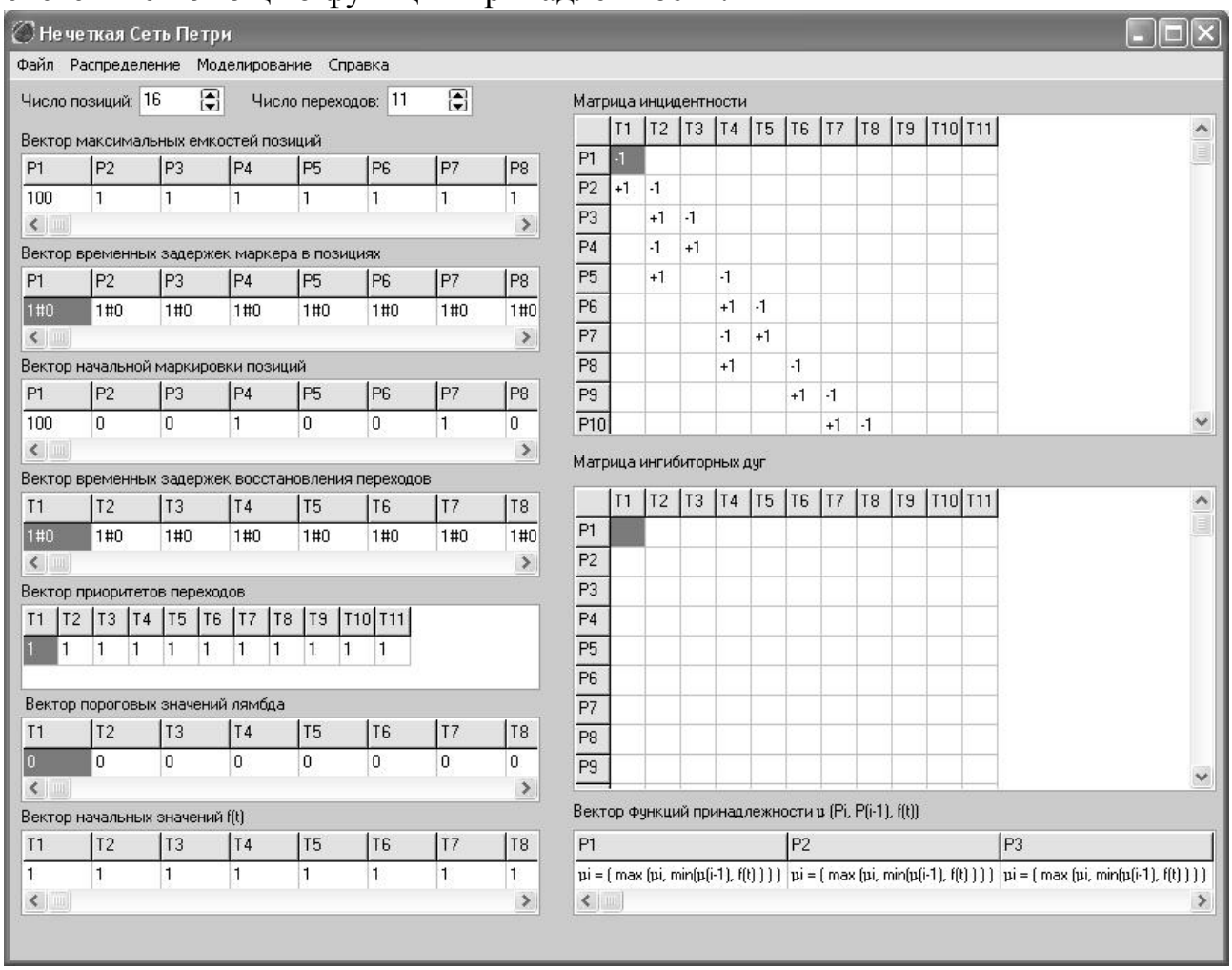


Рис. 3. Матричный вид схемы

После задания всех параметров можно перейти в режим симуляции и посмотреть, как будет вести себя система. Для этого необходимо нажать кнопку «Моделирование», после чего откроется окно, представленное на рис.4. Здесь можно увидеть движение меток в сети, статистику по позициям, статистику по переходам. Для получения параметров необходимо выбрать шаг симуляции (например, 1, 10 или 100 шагов). Для наглядности в программе предусмотрена возможность построения графиков. Графики показывают загруженность позиции и значение функции принадлежности в этой позиции на данном шаге (рис.5).

Нечеткая Сеть Петри - Моделирование

100 шагов | 10 шагов | 1 шаг | Протокол

Движение меток в сети

Время	μ1	P2	μ2	P3	μ3	P4	μ4	P5	μ5	P6	μ6	P7	μ7	P8	μ8
2	0.36569	1:0	0.36569	0:0	0.00000	0:1	0.27443	0:0	0.00000	0:1	0.34689	0:0	0.00000	0:1	0.3468
3	0.36569	0:1	0.36569	0:1	0.27443	0:0	0.00000	0:1	0.27443	0:0	0.00000	0:1	0.62007	0:0	0.0000
4	0.36569	1:0	0.36569	0:0	0.00000	0:1	0.55338	0:0	0.00000	0:1	0.62007	0:0	0.00000	0:1	0.6200
5	0.36569	0:1	0.36569	0:1	0.55338	0:0	0.00000	0:1	0.55338	0:0	0.00000	0:1	0.02841	0:0	0.0000
6	0.36569	1:0	0.36569	0:0	0.00000	0:1	0.19756	0:0	0.00000	0:1	0.02841	0:0	0.00000	0:1	0.0284
7	0.36569	0:1	0.36569	0:1	0.19756	0:0	0.00000	0:1	0.19756	0:0	0.00000	0:1	0.85044	0:0	0.0000
8	0.36569	1:0	0.36569	0:0	0.00000	0:1	0.06405	0:0	0.00000	0:1	0.85044	0:0	0.00000	0:1	0.8504
9	0.36569	0:1	0.36569	0:1	0.06405	0:0	0.00000	0:1	0.06405	0:0	0.00000	0:1	0.25896	0:0	0.0000

Статистика по позициям

9	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Акт.	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пас.	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Макс.	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Всего	100	6	5	5	5	4	5	4	4	3	4	3	3	3	3
Загр.	1.000	1.000	0.440	0.560	0.440	0.440	0.560	0.440	0.330	0.330	0.670	0.330	0.220	0.780	0.220

Статистика по переходам

9	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Срабат.	6	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2
Запрет.	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сон	6	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2
Знач.лям	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Рис. 4. Моделирование системы

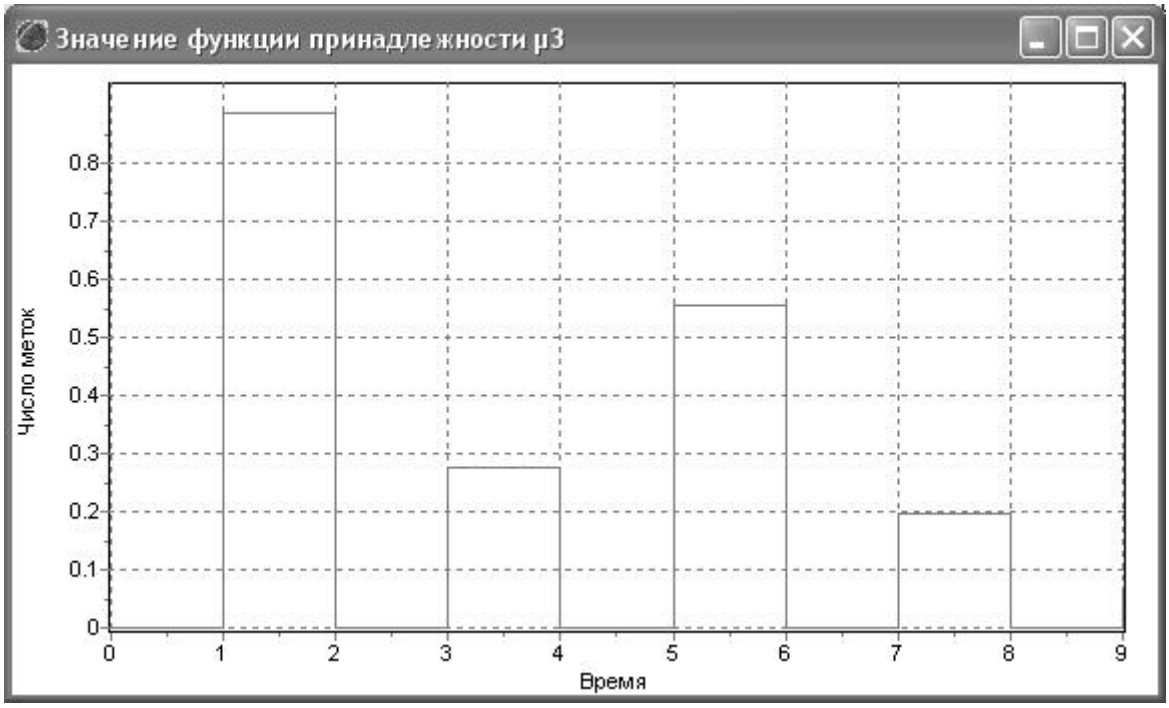


Рис. 5. График значения функции принадлежности в позиции P3

По данным параметрам была сделана программа, позволяющая строить схемы и задавать параметры в матричном формате. Также планируется произвести следующие усовершенствования:

- Ввести новые параметры, например, начальное значение функции принадлежности;
- Сделать более полный отчет по полученным данным;
- Добавление новых функций принадлежности.

Литература

1. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2009. – 343 с.

2. Суконщиков А.А., Лукьянова Н.А., Любителев В.Н. Исследование функционирования коммутатора на основе нечетких сетей Петри /Автоматизация и энергоснабжение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы седьмой международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – С. 318-322.

3. Суконщиков А.А., Лукьянова Н.А., Любителев В.Н. Программный комплекс для моделирования многоагентных систем на базе нечетких сетей Петри /Молодежная международная конференция «Информационные системы и технологии». – М., 2012. – С. 13-14.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

А.М. Малафеев

Научный руководитель ***А.А. Суконщиков****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Вопросы моделирования процессов и машин приобрели в настоящее время первостепенное значение.

Моделирование как замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели позволяет уменьшить ресурсы, необходимые для создания изучения, выбора и оптимизации технологических процессов.

Имитационное моделирование – это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе.

К имитационному моделированию прибегают, когда:

- дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте;
- невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные;
- необходимо сымитировать поведение системы во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или другими словами - разработке симулятора (англ. simulation modeling) исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Существует три основных подхода имитационного моделирования: агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование и системная динамика.

Агентное моделирование – относительно новое (1990-2000 гг.) направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей – получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе. Агент — некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться.

Дискретно-событийное моделирование — подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. Дискретно-событийное моделирование наиболее развито и имеет огромную сферу приложений – от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем. Этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования производственных процессов. Основан Джеффри Гордоном в 1960-х годах.

Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. Такой вид моделирования более всех других парадигм помогает понять суть происходящего выявления причинно-следственных связей между объектами и явлениями. С помощью

системной динамики строят модели бизнес-процессов, развития города, модели производства, динамики популяции, экологии и развития эпидемии. Метод основан Джеем Форрестером в 1950 годах.

Верификация представляет собой формальное доказательство на абстрактной математической модели системы, в предположении о том, что соответствие между математической моделью и природой системы считается изначально заданным. Например, по построению модели либо математического анализа и доказательства правильности алгоритмов и программ.

Примерами математических объектов, часто используемых для моделирования и формальной верификации программ и систем являются:

- формальная семантика языков программирования, например операционная семантика, денотационная семантика, аксиоматическая семантика (логика Хоара), [математическая семантика программ].
- конечный автомат
- помеченная модель состояний и переходов
- сеть Петри
- временной автомат
- гибридный автомат
- исчисление процессов
- структурированные алгоритмы
- структурированные программы

Технологические процессы удобнее представлять в виде дискретно-событийной модели, поэтому для их моделирования хорошо подходят модели основанные на сетях Петри.

Структура сети Петри представляется ориентированным двудольным графом (биграфом). Множество вершин V двудольного графа разбивают на два непересекающихся подмножества (доли) T и P, такие что V = TUP, T∩P=Ш. Вершины из T и P соединены между собой ориентированными ребрами (дугами). Поскольку ребрами соединены вершины из P с вершинами из T и наоборот, все простые циклы биграфа имеют четную длину. Для представления процессов, являющихся динамическими объектами систем, с графом связываются подвижные элементы, которые называют метками (марками). Распределение марок по вершинам сети называют ее маркированием.

Основные задачи исследования:

- Анализ существующих подходов к имитационному моделированию технологических процессов на базе сетей Петри.
- Анализ существующих методов верификации моделей на базе сетей Петри.
- Анализ существующих моделей технологических процессов.
- Анализ существующих средств имитационного моделирования с возможностью верификации системы.

- Разработка математического аппарата для моделирования и верификации.
- Разработка методик построения моделей.
- Разработка моделей, построенных на представленном математическом аппарате.
- Разработка цифровой системы, построенной в терминах представленного математического аппарата.
- Разработка программного комплекса для моделирования сложных систем на основе представленного аппарата на базе сетей Петри.

Научной новизной данного исследования являются: разработанный математический аппарат для моделирования и верификации, разработанные методики построения моделей, разработанные модели, цифровая система, а также программный комплекс для моделирования сложных систем на основе представленного аппарата сетей Петри.

ВИРТУАЛЬНЫЕ СТЕНДЫ ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ FLASH

Н.М. Мунцева

Научный руководитель ***А.М. Водовозов****, канд. техн. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Создание инновационной образовательной среды, необходимой для подготовки высококвалифицированных компетентных специалистов, предполагает модернизацию образовательного процесса, совершенствование образовательных программ с учетом современных достижений науки, а также использование в учебном процессе современных технологий обучения.

В новых образовательных стандартах любого уровня образования особая роль придается экспериментальным методам познания окружающей нас действительности, которые реализуются в форме лабораторного практикума. Именно лабораторный практикум нацелен на формирование у обучаемых компетенций, знаний, умений и навыков, необходимых будущим специалистам. Однако современный натурный эксперимент, в силу сложности его организации и проведения, оказывается очень затратным и зачастую уже не отвечает условиям высокоавтоматизированного и информационно насыщенного производства. Для проведения экспериментов необходимо использовать компьютерные технологии, позволяющие наиболее наглядно рассматривать изучаемые процессы, автоматизировать сбор и обработку больших объемов данных.

Целью проводимых исследований является повышение качества обучения за счет внедрения в учебный процесс современных компьютерных лабораторий.

Задачей является разработка и освоение технологии проектирования виртуальных лабораторных стендов (ВЛС) для учебного процесса на всех уровнях обучения. Под словом «виртуальный» здесь понимается та особенность, что управление процессами осуществляется в виртуальном пространстве в режиме «on-line».

Несмотря на то что к настоящему времени создано множество электронных средств учебного назначения, начиная от простого текста, переведенного в электронный вид, и заканчивая программами с различным уровнем интерактивности, процесс внедрения таких технологий, как правило, связан с использованием не менее чем двух специалистов: автора содержательной части и программиста. Если же рассматривать ВЛС как законченный продукт, то работа программиста выходит за рамки учебного процесса и задачей разработки методики использования готового стенда является исключительной компетенцией преподавателя.

ВЛС представляет собой компьютерную программу, которая на экране компьютера при помощи средств компьютерной графики и анимации моделирует реальный лабораторный стенд. Использование виртуальных лабораторий для выполнения практических заданий является наиболее выгодным и доступным вариантом. ВЛС можно использовать для ряда специальных дисциплин, в рамках которых студенты осуществляют деятельность «по поводу» и «в процессе» лабораторных работ, в рамках очной, очно-заочной, заочной и дистанционной форм обучения.

Предлагаемая технология создания ВЛС основана на использовании графического пакета Adobe Flash [1], что обеспечивает реалистичный интерфейс и позволяет легко интегрировать в одном документе различные виды информации: графические, текстовые и звуковые данные; предлагает широкие возможности по созданию анимации. К достоинствам Flash-технологии также следует отнести малый итоговый объем файлов и независимость от разрешения монитора компьютера пользователя. Эти особенности наиболее важны в связи развитием дистанционного обучения и использованием сети Internet как основной среды распространения учебных материалов.

В качестве примера [2], рассмотрим элементы виртуального лабораторного стенда, предназначенного для обучения студентов вузов и техникумов.

Общий вид виртуального лабораторного стенда приведен на рис. 1.

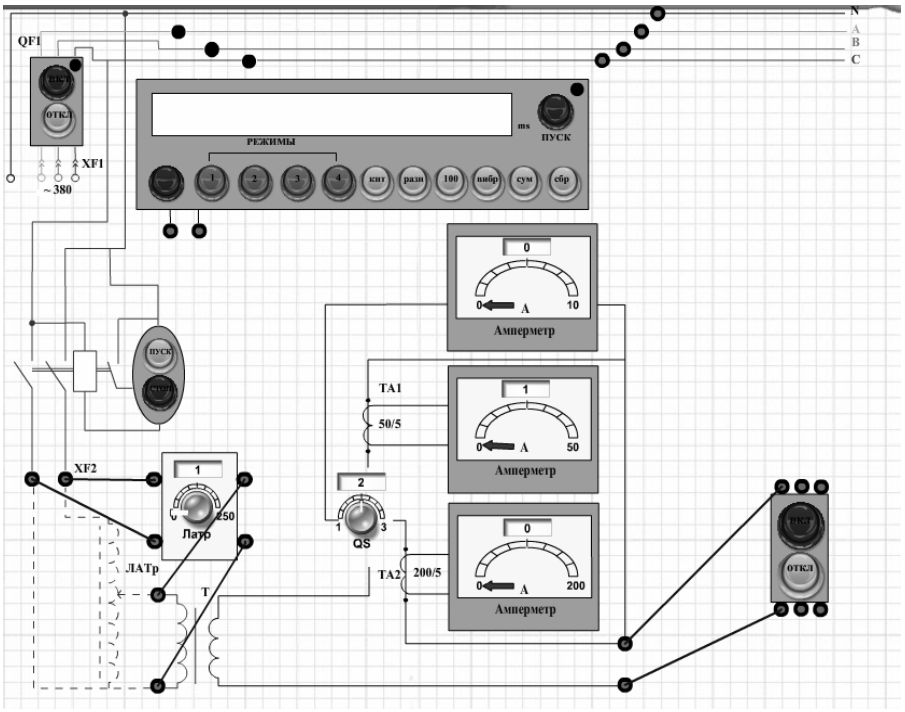


Рис. 1. Общий вид виртуального стенда

Целью лабораторной работы является практическое изучение конструкций автоматических выключателей, исследование защитных характеристик комбинированных расцепителей, выбор автоматических выключателей и экспериментальная проверка правильности выбора.

К основным составляющим ВЛС относят: обучающие ресурсы, лабораторные работы, контрольные вопросы, создание отчетов и тестирование.

ВЛС обладают рядом преимуществ:

1) сочетание приборов и их реального поведения во времени и пространстве обеспечивает эксперимент, визуально не отличающийся от реального аналога;

2) как и при работе с настоящей установкой, в виртуальной работе студенты сталкиваются с переходными процессами, необходимостью временной выдержки перед снятием показаний;

3) в моделях учтена случайная ошибка, вносящая погрешность в результат, благодаря чему результаты, полученные разными студентами отличны друг от друга, как и при проведении работы на реальных установках;

4) отпадает необходимость приобретения и установки дорогостоящего оборудования и программного обеспечения;

5) ВЛС наглядны и являются перспективной современной технологией обучения.

Практика применения системы виртуальных лабораторий оказывает значительное воздействие на процесс обучения студентов и приводит к повышению его качества.

По результатам выполненной работы [3], можно сделать следующие выводы:

1. Разработка и внедрение виртуальных лабораторий позволяет перейти на новую ступень преподавания, существенно расширяя диапазон учебных задач и обогащая их современным содержанием.

2. Использование виртуальных лабораторий вместо традиционных переводит акцент преподавания из области получения экспериментальных данных, их обработки и наглядного представления в интеллектуальную область научного анализа и детального осмысления полученных результатов.

3. Внедрение ВЛС позволяет достигнуть необходимого качества учебного процесса в условиях ограниченного финансирования.

Однако в любом случае ВЛС должны дополняться натурными экспериментами, но ни в коем случае не заменять их.

Литература

1. Киселев С.В. Flash – технологии: учеб. пособие / С.В. Киселев, С.В. Алексахин, А.В. Остроух. – 2-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2011. – 64 с.

2. Мунцева Н.М. Виртуальный стенд для изучения автоматических выключателей и их испытаний при наладке / Молодые исследователи – регионам: материалы всероссийской научной конференции. В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – Т. 1. – 140-142 с.

3. Электрический привод [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://aep.mpei.ac.ru/old/eldrive/

МОБИЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И АКТИВНОЙ ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ

С.В. Пыж

Научный руководитель ***О.Г. Ганичева****, канд. техн. наук, доцент*

Череповецкий государственный университет

г. Череповец

Безопасность – состояние защищённости жизненно-важных интересов личности, общества, организации, предприятия от потенциально и реально существующих угроз, или отсутствие таких угроз. Одной из категорий безопасности является имущественная безопасность. Любой собственник должен все время отдавать себе отчет в том, что имущество, находящееся у него в собственности, может быть утрачено – стать предметом посягательства со стороны третьих лиц или подвергнуться случайному уничтожению.

По данным Министерства внутренних дел Российской Федерации, за январь-август 2012 года было зарегистрировано 1554,8 тыс. преступлений. Структура преступности за указанный период представлена на рис. 1.

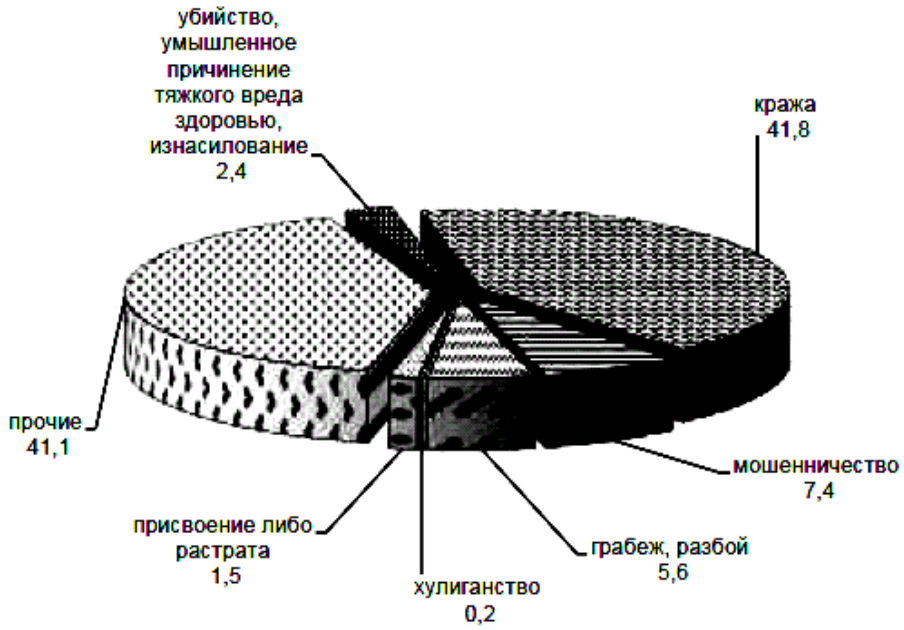


Рис. 1. Структура преступности за январь-август 2012 года

Почти половину всех зарегистрированных преступлений (47,4%) составляют хищения чужого имущества, совершенные путем: кражи – 649,9 тыс., грабежа – 74,3 тыс., разбоя – 12 тыс. Почти каждая четвёртая кража (28,3%), каждый двадцать третий грабеж (4,4%), и каждое четырнадцатое разбойное нападение (7,3%) были сопряжены с незаконным проникновением в жилище, помещение или иное хранилище. Половину из всех зарегистрированных краж не удается раскрыть в связи с невозможностью установления лица, привлекаемого к ответственности в качестве обвиняемого [1]. Оценивая состояние и динамику краж, необходимо иметь в виду, что из всех общеуголовных преступлений они обладают самым высоким уровнем латентности, то есть фактически их совершается намного больше по сравнению с официальными показателями в органах полиции [2]. В связи с высоким уровнем преступности против имущества возникает спрос на эффективные меры по его охране. Чем выше уровень безопасности, тем выше вероятность сохранения всех ценностей объекта от хищений или уничтожения.

В данном исследовании рассматривается новая концепция использования мобильных автоматизированных систем активной охраны помещений, позволяющих с наибольшей эффективностью противодействовать преступлениям против имущества, а также предлагается способ их разработки. Предварительно проведен обзор различных наиболее распространенных на сего-

дняшний день типов систем безопасности, отмечены их преимущества и недостатки.

В рамках исследования рассмотрены следующие типы систем: охранные датчики со средствами оповещения; системы видеонаблюдения; стационарные системы активной охраны; комплексные системы охраны.

Охранные датчики представляют собой различные устройства обнаружения проникновения на объект. Наиболее распространенными являются магнитоконтатктные датчики (герконы), срабатывающие при открытии окон и дверей, и инфракрасные датчики, реагирующие на движение теплокровных объектов. Также применяются микроволновые, акустические, лучевые и ультразвуковые датчики, комбинирование которых позволяет уменьшить вероятность ложных срабатываний. Сигнал с датчиков поступает на устройства оповещения, которые также делятся на несколько типов:

- приборы прямого оповещения на месте срабатывания датчика. Обычно это свето-звуковые сирены, предназначенные для привлечения внимания окружающих людей к объекту. Датчик с подключенной сиреной – наиболее дешевая и простая в плане реализации система охраны, однако она имеет множество недостатков: высокая вероятность неконтролируемых ложных срабатываний, возможность отключения системы злоумышленником сразу после его проникновения, отсутствие удаленного оповещения.

- средства удаленного оповещения владельца объекта. В качестве примера можно привести GSM-сигнализацию, отправляющую на номер мобильного телефона владельца сообщение о срабатывании датчика. Такие системы достаточно дорогие, но эффективность их невысокая: срабатывание датчика может быть ложным, следовательно, вызов правоохранительных органов при неизвестной ситуации также может быть ложным. Личная проверка может подвергать опасности владельца в том случае, если нарушитель еще находится на объекте.

- средства оповещения вневедомственной охраны. Сигналы с датчиков, установленных на территориально удаленных объектах, поступают на пульт централизованного наблюдения, где в зависимости от ситуации происходит выдача заявки на реагирование наряду полиции или специализированной охраны. Использование данной системы исключает ответственность владельца за ложные вызовы, однако требует дополнительной ежемесячной платы и установки обязательного специального оборудования, значительно превышающего по стоимости персональную GSM-сигнализацию. Время приезда охраны на объект – от 3 до 10 минут, этого времени может быть достаточно для совершения кражи и отхода злоумышленника. Подобные системы чаще всего применяются для обеспечения охраны офисов, земельных участков, магазинов и зданий различных муниципальных учреждений. Владельцы квартир нередко отказываются от услуг вневедомственной охраны, поскольку это предполагает

возможность круглосуточного доступа посторонних людей в личное пространство.

Комбинирование различных датчиков и устройств оповещения повышает эффективность системы охраны, однако требует больших затрат по их приобретению и установке.

Системы видеонаблюдения позволяют в режиме реального времени удаленно отслеживать происходящее как внутри охраняемого помещения, так и снаружи, а также записывать полученную видеоинформацию на различных носителях информации. С развитием цифровой видеотехники и разработкой новых алгоритмов искусственного интеллекта появилась возможность обрабатывать цифровой видеопоток в автоматизированном режиме, выделяя из него наиболее значимые события: детектирование и отслеживание движения, идентификация людей и номеров машин, анализ нештатных ситуаций. По сравнению с охранными сигнализациями системы видеонаблюдения имеют преимущество в возможности точной оценки фиксируемой ситуации: даже если злоумышленник успел скрыться с места преступления, полученная с видеокамер информация будет использована для его идентификации и дальнейшего задержания. На сегодняшний день, благодаря своей низкой стоимости, широкое распространение получают персональные автоматизированные системы охраны, позволяющие осуществлять просмотр веб- и ip-камер на мобильном телефоне или на компьютере. Отрицательным моментом использования стандартных систем видеонаблюдения является ограниченный обзор каждой отдельно взятой камеры: для полной информации о происходящем в охраняемом помещении требуется установка дополнительных камер, и, возможно, дополнительных видеорегистраторов (компьютеров), что приводит к значительным затратам.

Из отрицательных моментов следует отметить ограниченность данных, поскольку для предотвращения дальнейших действий нарушителей после сигнала тревоги необходимо полное вмешательство человеческого фактора, которое может быть неэффективным, зачастую является несвоевременным и представляющим риск для сотрудников охраны.

Системы охраны с датчиками и средствами оповещения, а также системы видеонаблюдения являются пассивными, а именно такими, в задачу которых входит обнаружение, идентификация нарушения режима объекта, а также оповещение о нем сотрудников дежурной охраны или владельца. Функции данных систем ограничены, поскольку для предотвращения дальнейших действий нарушителей после сигнала тревоги необходимо полное вмешательство человеческого фактора, которое может быть неэффективным, зачастую является несвоевременным и представляющим риск для сотрудников охраны. Активные системы безопасности, оборудованные стационарными или мобильными средствами противодействия, позволяют решить проблему автоматизированной физической охраны и не допустить дальнейшее проникновение зло-

умышленников на объект. Примерами стационарных систем активной охраны являются: автоматически запирающиеся замки, металлический периметр вокруг здания с автоматически регулируемым нелетальным напряжением, средства, помечающие злоумышленника краской и т.д. Недостатком таких систем является их дороговизна и низкая адаптируемость аппаратной части. Для систем охраны, снабженных определенными стационарными средствами противодействия, необходимы дополнительные работы по установке оборудования, которые могут включать в себя частичную перепланировку здания, требующую дополнительного времени и средств.

Комплексные системы охраны сочетают различные вышеперечисленные системы, как правило, их установкой занимаются специализированные предприятия.

Целью проекта является разработка действующего прототипа программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы охраны для обеспечения функций мобильного видеонаблюдения, оповещения о нарушениях режима охраняемых помещений и эффективного активного противодействия нарушителям. Реализация данной концепции позволит разрешить все существующие недостатки популярных на сегодняшний день систем охраны.

На текущий момент разработана действующая натурная модель автоматизированной системы охраны, состоящая из мобильной платформы с установленной на ней поворотной беспроводной Wi-Fi IP-камерой и удаленного управляющего компьютера. В качестве устройства противодействия нарушителю применяется яркий светодиодный фонарь и разрядник, моделирующий действие электрошокера.

Задачами проекта являются:

1. Технический переход разработанной натурной модели в действующий прототип: увеличение масштабов мобильной платформы, улучшение ее скоростных, маневренных свойств и ударопрочности, внедрение дополнительных устройств технического зрения и устройств противодействия.

2. Разработка и внедрение новых методов, алгоритмов и технических решений, реализующих работу системы.

3. Создание копии прототипа с целью исследования взаимодействия двух мобильных платформ.

4. Тестирование эффективности системы.

В работе будут использованы следующие методы выполнения исследований и разработок:

1) оптимизационное компьютерное моделирование процессов охраны, использование разработанной натурной модели для получения результатов, приближенных к реальным условиям;

2) разработка оптимальных алгоритмов для эффективной работы системы активной охраны с использованием методов: сегментации фона, обучения классификаторов Хаара и нейронных сетей;

3) испытания разработанного прототипа в помещении коридорного типа и прилегающей к нему территории;

4) статистическая обработка результатов испытаний прототипов.

Выполнение данного проекта предоставит единственный из известных аналогичных отечественных продуктов реализованный программно-аппаратный комплекс автоматизированной мобильной системы активной охраны, предназначенный для работы как внутри помещений, так и снаружи, в условиях города.

Реализация и внедрение готового продукта на основе разработанного прототипа улучшит эффективность работы служб безопасности путем более быстрого реагирования на противоправные действия, а также снизит риски для сотрудников этих служб, возникающие при задержании злоумышленников. Вследствие этого повысится общий уровень безопасности региона.

Автоматизация функций охраны позволит снизить расходы как частных, так и бюджетных организаций-потребителей.

Литература

1. Министерство внутренних дел Российской Федерации [Электронный ресурс] // Состояние преступности - январь-август 2012 года. – Режим доступа: http://www.mvd.ru/presscenter/statistics/reports/show_112821/

2. Алексеев А. И. Криминология. Курс лекций. – М.: "Щит-М", 2006. – С. 246.

РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ И ВИДЕОИНФОРМАЦИИ

П.В. Стружков

Научный руководитель ***А.Н. Швецов****, д-р техн. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Распознавание речи

В настоящее время активно проводятся исследования по созданию технологий распознавания речи, которые могли бы эффективно преобразовывать вводимую в компьютер слитную речь от неизвестного диктора в корректное текстовое сообщение с гарантированным уровнем достоверности в реальном масштабе времени. При этом важнейшим требованием является реализация этих процессов в условиях шумового воздействия на канал связи, а также амплитудно-частотных искажений в канале ее приема и передачи [1]. Необходимо также обеспечить достоверность распознавания речи при наличии у неизвестного диктора иностранного акцента, местного диалекта. Выполненный анализ существующих систем и технологий обоснованно показывает невоз-

можность использования для достоверного распознавания речи современных статистических методов и реализации функций помехозащищенности [2].

Особенно важной является разработка систем, предназначенных для выделения в потоке слитной речи определенного состава слов и словосочетаний по заданной тематике в условиях шума. Этот состав ключевых слов может являться перечнем команд административного или производственного управления. После перевода в текстовое сообщение ключевые элементы обрабатываются в компьютерах в автоматическом или автоматизированном режиме. Очевидно, что к таким системам предъявляются высокие требования по достоверности распознавания речи в шумах. Однако применяемые в существующих системах методологии и технологии распознавания речи не дают ощутимых результатов, достаточных для создания систем государственного назначения или коммерческого применения. Поэтому, на мой взгляд, для решения этой сложнейшей научно-технической проблемы нужны принципиально новые подходы и технологии [3].

Современная проблема может быть успешно решена только в едином комплексе распознавания, нормализации, понимания смысла и синтеза речи с использованием нового поколения самообучающихся **интеллектуальных систем** извлечения знаний из текстовой информации и речевых образов [4]. Отметим, что создание эффективных интеллектуальных систем с применением традиционной информационной технологии является в настоящее время практически неразрешимой задачей из-за «комбинаторного взрыва», который возникает вследствие переборного механизма логического вывода. В основу эффективных интеллектуальных систем, отвечающих необходимым требованиям, могут быть положены работы, в которых показано, что создание отмеченных интеллектуальных систем, обеспечивающих возможность логической обработки больших объемов знаний текста и речевых образов в реальном времени и их нормализация, возможны на базе применения стохастической информационной технологии. Использование данной технологии позволяет исключить «комбинаторный взрыв» при реализации индуктивного логического вывода на значительных пространствах символьной информации и обеспечить линейную зависимость времени логической обработки от числа элементов знаний, задействованных в логическом выводе.

При создании методов распознавания речи положено использование многоуровневых интеллектуальных систем. Они обеспечивают эффективную акустическую классификацию вводимой речевой информации, выделение в ней различных типов звуков и слогов, определение границ слов, а также вычленение предложений из непрерывной речевой информации при шумовом воздействии.

Отметим, что в процессе распознавания речи создается система классификационных семантических кодов, которые определяют звуковые образы независимо от диктора. Эти коды синтезируются также и для ключевых слов,

что позволяет выделять их в потоке слитной речи с заданной достоверностью. Данную систему можно успешно внедрить практически на любом промышленном предприятии [5].

Проводится синтез звуковых сигналов и речевых сообщений, которые непосредственно связаны с текстовыми вариантами распознавания акустического сигнала. Для этого производится генерация речевых образов, базирующихся на текстовых сообщениях, которые близки по смыслу полученным вариантам текстовых структур при анализе речи снизу вверх.

Далее осуществляется коррекция синтезированных речевых сигналов для их максимального совпадения с полученным входным речевым сообщением. Здесь применяется программно-визуальная анимационная модель речевого тракта, которая обладает способностью адаптироваться к анатомическим особенностям любого из дикторов. Данная модель является одним из основных элементов системы синтеза речи [6].

Следующий этап – воплощение теории внутренней модели, которая объединяет процессы речеобразования и восприятия речи. Внутренняя модель, формируемая в сознании человека, может использоваться при распознавании речи других людей, дополняя пространство акустических признаков пространством артикуляторных параметров. Для выполнения встречного процесса анализа с использованием сближающихся по смыслу текстов и выделенных параметров речевых сигналов, которые получены при анализе и синтезе речи, самообучающаяся интеллектуальная система осуществляет глубокий семантический анализ результата обработки и синтеза речевых сообщений. В результате удается резко повысить эффективность встречного процесса распознавания и понимания речи и обеспечить высокую достоверность распознавания текстов, соответствующих непрерывному речевому сигналу.

Комплексное распознавание речи и видеоинформации

В данном разделе рассмотрена возможность использования нейросети **Numenta** для распознавания образов в соответствии с ее предназначением, для реализации некоторых функций распознавания звуковых образов в слитной речи [7]. Для этого была использована схема построения комплекса распознавания речи, представленная на рис. 1.

Эта схема позволяет реализовывать два контура распознавания речи на уровне ее фонетического анализа. Первый контур предназначен для интеллектуального сканирования звуковых образов слитной речи от неизвестного диктора, представленного в виде осциллограммы и спектрограммы сигнала. Интеллектуальное сканирование основано на использовании семантико-параметрического метода распознавания речи и позволяет с помощью баз знаний, а также, используя логический вывод, проводить многоуровневую классификацию звуков.

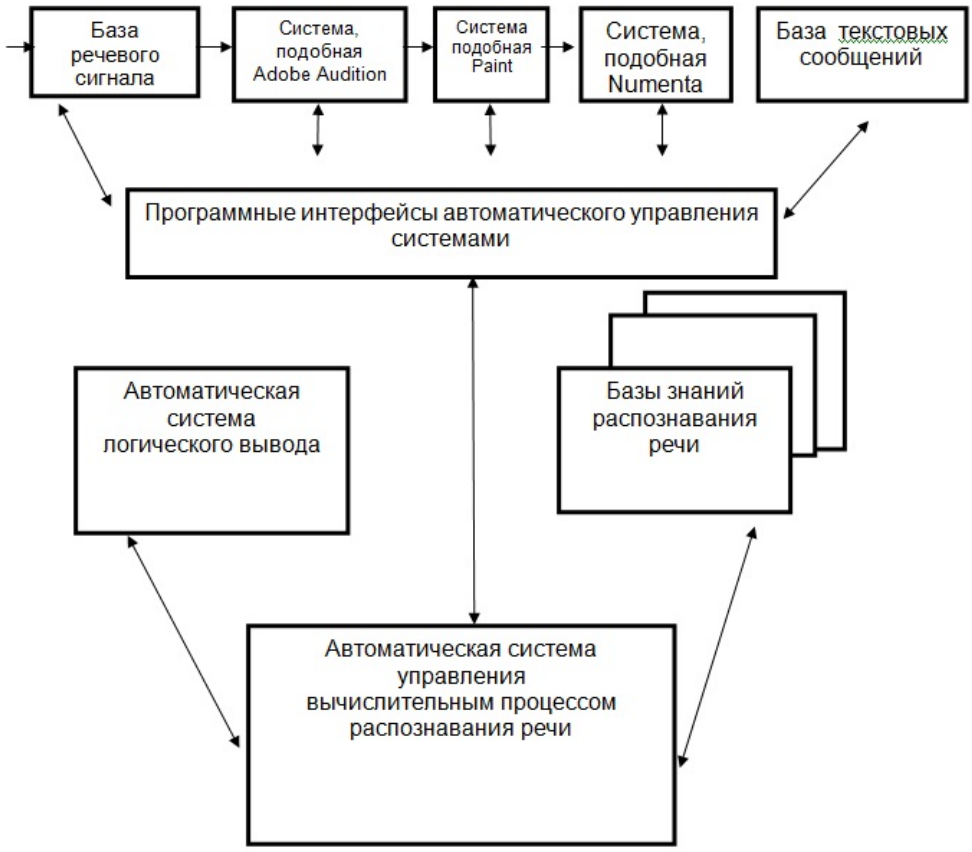


Рис. 1. Структура автоматического программного макета распознавания речи

В результате работы этого контура распознавания речи обеспечивается заданная достоверность выделения наименований звуков, слогов и отдельных слов в потоке слитной речи. С целью повышения достоверности распознавания речи до уровня практически 100% для любого произвольного диктора вводится второй контур, основанный на реализации образно-семантического распознавания речи с использованием системы распознавания образов [8].

На рис.1 представлена структурная схема, которая включает несколько систем. Первая из этих систем, подобная существующей Adobe Audition, предназначена для начальной обработки речевого сигнала в спектральной форме или в виде осциллограммы. К ним относятся прежде всего линейные размеры абрисов звуковых сигналов и их последовательностей, частотные и временные характеристики формант звуков, артикуляционных расстояний между звуками, форма огибающей осциллограмм и спектральной составляющей сигнала и другие параметры, которые необходимы для логической обработки речевых сигналов.

Вторая система, подобная существующей Paint, предназначена для формирования и обработки рисунков, содержащих абрисы звуковых образов в спектрограмме или осциллограмме.

Третья система, используемая в макете, – это система, подобная нейросети Numenta. Эта нейросеть построена на основе наиболее перспективной технологии распознавания образов, использующей иерархическую память (HTM). Могут быть эффективно использованы возможности системы Numenta для комплексного распознавания слитной речи от неизвестного диктора одновременно с распознаванием образа говорящего человека. Это продемонстрировано на рис. 2.

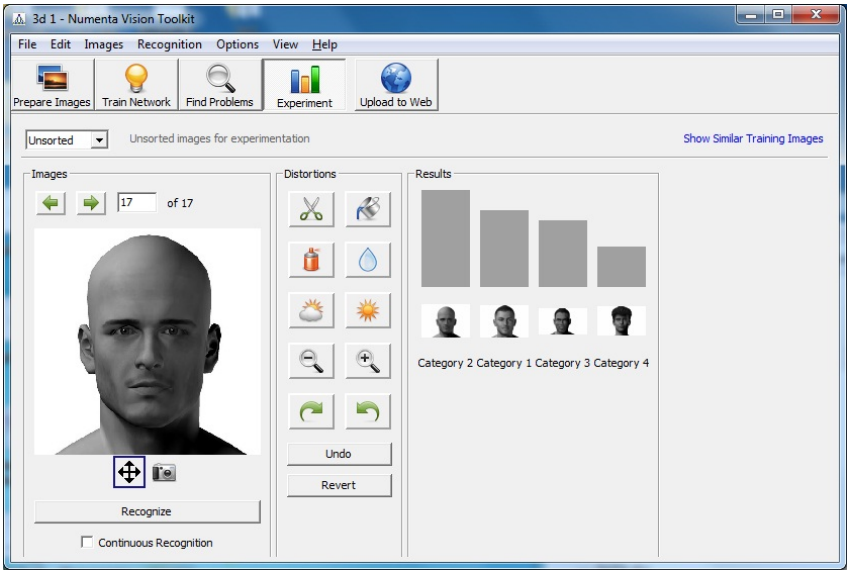


Рис. 2. Распознавание изображений лиц с помощью системы Numenta

Введенное изображение лица контролируемого пользователя уверенно распознается системой Numenta, о чем свидетельствует присвоение его распознанному образу Category 1 с наивысшим уровнем достоверности.

Далее показано использование системы Numenta для моделирования контроля произносимой речи данным диктором на основе образно-семантического метода. Система Numenta позволяет уверенно распознавать все восемь уровней кодирования звуков слитной речи, реализуя при этом предложенный в работе образно-семантический метод.

Ниже представлен пример функционирования системы Numenta на восьмом уровне распознавания речи, а именно, при определении значений отдельных фонем и наименований звуков. С этой целью выбран класс гласных твердых звуков (А, О, И, У, Э, Ы), каждый из которых приведен в оригинальном физиономическом представлении, включающем наиболее характерные для данного звука элементы спектрограммы и осциллограммы. В результате формируется устойчивый, уникальный образ каждого звука.

Таким образом, показано распознавание гласных звуков от неизвестного диктора (рис. 3) и результаты распознавания их в системе Numenta (рис. 4).

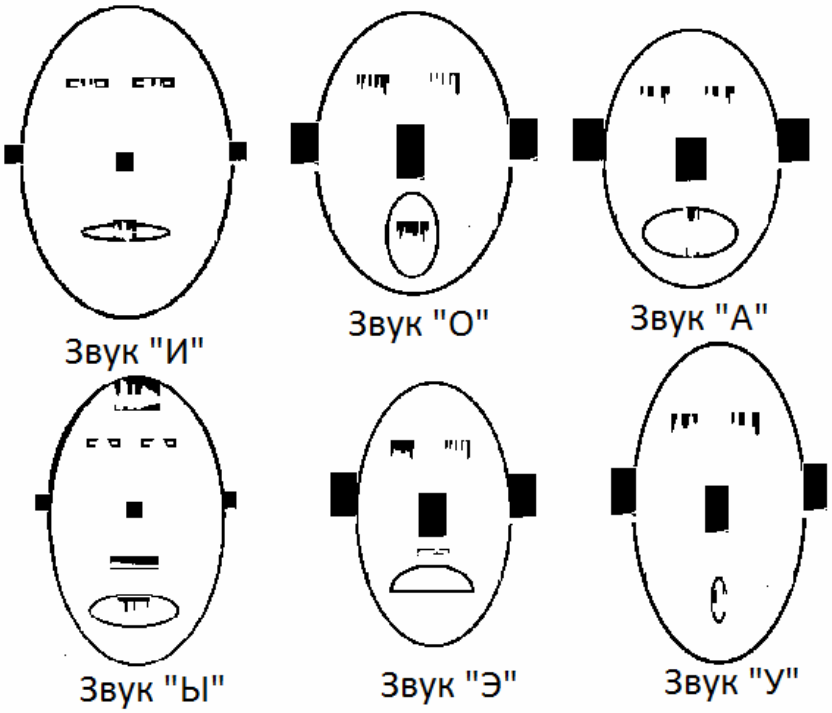


Рис. 3. Физиономические образы звуков

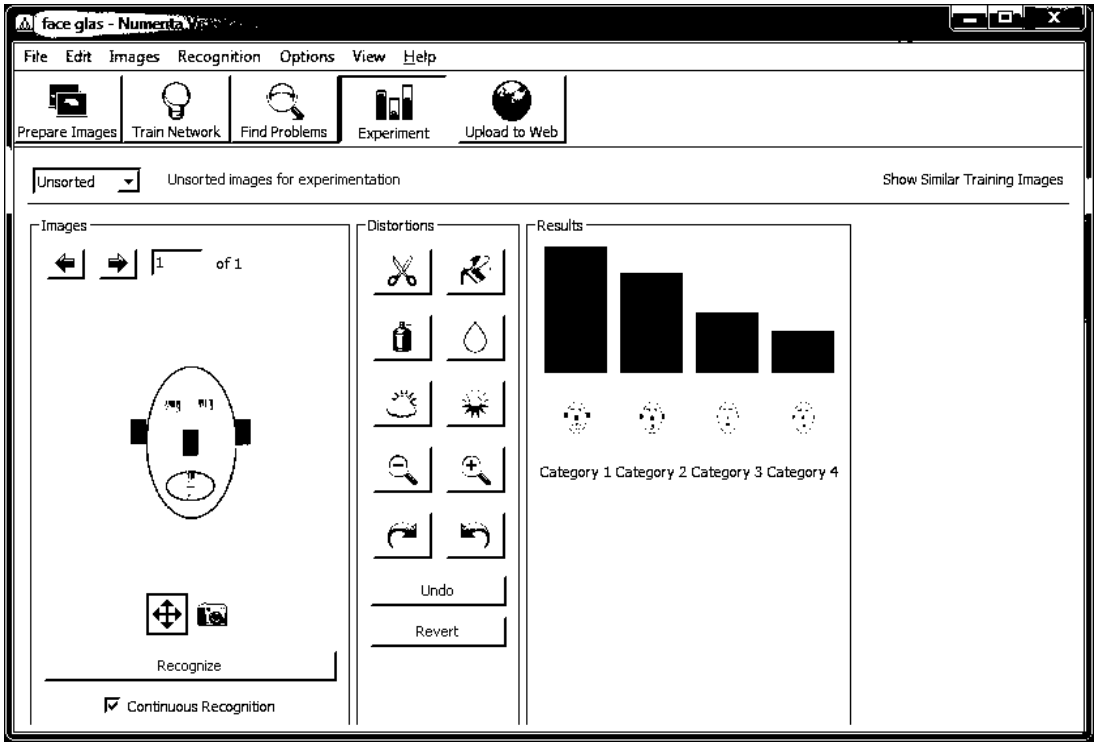


Рис. 4. Распознавание звука «А»

На основании сказанного можно сделать вывод, что система (рис.1) позволит в ближайшем будущем комплексно решить проблему распознавания слитной речи от неизвестного диктора и изображений этих дикторов в рамках единой системы контроля с помощью веб-камер [9].

В перспективе хочется обеспечить автоматический контроль с распознаванием видеоинформации, слитной речи от неизвестного диктора с пониманием смысла произносимых фраз и действий контролируемых субъектов и объектов.

Литература

1. Насыпный В.В. Развитие теории построения открытых систем на основе информационной технологии искусственного интеллекта. – М.: Воениздат, 1994. – 248 с.

2. Насыпный В.В., Насыпная Г.А. Способ синтеза самообучающейся системы извлечения знаний из текстовых документов для поисковых систем.

3. Насыпный В.В., Насыпная Г.А. Система распознавания, понимания смысла, анимационного моделирования и синтеза речи на основе стохастической информационной технологии. – М.: Прометей, 2008. – 76 с.

4. Искусственный интеллект. Справочник. – Кн. 2. Модели и методы. Под ред. Поспелова Д.А. – М.: Радио и связь, 1990. - 303 с.

5. Насыпный В.В. Способ комплексной защиты распределенной обработки информации в компьютерных системах и система для осуществления способа. Патент РФ №2259639, номер международной заявки PCT/RU /00272, дата подачи 28.10.2003г.

6. Насыпный В.В., Насыпная Г.А. Метод семантической связи текста с трехмерной графикой. – М.: Прометей, 2007. – 27с.

7. Галунов В.И., Чистович Л.А. О связи моторной теории с общей проблемой распознавания речи // Акустический ж. – Т. 11. – С. 417-426.

8. Сорокин В.И. Моторная теория восприятия речи и теория внутренней модели // В сб.: Информационные процессы, ИПИ РАН. – Том 7. – 2007. – №1. – С. 1-12.

9. Насыпный В.В. Распознавание и понимание смысла речи на основе стохастики в шумах. – М.: Прометей, 2010. – 139 с.

ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТНО-ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СТОКВЕЛЛ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

С.Ф. Теслевич

Научный руководитель ***А.Б. Махетов****, канд. техн. наук, доцент*

Филиал Военной академии Министерства обороны

г. Череповец

Анализ состояния и перспектив развития радиоэлектронных средств (РЭС) показал, что в вооруженных силах иностранных государств получили широкое распространение системы связи, использующие сигналы со сложной частотно-временной структурой. Применение нового поколения РЭС обеспе-

чивает повышение помехоустойчивости, энергетическую и структурную скрытность систем связи, что в свою очередь обуславливает их высокую защищенность при радиоприеме средствами специальных комплексов.

В условиях массового закрытия передаваемой информации одним из способов добывания сведений о противостоящей группировке войск является определение местоположения (ОМП) источников радиоизлучений (ИРИ).

В большинстве существующих комплексов реализован угломерный способ определения координат ИРИ, который предполагает пространственное распределение радиопеленгаторов (РП) на местности. В работе проведен анализ возможностей существующих РП по обеспечению точности измерения параметров положения при различных отношениях сигнал/шум (ОСШ). Показано, что существующие комплексы ОМП ИРИ не обеспечивают требуемую точность в условиях ОСШ ниже 10÷15 дБ. Обобщенная структурная схема типового фазового радиопеленгатора представлена на рисунке.

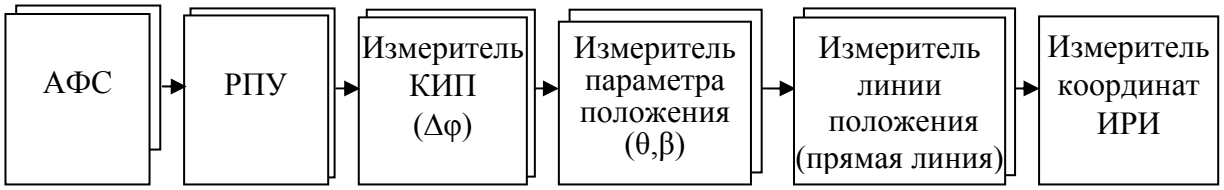


Рис. Структурная схема радиопеленгатора

Сигнал от ИРИ принимается антенно-фидерной системой и поступает на вход радиоприемного устройства (РПУ), обеспечивающего фильтрацию и перенос спектра принимаемого сигнала на промежуточную частоту для дальнейшей обработки. Измеритель координатно-информативного параметра (КИП) определяет параметр радиосигнала. Как правило, это разность фаз сигнала (∆φ) на выходе пеленгационной пары антенно-фидерной системы. Рассчитанные значения передаются в измеритель параметров положения, в качестве которых используются углы прихода электромагнитной волны в вертикальной и горизонтальной плоскостях (β, θ). По вычисленному параметру положения производится расчет линии положения в измерителе линии положения. Результатом работы комплекса являются координаты ИРИ.

Характерной особенностью фазового радиопеленгатора является наличие пространственно-разнесенных элементов антенно-фидерной системы, что позволяет измерить КИП сигнала. При этом разность фаз сигнала на выходе антенн определяется выражением

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \cos\theta \cos\beta - 2\pi n, \qquad (1)$$

где λ – длина волны;

$n = 0 \div N$ – число целых длин волн, умещающихся на базе интерферометра d.

Точность измерения параметра положения связана с точностью измерения разности фаз соотношением

$$\sigma_\theta = \frac{c}{2\pi \cdot f_н \cdot d \cdot \cos\theta \cos\beta} \cdot \sigma_{\Delta\varphi}, \qquad (2)$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны;

$\sigma_{\Delta\varphi}$ – погрешность измерения разности фаз;

$f_н$ – частота несущего колебания.

Из выражения (2) следует, что для повышения точности измерения угла прихода электромагнитной волны в горизонтальной плоскости необходимо увеличивать точность измерения КИП или применить широкобазисную антенную систему, что не всегда желательно, так как снижается мобильность радиопеленгатора.

Анализ возможностей существующих радиопеленгаторов показал, что используемые в них методы оценивания позволяют измерять с требуемой точностью КИП радиосигналов при отношении сигнал/шум не менее 10 дБ. Однако в сложной сигнально-помеховой обстановке ОСШ в точке приема может быть и менее 10 дБ, что отрицательно скажется на точности определения координат ИРИ. Этим вызвана необходимость поиска новых, зачастую нетрадиционных, подходов к решению задачи оценивания КИП. Одно из возможных направлений повышения точности измерения КИП сигналов ИРИ связано с использованием Стоквелл-преобразования, основанного на использовании подвижного и масштабируемого локализованного гауссова окна *g (t)*

$$g(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2}\right)}, \qquad (3)$$

где σ – стандартная девиация гауссиана.

Основная цель растяжения (или масштабирования) параметра состоит в том, чтобы увеличить "ширину" оконной функции $g(t,\sigma)$ для более низких частот, и управляется путем выбора определенной функциональной зависимости σ от частоты *f*. Функция Гаусса выбрана в качестве окна по той причине, что она является оптимальным окном согласно известному неравенству неопределенности (принципа неопределенности Гейзенберга)

$$\Delta f \Delta t \geq \frac{1}{4\pi}. \qquad (4)$$

Стоквелл-преобразование определяется выражением

$$S(f,\tau,\sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) g(\tau - t, \sigma) e^{-i2\pi f t} dt. \qquad (5)$$

Преимущество Стоквелл-преобразования заключается в том, что модулирующие синусоиды зафиксированы относительно временной оси, в то вре-

мя как локальное масштабируемое гауссово окно растягивается и сдвигается. В результате фазовый спектр обладает таким свойством, что он всегда соотнесен с началом временной оси (фиксированной точкой отсчета).

Стоквелл-преобразование улучшает оконное преобразование Фурье за счет того, что разрешающая способность $g(t,\sigma)$ зависит от ширины окна, которое при Стоквелл-преобразовании изменяется в зависимости от частоты f. Не смещая базисной функции, Стоквелл-преобразование независимо локализует действительные и мнимые компоненты спектра. В этом основное достоинство локализованного фазового и амплитудного спектров. Амплитудный и фазовый спектры Стоквелл-преобразования соответственно можно представить как

$$A(f,\tau) = \left|S(f,\tau)\right| \tag{6}$$

и

$$\Phi(f,\tau) = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}[S(f,\tau)]}{\mathrm{Re}[S(f,\tau)]}\right). \tag{7}$$

На основании проведенного анализа возможностей Стоквелл-преобразования в работе предложен алгоритм измерения разности фаз радиосигнала, принятого в пространственно-разнесенных антенных элементах пеленгационной пары.

Для исследования эффективности предложенного алгоритма было проведено имитационное моделирование измерителя разности фаз. Результаты моделирования показали, что предлагаемый математический аппарат дает устойчивые результаты с требуемой точностью при ОСШ ниже 10 дБ.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет повысить эффективность функционирования комплексов ОМП ИРИ в условиях низкого ОСШ за счет повышения точности измерения координатно-информативного параметра радиосигналов.

Литература

1. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа. – М.: Мир, 1983.

2. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1986.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

А.Е. Федоров
Научный руководитель ***Д.Н. Вайсберг****, канд. техн. наук*
Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет (филиал)
г. Вологда

Установка надёжной системы безопасности на объекте приобретает в наше время всё большую актуальность. Системы контроля и управления доступом (СКУД) предназначены для контроля и управления перемещениями людей, ограничения и разграничения доступа на объект, контроля проезда автомобильного и ж/д транспорта через транспортные КПП, учёта рабочего времени персонала, координации действий охранников и многого другого. При этом подобные меры контроля и ограничения доступа не должны доставлять серьёзных неудобств или вызывать раздражение у персонала и посетителей. Системы контроля и управления доступом помогают обеспечивать не только сохранность материальных ценностей, но и безопасность персонала.

Целью создания программно-аппаратного комплекса является автоматизация процесса приема, накопления, обработки (анализа) и хранения информации от автономных радиолокационных устройств определения нарушения периметра «Призма» и их информационная интеграция с информационными системами контроля и управления доступом (СКУД).

На основе изучения предметной области разработана функциональная структура системы, которая представлена на рисунке.

Блок преобразования биолокационных данных, как следует из названия, необходим для преобразования биолокационных данных в электрический сигнал. Это преобразование происходит непосредственно с помощью извещателей типа «Призма». При изменении электромагнитного поля передается электрический сигнал на COM – порт.

Блок обработки сигнала COM – портом включает в себя преобразование электрического сигнала, получаемого от «Призмы», в логическую 1 или 0.

Блок чтения, обработки данных с COM – порта предполагает чтение сигнала с COM – порта программной частью комплекса с целью дальнейшей обработки полученного сигнала.

Блок создания базы данных необходим для непосредственной записи полученных сигналов с COM – порта в базу данных. В данной системе в базу данных записываются только сигналы тревоги.

Рис. Функциональная структура СКУД

Блок создания отчетов и статистики позволяет пользователю просматривать статистику по нарушениям за сегодня, за последнюю неделю, за последний месяц и т. д. Также блок позволяет создавать отчеты на основе просмотренной статистики.

Блок визуализации сигнала тревоги и генерации звукового сигнала необходим для привлечения внимания пользователя с помощью визуального и звукового оповещения.

Нарушитель участвует только на стадии преобразования биолокационных данных, когда непосредственно с его помощью изменяется электромагнитное поле.

Администратор участвует на всех этапах работы системы: выполняет программную и физическую настройку извещателей, подключает извещатели к COM – порту, выполняет проверку правильности работы приложения.

Пользователь (диспетчер) принимает участие только на этапе просмотра статистики и создания отчетов.

Данный программно-аппаратный комплекс разрабатывается на основе проводно-волновых периметровых извещателей Призма 1/300.

Извещатели этого типа предназначены для блокирования рубежей протяженностью от 25 до 300 м на открытой местности или в помещениях.

Объемная зона обнаружения радиоволновых извещателей имеет форму эллипсоида вращения, а в сечении – форму полного или, усеченного поверх-

ностью земли или заграждения, круга, ее размеры зависят от расстояния между блоками и от выбранных порогов.

Принцип действия: в основе проводно-волнового извещателя лежит линия передачи, размещенная над проводящей поверхностью (землей, заграждением и т.п.). Линия передачи, доставляет электромагнитную энергию от передающего блока, вырабатывающего ВЧ сигналы, к приемному. Электромагнитная энергия распространяется вдоль линии передачи, формируя вокруг нее электромагнитное поле. В идеале линия передачи ничего не излучает, поэтому данные извещатели можно считать псевдопассивными устройствами. Обнаружение объектов осуществляется по изменению волнового сопротивления при попадании данных объектов в поле линии передачи (сигнал подается на световой или звуковой элемент).

В дальнейшем планируется решить следующие задачи:

Сигнал тревоги не будет подаваться на световой или звуковой элемент, а будет программно обрабатываться. Сигнал будет сниматься через COM-порт, для этого необходимо соединить соответствующие провода приемного блока с входом COM-порта.

При появлении сигнала тревоги, программа будет фиксировать время изменения электромагнитного поля, а также подавать сигнал диспетчеру. (например, звуковой) Факт поступления сигнала тревоги и время поступления сигнала будут зафиксированы в базе данных. Можно будет просмотреть статистику – в какое время больше нарушений, на каком участке и т. д.

Также планируется создать экспертную офф-лайн систему: программа на основе статистических данных будет определять, какой участок периметра наиболее часто нарушается и предлагать решения (разбить участок на более мелкие, т. е. на какой участок поставить больше извещателей и видеокамер).

Возможно, у программы будет еще одна функция – определение типа объекта (размер, форма) по виду искаженного сигнала.

Следующий шаг расширения функциональных возможностей комплекса – создание матрицы из извещателей.

С помощью такой матрицы можно будет определить траекторию движения объекта и динамику его движения (скорость, ускорение, остановку). Судить о том, насколько объект близок в извещателю, можно будет по амплитуде искаженного сигнала. Однако такая матрица подойдет для определения динамики перемещения крупногабаритных объектов (автомобили, поезда и т.д.).

Система разработана в интегрированной среде Delphi, в качестве СУБД использовалась Microsoft SQL Server.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО КЛАСТЕРА СЕРВЕРОВ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ РАЗМЕЩЕНИЯ

К.Г. Фомичев
Научный руководитель ***К.Г. Комлев***
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

В современном информационном мире все большее распространение получает виртуализация аппаратных ресурсов. На ее основе строятся как крупные датацентры, состоящие из тысяч серверов, так и небольшие «частные облака», позволяющие оптимизировать ИТ-инфраструктуру отдельных предприятий. Плюсы виртуализации очевидны – абстракция операционной системы и выполняемых на ней задач от аппаратного обеспечения, что позволяет осуществлять модернизацию и техническое обслуживание серверов без прерывания бизнес-процессов, более высокая плотность размещения задач на одном сервере, возможность гибкого регулирования ресурсов, выделяемых каждой задаче, повышенная безопасность, следующая из разделения выполняемых задач, возможность создания виртуальных сетей любой сложности. Однако, у этого подхода есть и серьезный недостаток: высокая зависимость от надежности аппаратного обеспечения. Решением этой проблемы является отказоустойчивый кластер.

В качестве примера разберем задачу, поставленную перед организацией, обеспечивающей информатизацию области. Перед данной организацией стоит множество веб-сервисов: например, хостинг веб-сайтов, почтовые сервера, сервер IP-телефонии, сервера видеоконференций, сервера системы дистанционного взаимодействия, узел фильтрации интернет-траффика, система мониторинга состояния сетевых объектов. Каждая из указанных задач должна выполняться без перерывов в работе и в то же время требовательна к аппаратным ресурсам.

Приобретение для каждой задачи отдельного сервера не оправдано экономически, а надежность такого решения уменьшается с каждым установленным сервером. В качестве решения проблемы, был спроектирован кластер виртуализации, и большая часть сервисов перенесена на виртуальные машины. К архитектурным особенностям кластера можно отнести разделение его на на две части – кластер выполнения и кластер хранения.

Проектирование системы можно разделить на следующие этапы:

1. Выбор аппаратного обеспечения для кластера;
2. Выбор программного обеспечения;
3. Разработка ПО для обеспечения отказоустойчивости.

В качестве аппаратной основы для кластера выполнения был выбран Blade-сервер от компании Supermicro с технологией TwinBlade. Он состоит из корзины с 4 блоками питания с функцией горячей заменой и резервированием, двух коммутаторов, поддерживающих Gigabit Ethernet, и содержащих интерфейсы CX4 для поддержки Ten Gigabit Ethernet. Дополнительно, корзина оснащена коммутатором Infiniband QDR 4x, соединяющим все лезвия на скорости до 40 Гбит/с, а также имеющим 16 внешних портов. В корзину были установлены десять лезвий, каждое из которых состоит из двух двухпроцессорных материнских плат, что в результате составило 20 узлов кластера выполнения. Суммарно, кластер обладает 240 вычислительными ядрами (480 логических ядер получены благодаря технологии Hyper Threading), а так же 960 Гб оперативной памяти. Объем занимаемого пространства в телекоммуникационной стойке 7U, то есть в три раза меньще, чем 20 серверов высотой 1U подобной мощности.

Собственная дисковая подсистема лезвий представлена двумя дисками 2.5” на каждую материнскую плату. Очевидно, что предоставляемого ими объема для хранения данных недостаточно. Также следует учитывать тот факт, что для этой реализации потребовалось использовать кластерные файловые системы, поскольку каждое лезвие должно получать доступ к данным, хранящимся на любом другом лезвии. Поэтому использование выделенного дискового хранилища, доступного всем лезвиям, является более предпочтительным.

Две дисковые корзины от компании Supermicro, в каждую из которых установлено по 24 диска объемом 1 Тб, подключены к серверу хранения. Для обеспечения отказоустойчивости реализован резервный сервер. Совместно это оборудование образует кластер хранения.

Выбор программного обеспечения основан на методе анализа доступных средств виртуализации. На данный момент рынок решений для виртуализации довольно обширен – на нем представлены как проприетарные, так и открытые системы. Однако специфика организации не позволяла закупать дорогое ПО, тем самым продукты компаний VMWare, RedHat, Citrix и Microsoft не рассматривались. Также система должна быть открытой и свободно распространяемой. Под эти параметры подпадают две системы: Xen и KVM. Развитие Xen в настоящее время идет не столь активными темпами, как развитие KVM. К тому же, разработку Xen ведет компания Citrix, что может повлечь за собой коммерциализацию и закрытость данного продукта. Поэтому в качестве технологии виртуализации был выбран KVM в составе открытого продукта Proxmox VE.

Proxmox VE основан на Debian GNU/Linux – одном из старейших дистрибутивов Linux. Управление Proxmox осуществляется через web-интерфейс. Помимо всего прочего, Proxmox разрешает расширять свои функциональные возможности, изменять исходный код и устанавливать дополнительное ПО. В

частности, это было использовано для установки пакета ПО для работы с Infiniband – OpenFabrics Enterprise Distribution (OFED).

При проектировании одной из серьезных проблем является соединение кластера выполнения с кластером хранения. Технология соединения не должна ограничивать производительность дисковой подсистемы кластера хранения. Поэтому в качестве такой технологии выбран Infiniband.

Для Infiniband существует несколько технологий, позволяющих использовать дисковые хранилища – iSER, SRP, для передачи файлов может использоваться NFS over RDMA. Поскольку документации в открытом доступе находится мало, выбор технологии был основан экспериментальном методе.

NFS over RDMA не рассматривался, так как образуемая им прослойка в виде файловой системы на дисковом хранилище только увеличила бы нагрузку на сервер, не давая преимуществ в скорости. Первым был протестирован iSER – iSCSI Extensions for RDMA. На сервер кластера хранения была установлена серверная часть ПО – target, а на узлы кластера исполнения – клиент (initiator). Во время тестирования выяснилось, что реализация target для Linux является однопоточной – производительность записи на хранилище не превышала нескольких десятков мегабайт в секунду, при 100-процентной загрузке одного ядра процессора. Поэтому от использования iSER отказались в пользу SRP – SCSI RDMA Protocol.

SRP позволяет напрямую обращаться к дискам сервера с помощью команд SCSI. Существует две реализации SRP target для Linux – LIO и SCST. Поддержка LIO появилась в ядре Linux начиная с версии 3.3 и на тот момент существовала только в виде нестабильной альфа-версии; Proxmox VE использует ядро версии 2.6.32, поэтому единственным вариантом является SCST.

SCST показал очень высокую производительность, работая на пределе возможностей жестких дисков (максимальная практическая пропускная способность Infiniband QDR 4x – порядка 3300 Мб/с – недостижима даже для очень быстрых накопителей). SRP экспортирует блочное устройство целиком – клиент, подключивший себе такое устройство, работает с ним, как с локально подключенным жестким диском. Поэтому необходимо было так разделить имеющееся дисковое пространство, чтобы равномерно распределить нагрузку по дискам. Для этого созданы десять RAID1 массивов (по одному на два узла кластера), на которых размещены данные операционных систем гостевых машин и два RAID6 массива для хранения пользовательских данных. Каждый массив используется как Physical Volume (PV) для менеджера логических томов LVM. Все PV доступны на любом лезвии. При создании диска для виртуальной машины Proxmox автоматически создает логический том (LV) на соответствующем системном PV. При необходимости к виртуальной машине можно подключить дополнительный жесткий диск с PV, расположенном на пользовательском разделе.

Кластер из узлов, работающих под управлением Proxmox VE, позволяет осуществлять централизованное управление и мониторинг всего кластера с одного узла. Также использующаяся в Proxmox виртуальная файловая система синхронизирует файлы настроек. Такой подход позволяет организовать живую миграцию с одного физического узла на другой без выключения виртуальной машины. Поскольку данные любой виртуальной машины доступны на любом узле кластера, миграция сводится только к передаче и синхронизации образа оперативной памяти машины, имеющего сравнительно небольшие размеры (по сравнению с размером виртуального жесткого диска).

Стоит отметить, что Proxmox имеет встроенные средства обеспечения отказоустойчивости, позволяющие автоматически запускать виртуальные машины, работавшие на отказавшем узле кластера, на других узлах. Однако разработчики Proxmox предлагают использовать для этих целей устройства, позволяющие управлять электропитанием отказавших узлов для обеспечения целостности и непротиворечивости данных (перед миграцией машин Proxmox должен убедиться, что отказавший узел действительно выключен). Например, это Switched Rack PDU от APC, IPMI blade-серверов Dell и HP. Имеющиеся в наличие аппаратные ресурсы не поддерживали необходимую функциональность, поэтому ПО для обеспечения отказоустойчивости было разработано самостоятельно.

Процесс миграции выключенной машины состоит фактически в копировании файла виртуальной машины на нужный узел и выполнения команды запуска этой машины. Каталоги с файлами виртуальных машин каждого узла доступны в виртуальной файловой системе, поэтому, проблема состояла только в определении отказа узла кластера. Для этого достаточно определить, доступен ли узел в локальной сети (например, командой ping). Однако, если узел, проверяющий доступность другого узла, сам окажется отключенным от локальной сети (предположим, из-за отказа сетевой карты), то он определит, что в кластере не осталось ни одного рабочего узла, кроме него. Поэтому в ПО, обеспечивающее отказоустойчивость, было введено понятие «кворума» – узел считается отказавшим только в том случае, если несколько других узлов считают его отказавшим. В таком случае ПО начинает процесс переноса виртуальных машин, работавших на нем, на другие узлы кластера.

Вычисление наименее загруженного узла для размещения виртуальной машины происходит по алгоритму, учитывающему количество свободной оперативной памяти и количество процессорных ядер, не выделенных уже работающим на данном узле виртуальным машинам. После размещения каждой виртуальной машины наименее загруженный узел ищется заново. В случае восстановления работоспособности отказавшего узла, никакие машины на нем запущены не будут.

Также предприняты меры по обеспечению отказоустойчивости кластера хранения. Поскольку дисковые корзины физически подключены к одному из

серверов, то в случае его отказа техническому персоналу необходимо переключить корзины в резервный сервер. ПО, работающее на нем, определит, что теперь именно этот сервер является хранилищем и отправит всем узлам кластера команду о перезагрузке. После загрузки узлы подключат диски виртуальных машин уже с нового сервера, и кластер войдет в штатный режим работы. В результате время простоя даже при столь серьезной аварии зависит фактически от времени реакции технического персонала.

За все время работы кластера серьезных проблем выявлено не было. Все нештатные ситуации были отработаны в процессе проектирования и предусмотрены в управляющем ПО. Отдельно стоит отметить, что данная разработка имеет большие возможности по модернизации. Основной из них является перевод узлов кластера выполнения на загрузку по сети (в данный момент они загружаются с жестких дисков, установленных в лезвиях). Это позволит ускорить работу кластера в целом, упростить процедуру обновления узлов, а отказ от использования жестких дисков в лезвиях снижает вероятность сбоя. Также добавление новых узлов в кластер будет сводиться фактически к подключению нового Blade-сервера в порт Infiniband-коммутатора и включению лезвий. Для повышения отказоустойчивости кластера хранения планируется замена дисковых корзин на модели, поддерживающие одновременное подключение к двум серверам. Это исключит необходимость присутствия технического персонала при восстановлении после сбоя и, фактически, сделает кластер автономным.

Литература

1. OpenFabrics Alliance [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.openfabrics.org/

2. Documentation – Proxmox VE [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://pve.proxmox.com/wiki/Documentation

3. Linux Infiniband Project [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://infiniband.sourceforge.net/

4. Linux-HA [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://linux-ha.org/wiki/Main_Page

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Д.С. Шишигин
Научный руководитель ***С.Л. Шишигин****, д-р техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Электрические подстанции в настоящее время оснащаются микропроцессорными устройствами (МУ) релейной защиты и автоматики, которые обладают многими преимуществами перед электромеханическими аналогами, при одном крупном недостатке – неустойчивой работе при воздействии электромагнитных помех. Эти помехи, создаваемые током молнии, короткого замыкания или переходного процесса при коммутации высоковольтного оборудования, могут привести к ложному срабатыванию или отказу МУ, и поэтому должны быть ослаблены до допустимого уровня. Существует два основных канала распространения помех: гальванический путь по контрольным кабелям (гальванические помехи) и в воздухе электромагнитным путем (электрические и магнитные помехи). Поскольку уменьшить амплитуду источников помех или значительно удалить их от МУ на подстанции невозможно, основным средством ослабления помех является экранирование контрольных кабелей, трасс их прохождения и помещений с МУ. Роль экранов на подстанциях выполняют кабельные лотки, арматура и панели стен зданий, металлические шкафы и другие металлоконструкции. Для них не существует аналитических выражений коэффициента экранирования, поэтому все расчеты численные.

Сеточная модель электромагнитного экрана. Сплошные металлические экраны моделируются проводящими сетками, что позволяет применить для их расчета методы теории заземлителей [1]. Сеточная модель адекватна, если обеспечить неизменность сопротивления протеканию вихревых токов внутри экрана, которые, находясь в противофазе с токами источника, и создают эффект экранирования. Сопротивление экрана состоит из внутреннего активно-индуктивного и внешнего индуктивного сопротивления

$$Z=z_{\text{внут}}+j\omega L_{\text{внеш}}.$$

Внешнее сопротивление не изменится при замене прямоугольной пластины шириной a стержнем диаметра d=0.36a той же длины [1]. Внутреннее сопротивление пластины с высотой сечения h толщиной w равно [2]

$$z_{внут} = r_{внут} + jx_{внут} = \frac{p}{\gamma h} cth\ pw\ ,\ \ p = \sqrt{j\omega\mu\gamma}\ ,\ \ h >> w\ .$$

Адекватность сеточной модели сплошного экрана проверялась экспериментально. Определялась взаимная индуктивность двух катушек M_1, затем между ними был помещен алюминиевый лист, и взаимная индуктивность M_2

уменьшалась. Коэффициенты экранирования $k=M_1/M_2$, полученные расчетным путем хорошо согласуются с результатами эксперимента (рис.1).

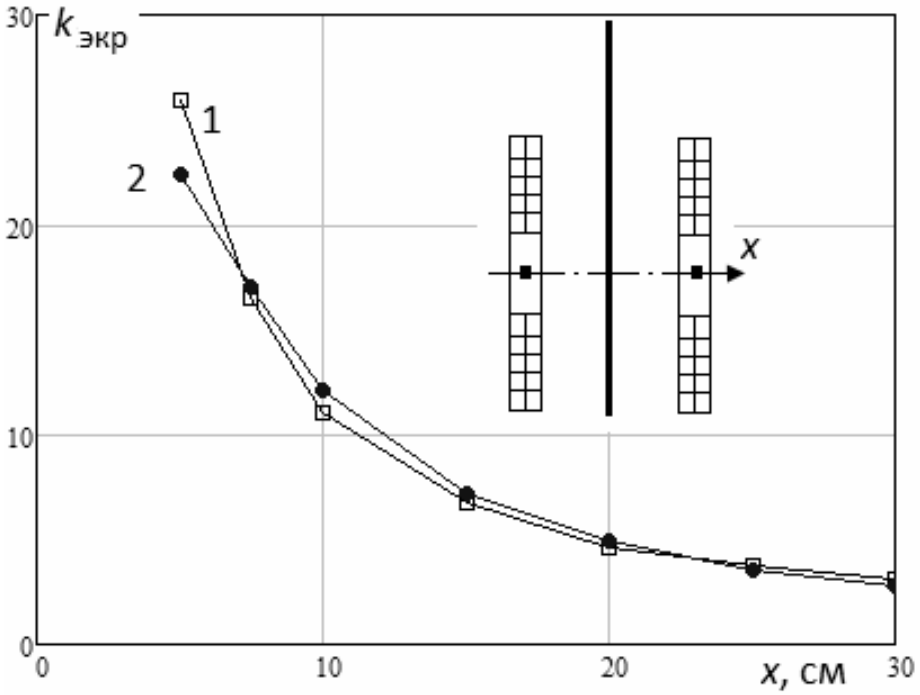


Рис. 1. Коэффициент экранирования алюминиевого листа на частоте 5 кГц по результатам измерений (1), расчетов (2)

Создание геометрических моделей экранов. Эта наиболее сложная задача, поскольку геометрические модели состоят из сотен линий, сгенерировать которые необходимо автоматически. Эта задача решена в разработанной программе ЗУМ [3], [4], работающей как приложение к в AutoCAD. Пользователю достаточно задать размеры и тип экрана, далее нажать на кнопку, чтобы получить геометрические модели (рис.2).

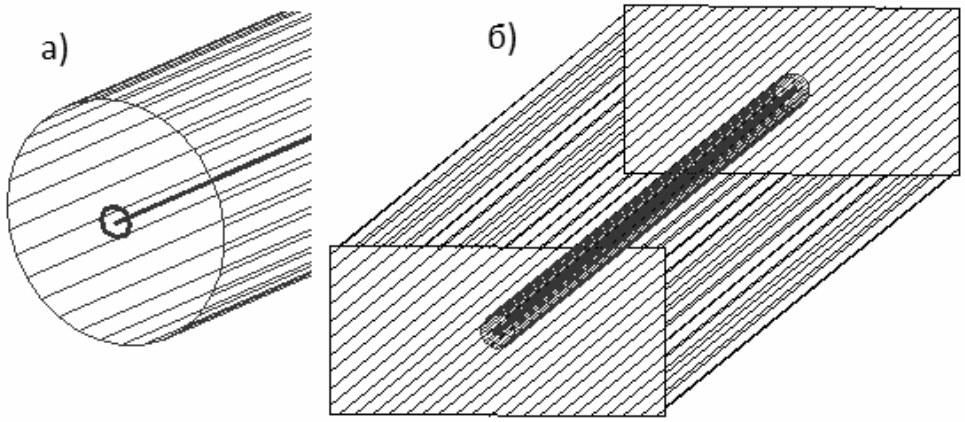


Рис. 2. Геометрическая модель кабеля с экраном (а) и кабеля внутри короба (б)

Экранирование гальванических помех. Ток молнии, растекаясь через заземлитель в землю, вызывает резко неравномерное распределение потенциала заземлителя. Разность потенциалов между концами контрольного кабеля,

подключенного к измерительному трансформатору с одной стороны и вводом в здание с МУ с другой, создает напряжение помехи, величина которой может достигать десятков киловольт. При отсутствии экранирования эта помеха будет доставлена по кабелю на вход МУ без затухания, что недопустимо. Поэтому контрольные кабели (обычно КВВГЭ) имеют экран, который должен быть заземлен с двух сторон. При незаземленном экране или одностороннем его заземлении ослабление помехи не наблюдается, поскольку принцип экранирования основан на протекании тока помехи по экрану, который индуцирует в жиле напряжение, противоположное по фазе напряжению помехи.

Расчет АЧХ коэффициента экранирования кабеля с двусторонним заземлением экрана показывает, что он возрастает с увеличением частоты (рис.3а). На низких частотах экранирования не наблюдается. На эквивалентной частоте молнии f=25 кГц коэффициент экранирования k_1=24. Этого может быть недостаточно для защиты МУ.

К дополнительному ослаблению помехи ведет размещение кабеля внутри металлического короба (рис.2б). Вначале экран «отключаем» и проводим расчет АЧХ коэффициента экранирования короба (рис.3б), который выше, чем у экрана кабеля на низких частотах и ниже на высоких частотах. На частоте f=25 кГц для короба k_2=24, как и для экрана кабеля.

Наибольший экранирующий эффект имеет действие экрана кабеля вместе с и металлическим коробом (рис.3в). На низких частотах он обусловлен в основном коробом, а на высоких частотах – экраном кабеля. На частоте f=25 кГц коэффициент экранирования k=38. Заметим, что это значительно меньше, чем перемножение k_1 k_2, что допускается рядом руководств.

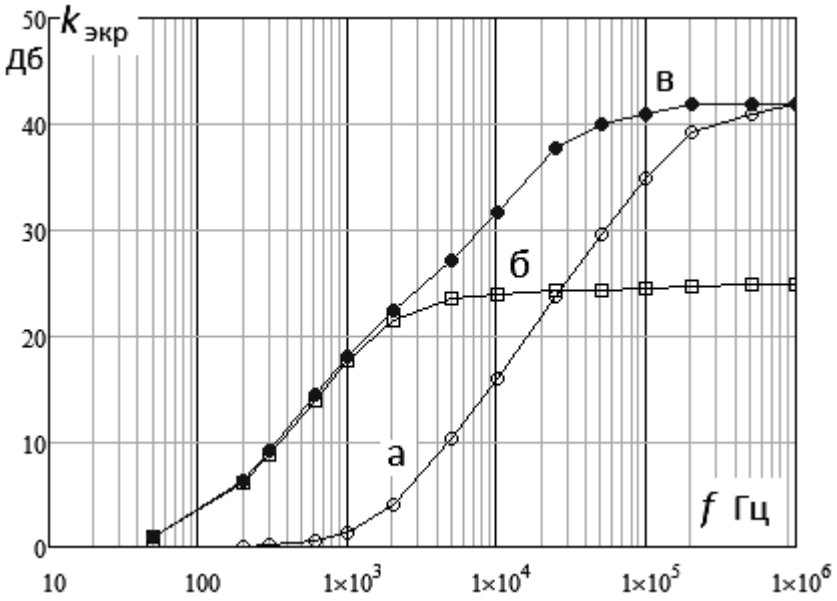


Рис. 3. Коэффициент экранирования гальванической помехи: экраном кабеля (1), коробом (2), экраном кабеля вместе с коробом (3)

Экранирование электромагнитных помех. Рассмотрим объемное экранирование типичного для современных подстанций металлического помещения модульного типа (рис.4). Максимальная напряженность магнитного поля на уровне 1 м от пола при отсутствии экрана равна H_1=742 А/м и H_2=46 А/м с учетом экранирования стенами на эквивалентной частоте молнии 25 кГц. Таким образом, коэффициент экранирования равен 16 или 24 Дб.

Выводы. Электромагнитные экраны произвольной формы заменяются проводящими сетками, для расчета которых применимы методы теории заземления. Адекватность сеточных моделей подтверждена экспериментально. Разработана компьютерная программа, позволяющая проводить расчеты электромагнитных экранов для защиты микропроцессорных систем управления электрических подстанций от гальванических и электромагнитных помех.

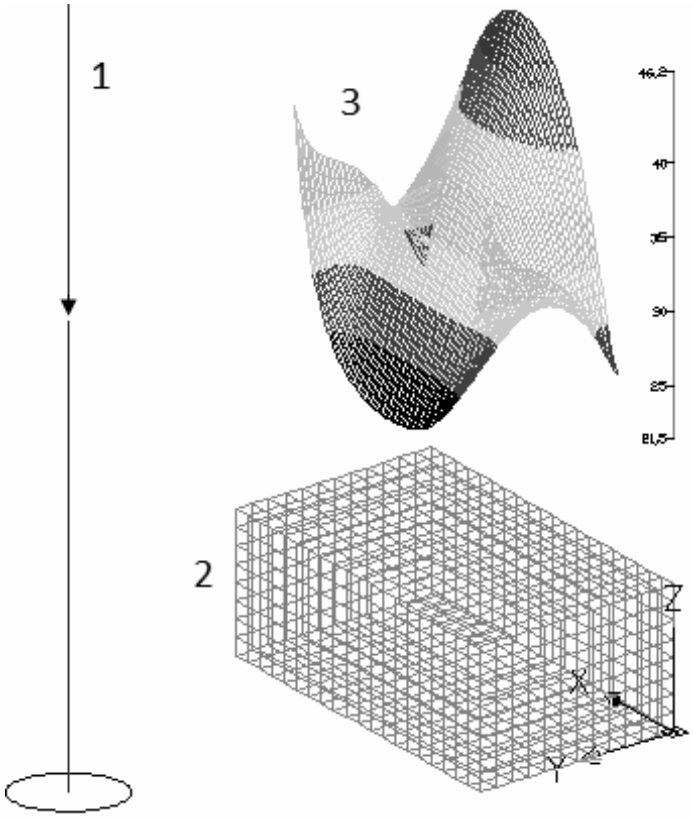


Рис. 4. Распределение напряженности магнитного поля (3) внутри экранируемого помещения (2) на высоте 1 м от пола при протекании тока 100 кА, частотой 25 кГц по молниеотводу (1)

Литература

1. Шишигин, С.Л. Расчет заземлителей: учебное пособие / С.Л. Шишигин. – Вологда : ВоГТУ, 2012. – 121 с.

2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. электромагнитное поле / Л.А.Бессонов. –М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.

3. Шишигин, Д.С. Средства визуализации и анимации трехмерной графики для автоматизированного проектирования заземления и молниезащиты электрических подстанций в системе AUTOCAD // Молодые исследователи – регионам: мат. всерос. науч. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2011. –Т.1. – С. 117-119.

4. Шишигин, Д. С. Современные технологии автоматизированного проектирования в электроэнергетике/ Материалы V ежегодной научной сессии аспирантов и молодых ученых по отраслям наук: Технические науки. Экономические науки. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – С.45-49.

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОМ-ОХЛАДИТЕЛЕМ

М.А. Шушков
Научный руководитель ***А.М. Водовозов****, канд. техн. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

На предприятиях молочного животноводства зачастую возникает проблема хранения сырья в течение некоторого непродолжительного времени до его транспортировки на перерабатывающие предприятия молочной промышленности. Одним из решений этой проблемы является использование резервуаров-охладителей для хранения молока и молочных продуктов. Данная статья посвящена системе управления подобным резервуаром.

Резервуар-охладитель представляет собой емкость, оснащенную холодильным агрегатом, пропускающим хладагент между двойными стенками емкости. Для обеспечения равномерного охлаждения резервуар оснащен мешалкой с мотор-редуктором. Для реализации автоматической мойки предусмотрены моющий насос, моющая головка, перистальтические насосы подачи моющих средств, клапаны подачи холодной и горячей воды и клапан слива. Для контроля температуры продукта в резервуаре установлен датчик температуры. Контроль уровня моющих растворов или продукта осуществляется с помощью двух кондуктометрических датчиков уровня. Один из датчиков сигнализирует о достаточном уровне моющих растворов, второй – о достаточном уровне продукта в резервуаре.

Таким образом, для управления резервуаром-охладителем требуется система, основными задачами которой являются:

– обеспечение хранения и поддержание заданной температуры продукта;

– обеспечение возможности автоматической мойки резервуара.

К вспомогательными функциями системы можно отнести индикацию уровня жидкости в резервуаре, а также отслеживание возможных нештатных ситуаций и защиту от некорректных действий оператора.

Центральным элементом системы управления резервуаром-охладителем является программируемый логический контроллер ПЛК-73 фирмы ОВЕН. Особенность данного контроллера заключается в наличии четырехстрочного жидкокристаллического индикатора и пленочной клавиатуры, что позволяет разработать пользовательский интерфейс с помощью встроенных средств контроллера.

ПЛК-73 имеет 8 дискретных входов, 8 аналоговых входов и 8 дискретных выходов. К дискретным входам подключены датчики уровня, а также обратные связи от коммутационных устройств исполнительных элементов, необходимые для контроля их состояния. Датчик температуры подключен к од-

ному из аналоговых входов, коммутационные устройства исполнительных механизмов (электромагнитные реле и магнитные пускатели) – к дискретным выходам контроллера (рис.).

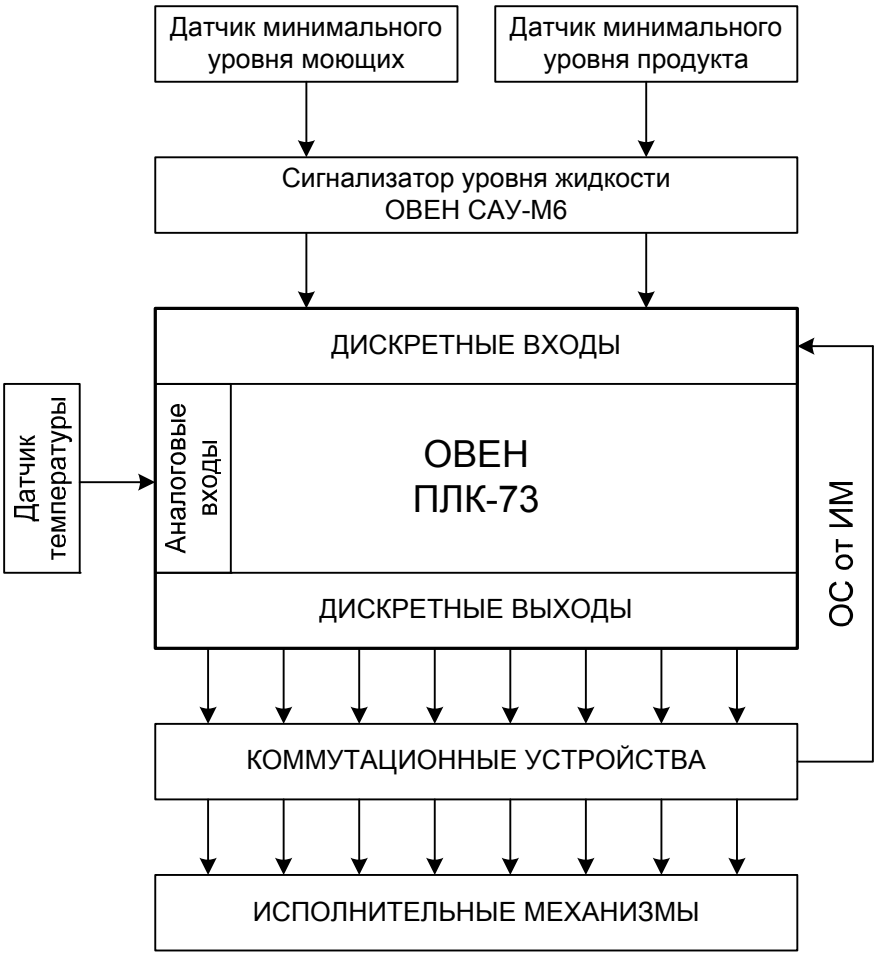


Рис. Структурная схема пульта управления резервуаром-охладителем

Разработка программного обеспечения контроллера производится в среде CoDeSys v2.3. Пакет CoDeSys поддерживает все языки программирования промышленных контроллеров, определенные стандартом МЭК 61131-3: LD, FBD, SFC, IL, ST. Для разработки программы для системы управления резервуаром-охладителем был выбран язык ST (Structure Text), как наиболее близкий к классическим языкам программирования, в частности, к языку Pascal. Организационно программа состоит из двух POU (Program Organization Unit). В одном из них описана логика состояния исполнительных механизмов в зависимости от режима работы и состояния датчиков, в другом – реализован интерфейс взаимодействия с пользователем.

Всего реализовано 3 режима работы:

– «Охлаждение-хранение»;
– «Мойка»;
– «Наладка».

Режим «Наладка» позволяет включать и выключать каждый из исполнительных механизмов вне зависимости от состояния датчиков либо других ис-

полнительных механизмов. Данный режим предусмотрен для первоначальной проверки работы исполнительных механизмов в ходе пусконаладочных работ, а также для управления резервуаром-охладителем в ручном режиме в случае необходимости.

Режим «Охлаждение-хранение» включает в себя два подрежима, соответственно охлаждение продукта и хранение. Переключение между подрежимами происходит автоматически в зависимости от температуры продукта. Если температура продукта в резервуаре поднимается выше допустимой, запускается процесс охлаждения – включается холодильный агрегат, мешалка работает непрерывно. Когда температура продукта опускается ниже заданного значения, система переходит в режим хранения – мешалка работает в циклическом режиме (работа/пауза), холодильный агрегат выключен. Температурные уставки задаются в виде двух параметров: средняя поддерживаемая температура $t_{ср}$ и диапазон поддержания температуры Δt. Переход к подрежиму «Охлаждение» осуществляется, когда температура продукта превысит значение $t_{ср} + \Delta t$, переход к подрежиму «Хранение» происходит при понижении температуры продукта ниже значения $t_{ср} - \Delta t$. Запуск режима «Охлаждение-хранение» невозможен при недостаточном уровне продукта в резервуаре.

Мойка резервуара включает в себя 6 циклов:

1. Ополаскивание холодной водой;
2. Ополаскивание горячей водой;
3. Мойка резервуара моющим раствором;
4. Ополаскивание холодной водой;
5. Дезинфекция резервуара;
6. Ополаскивание холодной водой;

Каждый цикл, в свою очередь, состоит из трех этапов:

– набор воды или моющих растворов;
– мойка резервуара в течение некоторого времени;
– опорожнение резервуара.

Набор воды осуществляется открытием клапана горячей или холодной воды до срабатывания датчика достаточного уровня воды для мойки. В случае набора моющих растворов параллельно с открытием клапана на заданное время включается один из перистальтических насосов набора моющих средств. Непосредственно мойка осуществляется обеспечиваемой насосом циркуляцией воды или моющих растворов через моющую головку. Для опорожнения резервуара после каждого цикла открывается клапан слива на время, достаточное для полного опорожнения.

В автоматическом режиме все циклы мойки выполняются без участия оператора. Вместе с тем предусмотрена возможность запуска оператором конкретного цикла мойки (полуавтоматический режим).

При работе установки возможно возникновение нештатных и аварийных ситуаций. В таких случаях звучит непрерывный звуковой сигнал, а на экране отображается информация об аварии. Все исполнительные механизмы при этом останавливаются. Также на экран выводятся предупреждения при попытке выполнения недопустимых действий оператором (например, запуск мойки при работе установки в режиме «Охлаждение-хранение»). Список аварий и предупреждений приведен в таблице.

Таблица

Наименование аварии/предупреждения	Описание
Предупреждения	
Запущен режим охлаждения-хранения	Выводится при попытке запустить режимы «Мойка» или «Наладка», когда запущен режим «Охлаждение-хранение»
Запущен режим мойки	Выводится при попытке запустить режимы «Охлаждение-хранение» или «Наладка», когда запущен режим «Мойка»
Запущен режим наладки	Выводится при попытке запустить режимы «Мойка» или «Охлаждение-хранение», когда запущен режим «Наладка»
Аварии	
Недостаточный уровень продукта	Возникает если уровень продукта в емкости ниже минимального
Отсутствует охлаждение	Возникает в случае, когда после включения холодильного агрегата в течение 5 минут температура продукта не понижается
АВАРИЯ МЕШАЛКИ	Возникает в случае отсутствия обратной связи от мешалки.
АВАРИЯ НАСОСА МОЙКИ	Возникает в случае отсутствия обратной связи от насоса мойки.
АВАРИЯ НАСОСА ПОДАЧИ МОЮЩИХ СРЕДСТВ	Возникает в случае отсутствия обратной связи от перистальтического насоса подачи моющих средств.
АВАРИЯ НАСОСА ПОДАЧИ ДЕЗИНФЕКТАНТА	Возникает в случае отсутствия обратной связи от перистальтического насоса подачи дезинфектанта.
ПРОВЕРЬТЕ ДАТЧИК УРОВНЯ ВОДЫ	Возникает в случае, когда сработал датчик достаточного уровня продукта при несработавшем датчике достаточного уровня моющих растворов.

Литература

1. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256с.: ил.

2. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3.

3. Программирование ОВЕН ПЛК-63 и ПЛК-73. Руководство пользователя.

Секция «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ»

РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ

Е.Л. Ананьина
Научный руководитель ***С.Л. Шишигин****, д-р техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Расчеты электромагнитных полей служат основой для решения задач электромагнитной экологии – раздела экологии, изучающий взаимодействие человека и окружающей среды с электромагнитными полями [1]. Эти задачи становятся все более актуальными в условиях устойчивого повышения класса напряжения и токов. Медицинское обследование персонала, длительно работающего вблизи энергетических объектов сверхвысокого напряжения, показало, что электромагнитное поле промышленной частоты вызывает у человека повышенную утомляемость, понижение артериального давления, падение частоты пульса; в сердце возникают резкие боли, сопровождающиеся сердцебиением и аритмией. Среди объектов электроэнергетики наибольшее влияние на человека оказывают воздушные линии (ВЛ) из-за большой протяженности (более 200 тыс. км ВЛ 110 кВ и 100 тыс. км ВЛ 220 кВ). Вредное воздействие электрического поля на организм человека в зоне ВЛ определяется двумя факторами: биологическим воздействием электромагнитных излучений и возникновением электрических разрядов между человеком и токоведущими частями; между человеком и металлическими конструкциями, имеющими разные потенциалы.

Для количественной оценки влияния электрического поля на человека установлены нормы предельных значений напряженности $E_{доп}$ на высоте h=1,8 м от поверхности земли. Для населенной местности и на рабочих местах $E_{доп}$ не должна превышать 5 кВ/м. Напряженность 1 кВ/м допускается на границах жилых застроек, напряженность 0,5 кВ/м, сопоставимая с напряженностью электрического поля Земли, считается безопасной для человека на протяжении длительного периода. Аналогичные нормы установлены и для магнитного поля. Таким образом, расчеты параметров электрических и магнитных полей являются основой для задач электромагнитной экологии.

Наибольший интерес представляют характеристики поля в середине пролета, где (вследствие провисания проводов) расстояние от провода до земли минимально, поэтому напряженность достигает максимального значения. Электрическое и магнитное поле здесь двумерное.

Существуют стандартные формулы для расчета потенциала и напряженности провода с использованием декартовой системы координат [2]. Однако более компактные и удобные для численной реализации в системе MathCAD получаются с использованием комплексной формы записи [3].

Вектор напряженности от заряда провода

$$\overline{E} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon \cdot r}\bar{r}_0$$

на комплексной плоскости имеет вид (рис.1)

$$\dot{E} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\,|\,z - z\tau\,|}e^{j\psi} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\,|\,z - z\tau\,|\,e^{-j\psi}}.$$

Тогда комплекс напряженности электрического поля в произвольной точке с комплексной координатой z записывается в MathCAD в виде функции

$$E(z) := \frac{\tau}{2\pi\varepsilon(\overline{z - z\tau})},$$

где надчеркивание обозначает операцию сопряжения комплексного числа. Модуль напряженности равен $|E(z)|$, угол $\psi=\arg(E)$ – аргумент комплексного числа.

Потенциал в точке с координатой z, созданный зарядом τ с координатой $z\tau$ (рис.1)

$$\varphi(z) := -\frac{\tau}{2\pi\varepsilon}\ln(|\,z - z\tau\,|).$$

Потенциал и напряженность электрического поля провода и его зеркального изображения

$$\varphi(z) := \frac{\tau}{2\pi\varepsilon}\ln\left[\frac{|\,z - \overline{z\tau}\,|}{|\,z - z\tau\,|}\right],\quad E(z) := \frac{\tau}{2\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{\overline{(z - z\tau)}} - \frac{1}{\overline{(z - \overline{z\tau})}}\right],$$

где $\overline{z_\tau} = x_\tau - j \cdot y_\tau$ – координата зеркального провода.

Потенциал и напряженность электрического поля N–проводов с зеркальными изображениями

$$\varphi(z) := \sum_{i=1}^{N}\frac{\tau_i}{2\pi\varepsilon}\ln\left[\frac{|\,z - \overline{z\tau_i}\,|}{|\,z - z\tau_i\,|}\right],\quad E(z) := \sum_{i=1}^{N}\frac{\tau_i}{2\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{\overline{(z - z\tau_i)}} - \frac{1}{\overline{(z - \overline{z\tau_i})}}\right],$$

где $\tau[1..N]$, $z\tau[1..N]$ – векторы (одномерные массивы) зарядов и координат проводов.

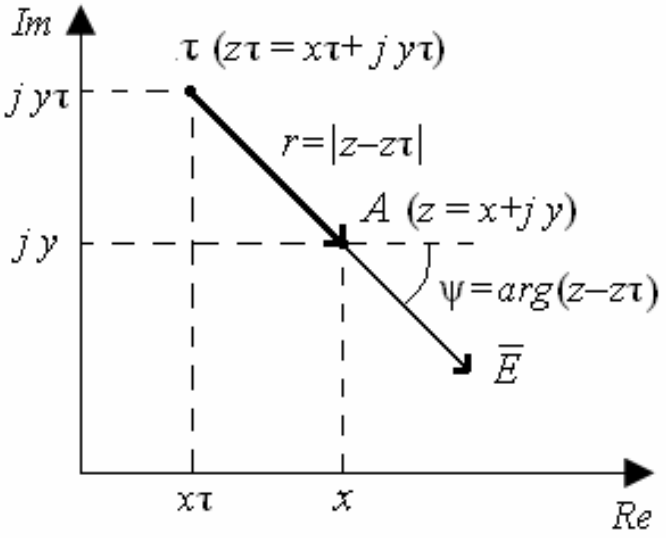


Рис. 1. К расчету вектора (комплекса) напряженности электрического поля E от линейного заряда τ с координатой zτ в произвольной точке A с координатой z на комплексной плоскости

Полученные формулы применимы и для расчета магнитных полей с учетом известной аналогии между статическими полями.

Задачи электромагнитной экологии возникают при проектировании объектов электроэнергетики. В качестве примера рассмотрим подобную задачу. При проектировании ВЛ 110кВ вблизи жилой застройки, находящейся на расстоянии 300 м от ВЛ, требуется рассчитать распределение напряженности электрического и магнитного поля и определить электромагнитную обстановку по допустимым нормам. Параметры ВЛ: линейное напряжение U_{max}=121 кВ, максимальный ток $I_{max\ раб}$=420А, диаметр проводов равен 23,1 мм, габарит(от нижнего провода до земли) равен 7 м. Расположение фаз АВС (сверху вниз) для обеих цепей (рис. 2).

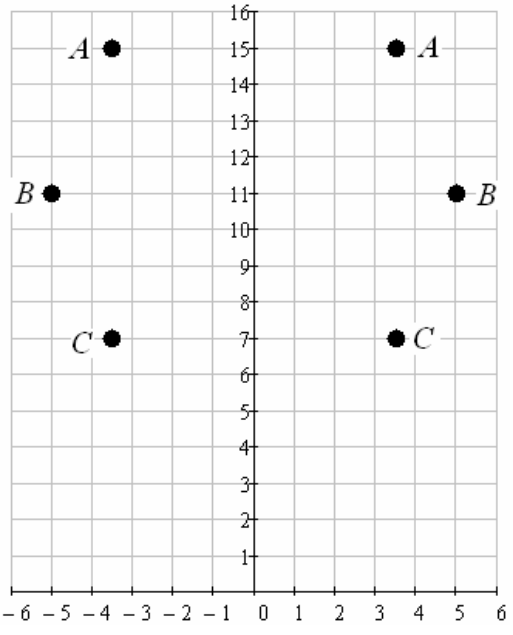


Рис. 2. Расчетная модель проводов двухцепной ВЛ в середине пролета

Расчет проведем для моментов времени, когда максимум напряжения (тока) имеет место на каждой из фаз. Выбирая максимальные значения для указанных трех моментов времени, получены итоговые результаты. Распределение напряженности электрического поля представлено на рис. 3.

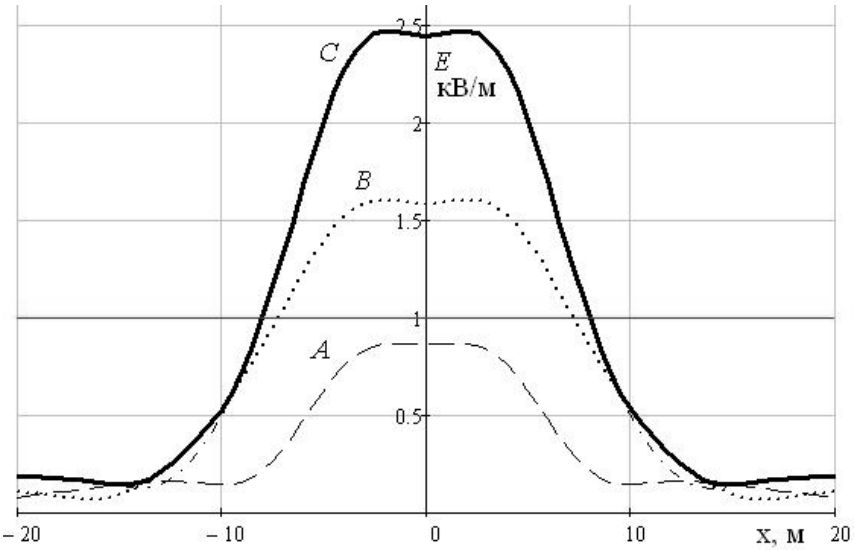


Рис. 3. Распределение напряженности электрического поля ВЛ 110кВ на высоте 1,8 м в середине пролета при максимуме потенциала: фазы А, В, С

Анализ распределения напряженности электрического поля в сечении ВЛ показывает, что допустимые уровни превышаются лишь в ограниченной области вблизи проводов ВЛ (рис. 4).

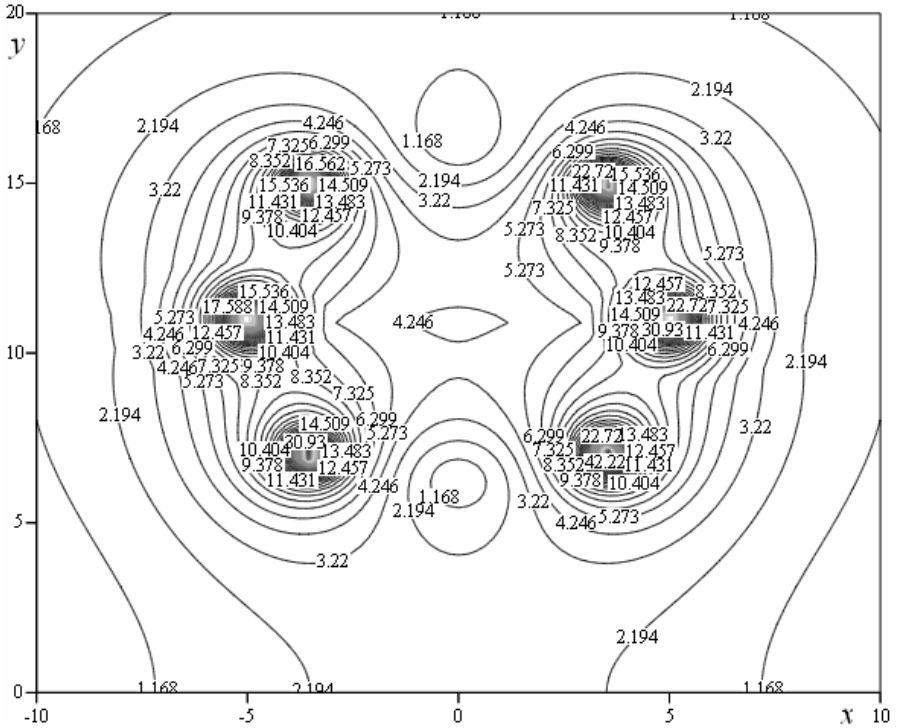


Рис. 4. Распределение модуля напряженности электрического поля в сечении ВЛ 110кВ в середине пролета

Напряженность электрического поля в расчетной точке на расстоянии 300 м от середины ВЛ по горизонтали составляет $E=2\cdot10^{-3}$ кВ/м, что 500 раз меньше предельно допустимого уровня (ПДУ) – 1 кВ вне зоны жилой за-

стройки и в 250 раз меньше ПДУ в жилых помещениях, а с учетом экранирования железобетонными конструкциями еще больше. Таким образом, напряженность электрического поля находится в пределах действующих ПДУ в 20-ти метровой защитной зоны по трассе ВЛ и мала даже по сравнению с естественным электрическим фоном Земли на границах жилой застройки.

Распределение напряженности магнитного поля в середине пролета по трассе ВЛ для максимального рабочего тока 420А представлено на рис. 5.

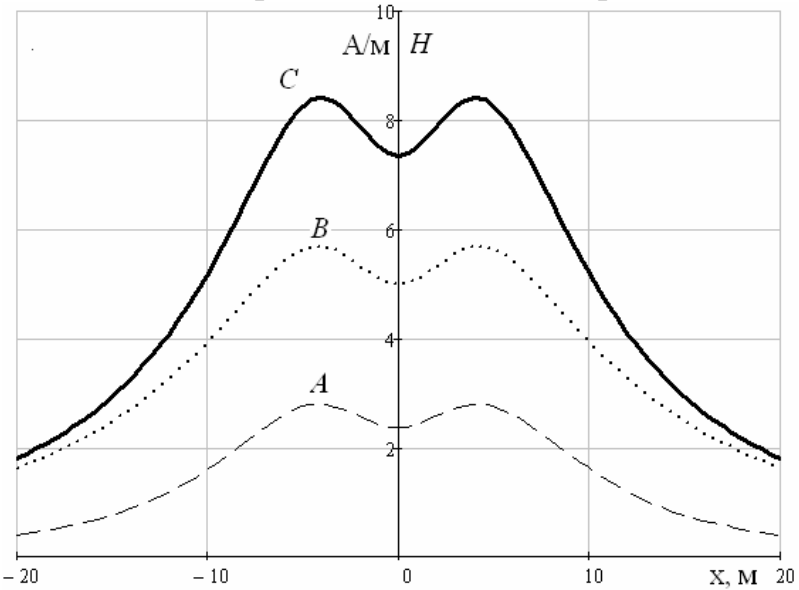


Рис. 5. Распределение модуля напряженности магнитного поля ВЛ 110кВ на высоте 1,8 м в середине пролета при максимуме потенциала: фазы A,B,C

Анализ распределения напряженности магнитного поля в сечении ВЛ показывает, что допустимые уровни превышаются лишь в ограниченной области вблизи проводов ВЛ (рис.6).

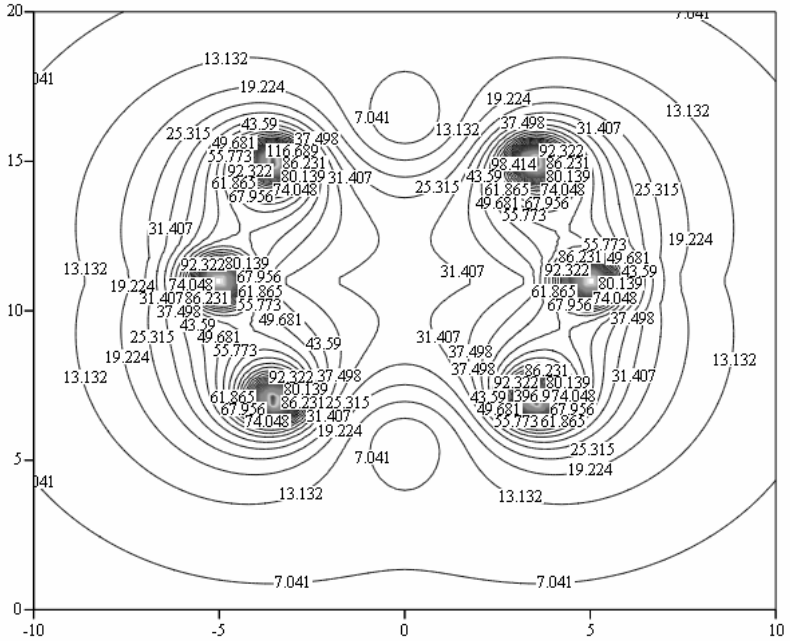


Рис. 6. Распределение модуля напряженности магнитного поля в сечении ВЛ 110 кВ в середине пролета

В расчетной точке на расстоянии 300м от оси ВЛ напряженность магнитного поля, обусловленная ВЛ, пренебрежимо мала и составляет менее 0,01 А/м, что в 1600 раз меньше ПДУ вне зоны жилой застройки и в 800 раз меньше ПДУ в жилых помещениях.

Таким образом, уровни электромагнитного поля промышленной частоты соответствуют действующим санитарно-эпидемиологическим требованиям и специальных мероприятий, обеспечивающих дополнительное снижение уровня электромагнитного поля, не требуются.

Вывод. Расчеты электромагнитных полей – основа решения задач электромагнитной экологии. Напряженности электрического и магнитного поля нормируются, в случае превышения допустимых значений необходимо принять меры по их снижению. К этим мерам относится увеличение расстояния от источника поля и экранирование источника поля или защищаемого объекта.

Литература

1. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии . – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.

2. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташов В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей. – М.: МЭИ, 2008. – 352 с.

3. Шишигин С.Л. Теоретические основы электротехники. Часть III. Методические указания к расчетно-графическим работам по теме «Расчет электрических полей воздушных линий электропередач». – Вологда: ВоГТУ, 2012.

СНИЖЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Т.А. Ковалева

Научный руководитель ***В.А. Воробьев****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Качественные характеристики основного силового оборудования, значительная часть которого выработала свой ресурс, постоянно ухудшаются. Вследствие этого вероятность и частота возникновения аварийных ситуаций резко возрастает, что приводит к снижению надежности электроснабжения.

Наиболее распространенный вид повреждений в сетях с изолированной нейтралью - однофазные замыкания на землю с перемежающейся дугой, составляющие более 70% [1]. Поэтому важным направлением в поиске решений по повышению надежности систем электроснабжения является борьба с ними.

Как известно, в сетях с изолированной нейтралью замыкание фазы на землю не является коротким замыканием и не требует немедленного отключения, что дает возможность сохранить работоспособность этих сетей при длительных замыканиях фазы на землю путем определения, выделения и отключения места повреждения, а также создания временной схемы питания потребителей без их обесточивания.

Однако отключение замыканий на землю является все же необходимым, так как в результате воздействия емкостного тока и электрической дуги в месте замыкания возможно повреждение изоляции между фазами на кабельных ЛЭП и переход однофазного замыкания в междуфазное КЗ. Помимо этого, из-за перенапряжений, вызываемых замыканием на землю, возможен пробой или перекрытие изоляции на неповрежденных фазах, что приводит к образованию двойных замыканий на землю в разных точках сети [2].

Важно понимать необходимость повышения скорости обнаружения и устранения режима однофазного замыкания в сетях с изолированной нейтралью.

В России принято выполнять релейную защиту от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью с действием на сигнал. Принципы действия защит от однофазных замыканий, применяемых в настоящее время в электрических системах, во многих случаях не удовлетворяют выдвинутым требованиям. Одним из основных недостатков защит, реагирующих на установившиеся значения параметров режима, является недостаточная чувствительность, а также не селективность действия [2].

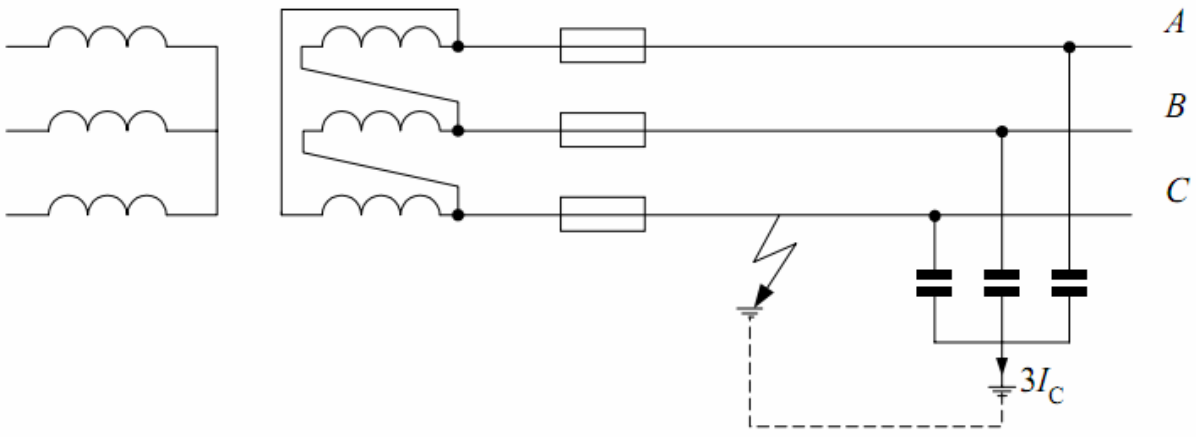


Рис. 1. Схема сети 6-35 кВ с изолированной нейтралью

Ток однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью определяется частичными емкостями фаз сети по отношению к земле и зависит от напряжения, конструкции и протяженности сети. При замыкании на землю одной фазы, например фазы С (рис. 1), напряжение этой фазы по отношению к земле будет равно нулю, а напряжения двух других фаз

увеличатся в $\sqrt{3}$ раз, и угол сдвига между векторами этих напряжений будет 60° (рис. 2). Емкостной ток поврежденной фазы будет равен нулю, а емкостные токи каждой неповрежденной фазы увеличатся пропорционально росту напряжений на емкости и соответственно будут равны $\sqrt{3}$ I_{CA} и $\sqrt{3}$ I_{CB}. Суммарный ток через емкости неповрежденных фаз $3I_{C\phi}$, равный геометрической сумме токов этих фаз, будет проходить через место замыкания фазы С на землю, замыкаясь через источник питания сети.

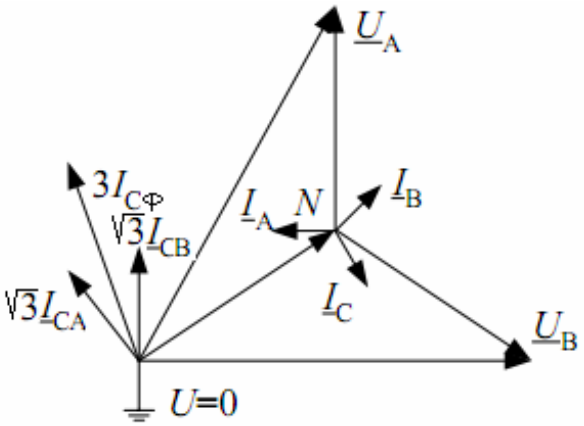


Рис. 2. Векторные диаграммы

При неметаллическом замыкании на землю в месте замыкания возникает перемежающаяся дуга, которая сопровождается повторными гашениями и зажиганиями. Между емкостью и индуктивностью сети в этом случае появляются свободные электромагнитные колебания высокой частоты, вследствие чего на линейное напряжение сети накладывается высокочастотная составляющая, приводящая к перенапряжениям. Амплитуда дуговых перенапряжений в сетях 6…35 кВ, согласно многократно проведенным исследованиям, при отсутствии феррорезонансных явлений может достигнуть значений $3{,}2U_{\phi}$ на неповрежденных фазах и $2{,}2U_{\phi}$ – на поврежденной [3].

Кратковременные дуговые перенапряжения такой величины не опасны для нормальной работы изоляции оборудования. Однако длительное воздействие перенапряжений на изоляцию может привести к ионизации и тепловому пробою ее в любой точке сети. Кроме того, наличие значительного тока в дуге развитых кабельных сетей приводит к переходу однофазных замыканий в двух- и трехфазные короткие замыкания и отключению электроприемников. Предельные значения емкостного тока замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью, при которых еще обеспечивается самопогасание дуги, в месте замыкания составляют от 10 до 30 А для КЛ в зависимости от номинального напряжения [3].

Одним из вариантов предупреждения негативных последствий от замыканий на землю, является использование однополюсного заземляющего выключателя, установленного в центре питания [4]. При возникновении в произвольной точке сети однофазного замыкания на землю с помощью микропроцессорных устройств релейной защиты осуществляется определение поврежденного фидера и аварийной фазы. Следующим шагом является глухое заземление поврежденной фазы в центре питания однополюсным выключателем, срабатывающим с минимально возможной выдержкой времени. Дуга ОЗЗ гаснет при ближайшем

переходе тока через ноль. Практического применения в России пока этот способ не нашел. Китайские ученые также предлагают использовать специально смонтированный на подстанции заземляющий выключатель с пофазным управлением коммутацией, с помощью которого можно отвести емкостной ток от места замыкания и погасить дугу в точке возникновения ОЗЗ [5].

Новым предложением является установка однополюсных тиристорных выключателей, которые обладают рядом достоинств:

1) высокое быстродействие;

2) быстрое выключение при ликвидации дуги;

3) многократность выполнения функций.

Преимуществами метода шунтирования замыкания на землю однополюсным заземляющим тиристорным выключателем являются:

1) при включении заземляющего тиристорного выключателя не протекает ток в месте замыкания, за счет чего предотвращается дальнейшее разрушение оборудования;

2) уровни перенапряжений на неповрежденных фазах ограничиваются линейным напряжением сети, что снижает риск переходов ОЗЗ в междуфазные КЗ;

3) улучшаются условия электробезопасности, поскольку значения напряжения прикосновения, как правило, не превышают допустимых уровней.

Примерная схема реализации указанного алгоритма представлена на рис. 3.

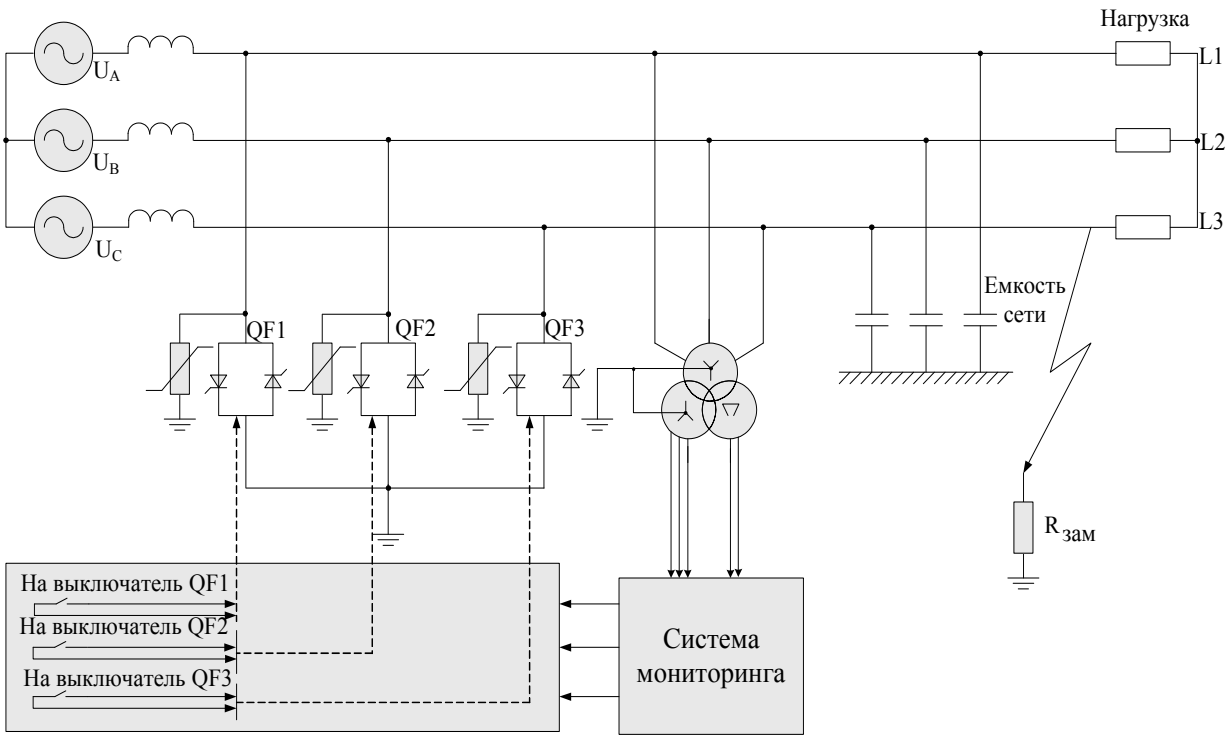


Рис. 3. Принципиальная схема шунтирования замыкания на землю однополюсными тиристорными выключателями

Литература

1. СТО Гзпром 2-1,11-070-2006. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО "Газпром"; введ 2006-08-10. – М.: ИРЦ ОАО «Газпром», 2006.

2. Чернобровов, Н.В. Релейная защита энергетических систем: учеб. пособие для энергетичексих специальностей средних профессиональных учебных заведений / Н.В. Чернобровов, В.А.Семенов. – М. : Энергоматиздат, 1998.

3. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: конспект лекций Ч1. / А.В. Лыкин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 83 с.

4. Телегин А.В. Проблематика замыканий на землю и режим заземления нейтрали в сетях среднего напряжения стран Европы и Америки / А.В. Телегин, А.И. Ширковец // Релейная защита и автоматизация – научно-практическое издание. – 2012. – №3: Чебоксары: ООО «РИЦ «СРЗАУ»». – С. 30-39.

5. Чэнь Вэй-сянь. Новый способ гашения дуги однофазного короткого замыкания в сетях с изолированной нейтралью / Чэнь Вэй-сянь, Чень Хо // Электричество: Теоретический и научно-практический журнал. – 2009. – №1. – С. 54-57.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗОН ЗАЩИТЫ МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ

В.Е. Мещеряков

Научный руководитель ***С.Л. Шишигин****, д-р техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Молния – грандиозное природное явление, сопровождаемое разрядом в атмосфере при напряжении в миллионы вольт и токами в сотни тысяч ампер, защита от которого в настоящее время не является абсолютной. Современные системы молниезащиты (МЗ) не обеспечивают надёжную защиту от прямого удара молнии (ПУМ), что влечет огромный ущерб для объектов электроэнергетики, нефтегазового комплекса и военной инфраструктуры. От удара молнии выходят из строя силовое и коммутационное оборудование на электростанциях (ЭС) и подстанциях (ПС), вызывая перерывы электроснабжения потребителей. Доля грозовых отключений составляет от 20 до 50 % общего числа отключений ВЛ [1]. Огромные убытки от молнии несёт и нефтегазовая промышленность. Одним из последних примеров [2] прорыва молнии через систему МЗ, является пожар на ЛДПС «Конда». Молния ударила в емкость с сырой нефтью, сгорело три резервуара. Прямой ущерб составил $25 млн. При

тушении пожара, к несчастью, погибли люди. Известны случаи прямого удара молнии в склад с боеприпасами, несмотря на сложную систему МЗ.

Следует признать, что вероятность прорыва молнии существенно выше, чем ее определяют нормативные документы, по которым ведется проектирование систем МЗ [1,3]. Что касается самих нормативных документов для проектирования систем МЗ, то в настоящий момент существует четыре таких документа, а расчетных методик еще больше. Проблема в том, что «все существующие меры защиты основаны на чисто эмпирическом подходе без тщательного научного анализа процесса развития разряда молнии» [1].

Таким образом, глобальная задача обеспечения надежности систем молниезащиты объектов промышленности остается актуальной и требует совместных усилий ученых и инженеров для ее решения.

Целью данной работы является сравнительный анализ методик расчета зон МЗ, выбор наилучшей для объектов электроэнергетики и ее применение.

Для МЗ зданий и сооружений применяется методика [4], датированная 1987 г. В ее основе лежат результаты исследований, проводившиеся в 30-х годах прошлого века в коротких искровых промежутках, лишь приближенно моделирующие реальное развитие молнии. В дальнейшем, в методике [5] область ее применения была расширена на промышленные коммуникации. Однако зоны защиты по-прежнему определены только двух равновысоких молниеприемников, что затрудняет ее применение на объектах электроэнергетики. Специально для проектирования и эксплуатации МЗ военной инфраструктуры разработана методика [6]. Собственный подход к задачам молниезащиты выработал ГАЗПРОМ. Среди зарубежных методик отметим немецкие нормы [7], позволяющие определить зону МЗ объекта любой сложности и конфигурации.

Очевидное стремление к унификации расчетных методик зон МЗ воплощено в стандарте МЭК [7], согласно которому расчеты проводятся методом катящейся сферы (МКС). Согласно МКС защищаемый объект «обкатывается» сферой заданного радиуса (10,20,45 или 60 м в зависимости от категории) и в зону защиты входят точки, которых не коснулась катящаяся сфера. Метод прост, применим для произвольного числа молниеприемников, поэтому удобен для инженеров. Однако отечественные специалисты относятся к этому методу скептически, напоминая, что это видоизмененный электрогеометрический метод, и приводя примеры, где результаты противоречат здравому смыслу [8]. Складывается впечатление, что несмотря на глобальную значимость проблемы молниезащиты, нормативная документация находится на уровне середины прошлого века, когда она начала разрабатываться.

Для сравнения различных методик рассмотрим радиусы зоны МЗ отдельно стоящего молниеприемника (рис.1). Имеем почти двукратное различие результатов. Таким образом, уровень защиты МЗ зависит от выбранной методики проектирования МЗ, что недопустимо.

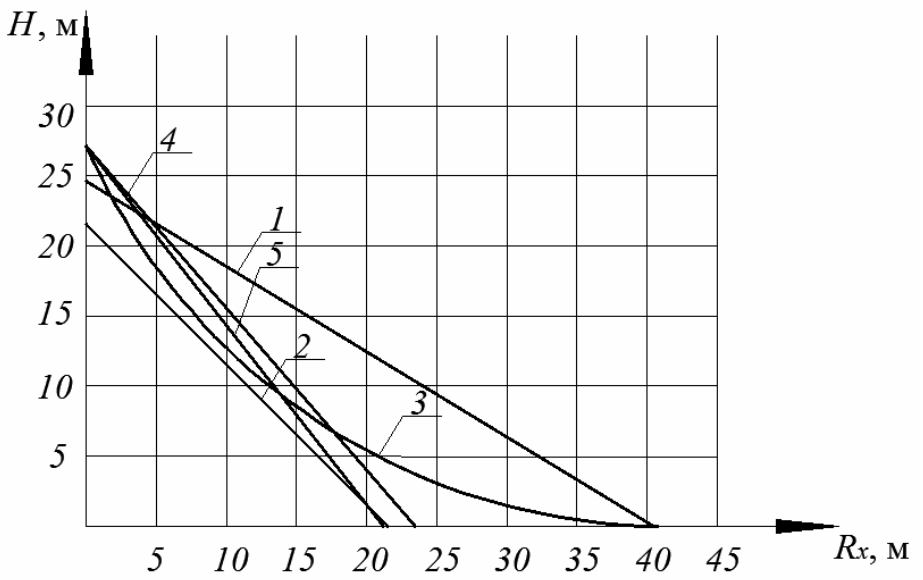


Рис. 1 Зоны защиты стержневого молниеприемника высотой 27 метра по: 1) РД 34.21.122-87 с уровнем надёжности $P_з$=0,95 [4]; 2) СО 153-343.21.122-2003 при $P_з$=0,99 [5]; 3) методом катящейся сферы при $P_з$=0,91 [7]; 4) методом защитного угла $P_з$=0,91 [7]; 5) ВСП 22-02-07/МО РФ для объекта размерами 10x10x10 при $P_з$=0,95 [6]

Значительный вклад в уточнение и выработку единых методик внесли экспериментальные результаты, полученные В.М.Куприенко. На их основе рекомендуется во всех случаях применять метод защитного угла, где значения углов определены для различных объектов эмпирически.

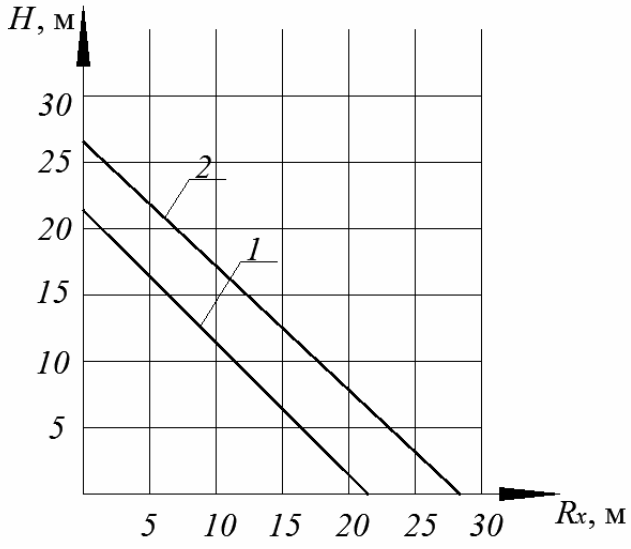


Рис. 2. Зоны защиты стержневого молниеприемника высотой 27 метра по [1]: одиночного (1); с тороидом диаметром D_m=0,2h (2)

Стремительное развитие вычислительной техники делают привлекательными имитационные методы расчета зон молниезащиты. В этой связи особую значимость приобретает идея Г.Н.Александрова о влиянии наведенного молнией заряда на поверхности защищаемого объекта на вероятность его поражения. Иначе, чем больше размеры защищаемого объекта и наведенный заряд, тем выше вероятность прорыва молнии (рис.2). Это положение подтверждено экспериментально [3]. Таким образом, при расчете зон МЗ необходимо рассчитывать наведенный заряд, учитывая размеры и форму защищаемого объекта. Но эту задачу еще предстоит решить.

С точки зрения проектировщика наиболее удобным является метод фиктивной сферы, который легко программируется и для применения которого достаточно ввести 3D-геометрию объекта и задать радиус катящейся сферы (45 м для 3 группы МЗ). В качестве примера на рис.3 представлен расчет зоны МЗ ПС 110/10 кВ «Юго-Западная».

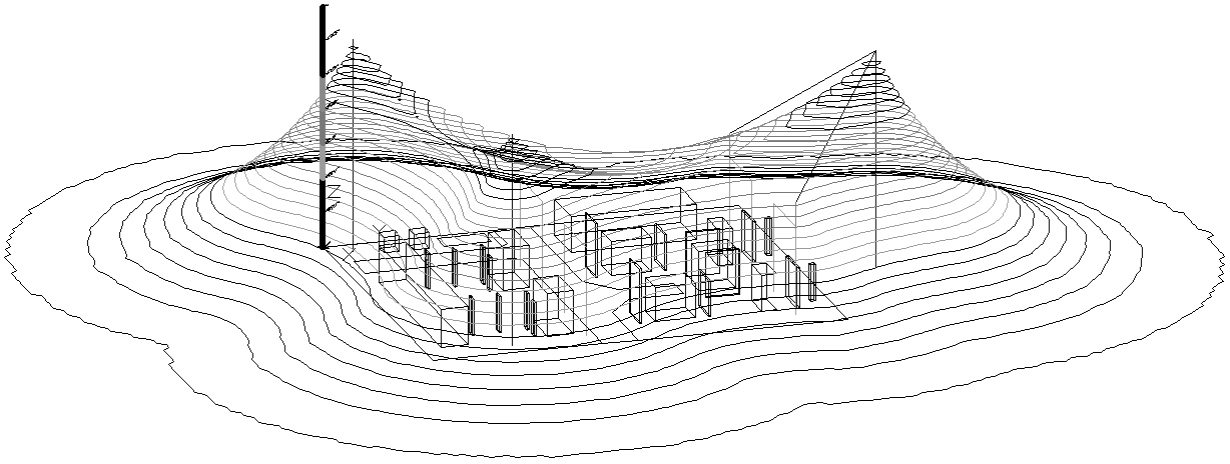


Рис. 3. Зоны защиты от ПУМ ПС

Система защиты от ПУМ территории ПС 110/10 кВ выполнена следующими молниеприемниками:

1.М1-концевая опора 1У110-2+5 ВЛ-110кВ Н=27,6 м

2.М2, М3-отдельностоящие молниеприемники МЖ-27,1-Н=27,05 м.

3. Грозотрос между концевой опорой и линейным порталом с тросостойкой(Н=14,34 м).

Система МЗ перекрывает все оборудование и ошиновки с надежностью 0,9. Метод прост и удобен, и не противоречит действующим нормам [5], что позволяет проектировщикам значительно сократить сроки подготовки проектной и рабочей документации.

Выводы. Действующие в настоящее время методики расчета зон молниезащиты основаны на результатах исследований, проводившиеся в 30-х годах прошлого века в коротких искровых промежутках, и которые лишь приближенно моделируют реальное развитие молнии. Существующие российские и зарубежные методики расчета зон молниезащиты приводят к различным результатам, что недопустимо. Наиболее удобную для практики методику расчета – метод катящейся сферы дает стандарт МЭК, однако для выявления области его применимости требуются дополнительные исследования. Перспективы развития методов расчета зон молниезащиты связаны с идеей Г.Н. Александровым о необходимости расчета наведенного молнией заряда защищаемого объекта на вероятность его поражения.

Литература

1. Александров, Г.Н. Молния и молниезащита / Г.Н.Александров. — М.:Наука, 2008. – 274 с.

2. Антонов, С. Нефть навлекла небесную кару [электронный ресурс] / С. Антонов // Коммерсантъ. – 2012. – № 154 (4209). – Режим доступа: http://www.kommersant.ru/Doc-y/1225611 – Загл. с экрана.

3. Куприенко В.М., Анализ методик расчета и выбора параметров молниезащиты зданий и сооружений / Сб. докладов 2-й Российской конф. по молниезащите. – Москва, ЭНИН им. Г.М.Кржижановского,2010.

4. РД 34.21.122-87 /Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. – М.: МЭИ. – 67 с.

5. СО 153-343.21.122-2003, Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: ОАО «НТЦ Промышленная безопасность», 2003. – 38 с.

6. ВСП 22-02-07/МО РФ, Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры. – М., 2007. – 168 с.

7. Стандарт по молниезащите МЭК 62305, 2003, ч.1-5.

8. Базелян Э.М., Анализ исходных посылок и конкретных рекомендаций стандарта МЭК 365 по защите от прямых ударов молнии / Сб. докл. 1-й Российской конф. по молниезащите. — Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2007. – С. 129-139.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СЕТИ Г.ВОЛОГДЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ

А.А. Мошков

Научный руководитель ***В.В. Орлов****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Основными факторами, определяющими развитие сетей и экономические показатели деятельности сетевого предприятия, являются повышение надежности, техническое перевооружение и повышение энергоэффективности электрических сетей. Комплекс мероприятий по техническому перевооружению и модернизации электрических сетей следует осуществлять путем совершенствования схем электроснабжения, внедрения прогрессивных технических решений, новых конструкций и оборудования, то есть создания сетей нового поколения, отвечающих экономико-экологическим требованиям и современному техническому уровню распределения энергии в соответствии с требованиями потребителей. Электрические сети должны обеспечивать:

- нормативные уровни надежности электроснабжения существующих и вновь присоединяемых потребителей как в нормальных, так и в послеаварийных режимах работы сети;
- нормированное качество отпускаемой электрической энергии;
- минимальные затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание;
- адаптацию к возможному росту нагрузок и поэтапной комплексной автоматизации.

Учитывая техническое состояние электросетевого хозяйства, а также прогнозируемый в перспективе рост нагрузок потребителей города Вологды и Вологодской области можно выделить следующие обобщенные предложения по приоритетным направлениям технического развития электрических сетей г. Вологды на период до 2016 года:

- дальнейшее развитие электрических сетей производить при сложившейся системе напряжений 110,35,10, 6, 0,4 кВ;
- построение сетей напряжением 35 и 110 кВ таким образом, чтобы имелась возможность обеспечения резервного питания для любого потребителя;
- своевременная замена электросетевого оборудования, дальнейшая эксплуатация которого по техническим или экономическим причинам признана нецелесообразной;
- применение при строительстве, расширении, реконструкции и техническом перевооружении подстанций напряжением 110/35/10, 110/10 и 35/10 кВ трансформаторов с устройством автоматического регулирования напряжения под нагрузкой (РПН).

Принимая во внимание тот факт, что город Вологда является крупным областным центром, и в нем расположены многочисленные крупные потребители электроэнергии, а также планируется строительство большого числа новых объектов, предъявляются жесткие требования к качеству электроснабжения. Имеющаяся электроснабжающая сеть города создавалась в середине прошлого века и не в полной мере удовлетворяет современным требованиям по надежности. Электроснабжение города осуществляется в основном от энергосистемы через опорную ПС «Вологда - Южная». Схема сетей 110 кВ представляет собой полукольцо: дуга «Вологда - Южная» - «Луговая» - «Ява» - «Центральная» - «Восточная», охватывающая город с юго-восточной стороны и дуга «Вологда - Южная» - «Ананьино» - «Западная» - «Кубенское», охватывающая город с юго-западной стороны. Существующая электроснабжающая сеть города приведена на рис. 1. Тонкими линиями обозначены ВЛ-35 кВ , толстыми линиями - ВЛ-110 кВ. Связь между ПС «Западная» - «Северная» - «Городская» - «Восточная» осуществляется по сети 35 кВ. Таким образом, электроснабжающая сеть города Вологды напряжением 110 кВ не является кольцевой. По степени надежности для крупного города с числом жителей более 250 тысяч человек схема на питающем напряжении должна быть кольцевая.

Для повышения надежности электроснабжения города рассмотрим варианты: первый - строительство новой двухцепной ВЛ-110/35 кВ, соединяющей ПС «Западная» и ПС «Восточная», которая замкнет кольцо воздушных линий 110 кВ, образуя тем самым кольцевую схему электроснабжающей сети города. Причем, одна цепь будет работать на напряжении 110 кВ, а вторая - 35 кВ, но исполненная в габаритах 110 кВ с целью обеспечения возможности работы на напряжении 110 кВ. Линия будет построена взамен существующей ВЛ-35 кВ, соединяющей ПС «Западная» и «Восточная» с заходами на ПС «Северная» и «Городская» в имеющейся трассе, с использованием металлических опор, без изменения числа опор. В связи с переходом в дальнейшей перспективе ПС «Северная» и «Городская» на высшее напряжение 110 кВ вместо 35 кВ вторая цепь данной ВЛ, выполненная в габаритах 110 кВ и полностью рассчитанная на данное напряжение, позволяет запитывать данные ПС, тем самым образуя второе «кольцо» на напряжение 110 кВ электроснабжающей сети города. Это позволяет существенно улучшить обстановку с резервированием.

Второй вариант – запуск парогазовой установки электрической мощностью 110 МВт (ПГУ-110) на Вологодской ТЭЦ через РП, что снизит энергозависимость города от сторонних источников. Ввод ПГУ в эксплуатацию запланирован на начало 2013 года. Новая линия электропередач напряжением 110 кВ «Западная - Восточная» позволит передавать вырабатываемую на Вологодской ТЭЦ энергию потребителям, подключенным к закольцованным ЛЭП-110 кВ. Предполагается, что при работе ПГУ Вологодской ТЭЦ на полную мощность в районе ПС «Западная» будет граница потокораздела.

Таким образом, перспективная электроснабжающая сеть города включает в себя: модернизацию ОРУ-110 кВ ПС «Западная» и «Восточная» в связи со строительством новой ВЛ-110/35 кВ; модернизацию ОРУ-110 кВ ПС «Западная» в связи с учетом перспективы развития жилищной застройки - при этом необходимо отметить, что изменение типа ПС на проходную влечет за собой увеличение потерь в данном узле электроснабжающей сети, но также повышается и надежность электроснабжения; учет модернизированного ОРУ-110 кВ опорной ПС «Вологда - Южная»; введение ПГУ Вологодской ТЭЦ через РП. Разработанная перспективная электроснабжающая сеть города Вологды приведена на рис. 2.

В работе рассчитаны все эффекты, достигаемые при внедрении частей проекта по модернизации электроснабжающей сети города. Эффективность модернизации ВЛ-35 кВ достигается за счет поддержания достигнутого уровня полезного отпуска. Увеличения реального денежного потока и финансового результата не происходит, но мы можем оценить размер убытков, которые мы предотвращаем, и это не что иное, как стоимость надежности электроснабжения.

Потери в случае отключения ПС «Городская», ПС «Северная», принадлежащих ГЭП «Вологдаоблкоммунэнерго», питаемых от модернизируемой ЛЭП, в течение одних суток в случае аварии с вероятностью 50% составят:

$$(60753+59485)/365 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}846 = 194{,}8 \text{ тыс. руб.};$$

где, 1,846 тыс.руб./тыс.кВт*ч - тариф для СН-1 (Постановление РЭК ВО от 30.05.2012 № 191);

60753 тыс.кВт·ч - электропотребление в 2011 году по ПС «Городская»;

59485 тыс.кВт·ч - электропотребление в 2011 году по ПС «Северная».

Таким образом, модернизация ВЛ-35 кВ экономически эффективна.

Положительный эффект от ввода в эксплуатацию ПГУ-110 МВт на Вологодской ТЭЦ через РП-110 кВ достигается за счет снижения объёма услуг ФСК по передаваемой электроэнергии с оптового рынка электроэнергии и мощности (далее по тексту - ОРЭМ). Так в 2011 году отпуск электрической энергии от ПС 220 кВ «Вологда-Южная» ОАО «ФСК ЕЭС» в сеть 110 кВ города Вологда составил 1 006 077,34 МВт·ч.

Увеличение полезного отпуска в связи с вводом ПГУ-110 МВт:

1) работа Вологодской ТЭЦ предполагается в режиме максимальной оптимальной загрузки ПГУ с числом часов использования (далее по тексту - ЧЧИ) установленной мощности 8000 час/год;

2) максимальная установленная мощность генерирующего оборудования - 110 МВт;

3) коэффициент загрузки - 0,78.

Полезный отпуск в сеть в начале 2013 года (время ввода ПГУ в эксплуатацию) составит: $110 \cdot 8000 \cdot 0{,}78 = 686\ 700$ МВт·ч. Отпуск электрической энергии от ПС 220 кВ «Вологда-Южная» ОАО «ФСК ЕЭС» в сеть 110 кВ города после ввода в эксплуатацию ПГУ Вологодской ТЭЦ через РП-110 снизится до значения в 319 377,34 МВт·ч.

Тариф за услуги ОАО «ФСК ЕЭС» по Вологодской области - 1117,32 руб/МВт·ч (приказ ФСТ РФ от 29.12.2010 №552-э/2).

Снижение платы за услуги ОАО «ФСК ЕЭС» при вводе ПГУ составит:

$$686\ 700 \cdot 1{,}11732 = 767\ 263 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, в связи с тем, что доход за год эксплуатации (767 263 тыс.руб.) ПГУ-110 МВт Вологодской ТЭЦ в 3,7 раза превышает все затраты на проект ввода (определено экспертами филиала ОАО «МРСК Северо-Запада» «Вологдаэнерго» и составляет 208 757 тыс.руб., куда входят проектно-изыскательские работы, стоимость всего ЭО, СМР и прочие затраты), данная часть проекта по модернизации питающей сети 110 кВ считается устойчивой ко всем возможным изменениям конъюнктуры рынка и является также экономически эффективной.

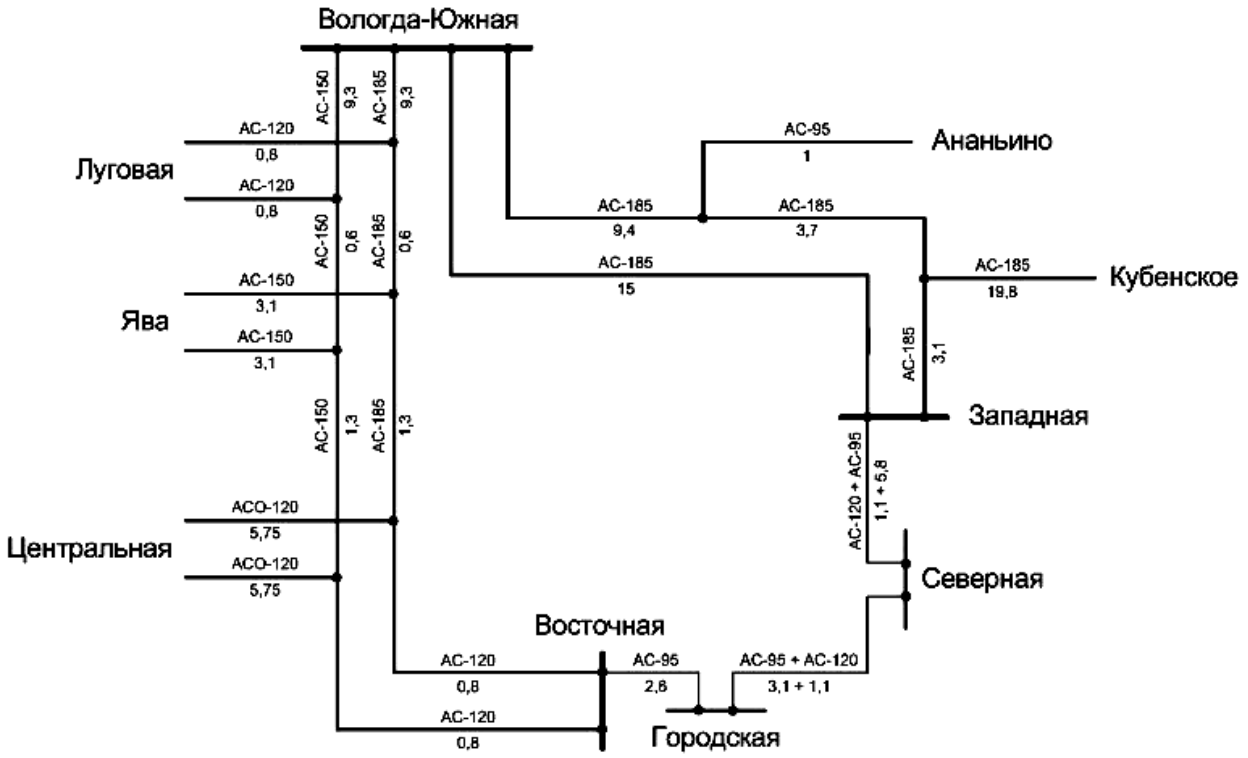


Рис. 1. Существующая электроснабжающая сеть города Вологды

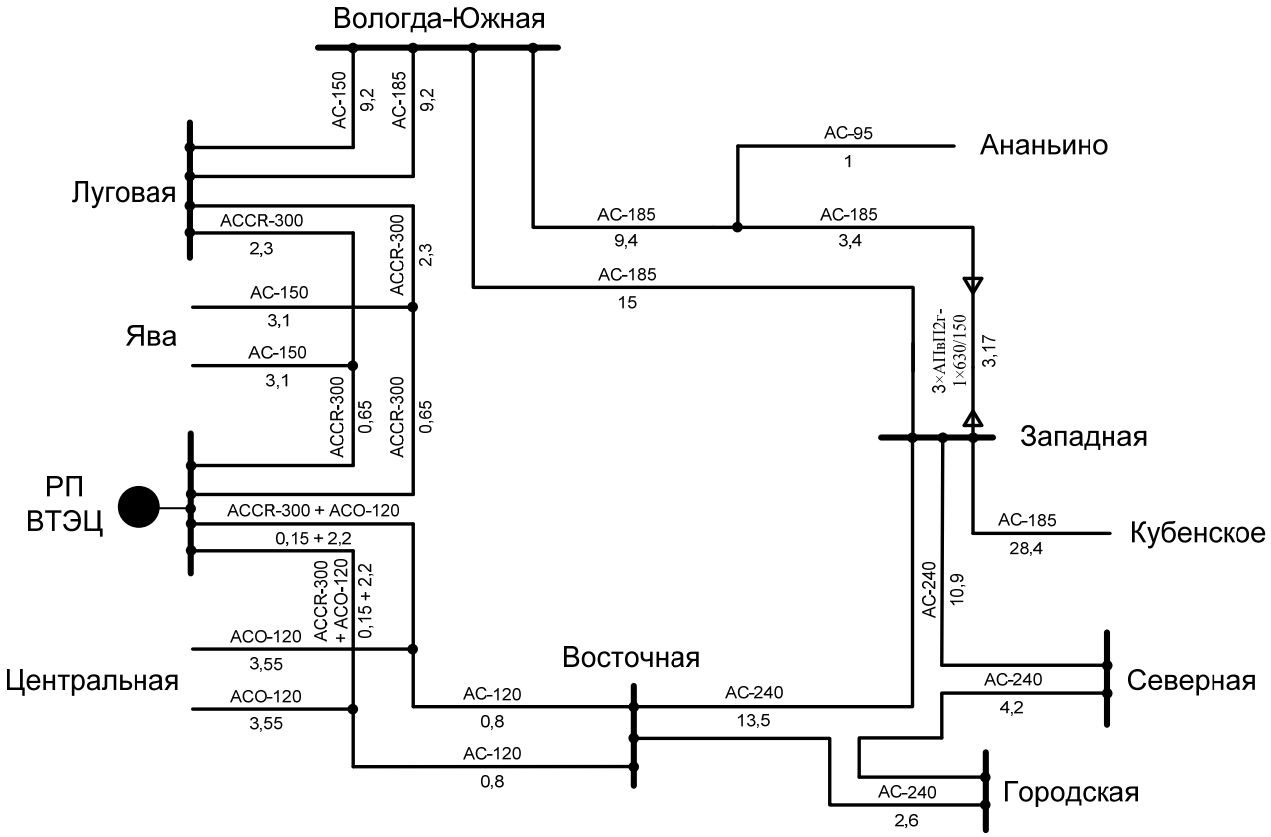


Рис. 2. Разработанная перспективная электроснабжающая сеть города Вологды

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ СЕТИ В ПРОГРАММЕ POWER FACTORY

Е.В. Смирнова
Научный руководитель ***В.А. Бабарушкин****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Генерация и распределение электроэнергии является наиболее важной задачей в современном мире. Правильно созданная и грамотно эксплуатируемая электрическая сеть позволяет обеспечить высокую надежность электроснабжения, низкие потери электроэнергии, а также увеличить срок службы оборудования.

Для того чтобы обеспечить названные критерии, необходимо учитывать некоторые факторы, влияющие на параметры режимов системы электроснабжения. Исследования влияющих факторов удобно выполнять путем математического моделирования режимов системы с использованием программного обеспечения. Одной из них является комплекс Power Factory.

Данный программный пакет объединяет в себе требования и тенденции моделирования, анализа и численного расчета параметров систем электроснабжения, сформированные более чем за последние двадцать лет.

Программный продукт предлагает набор функций для изучения электрических систем с целью улучшения показателей надежности и стабильности функционирования сложной системы передачи электроэнергии, а также для оценки экономической эффективности. Такими функциями являются, например, расчет установившихся режимов электрической сети, определение токов кз, гармонический анализ, оценка устойчивости системы, определение уставок защит, оптимизация установившегося режима и другие [1].

При помощи базы данных, содержащей все необходимые параметры оборудования, например, данные о линии, о генераторе, о трансформаторе, данные о защите и прочие, программа Power Factory может легко выполнить любую из предложенных функций.

В структуру программы входят:

1. Оптимизация технологических процессов.

DIgSILENT обладает обширными опытом в оптимизации технологических процессов, диагностировании и устранении неполадок во многих областях управления электроэнергетическими системами.

- Оптимизация вращающего резерва;
- Принципы оптимальной разгрузки энергосистем;
- Первичное и вторичное регулирование;
- Мониторинг параметров работы и анализ повреждений;
- Построение моделей;

- Анализ и решение проблем резонансных явлений, феррорезонансов;
- Анализ заземлений и перенапряжений;
- Прогнозирование нагрузок;
- Определение состава оборудования и экономическое распределение нагрузок.

2. Системы электроснабжения.

DIgSILENT позволяет проводить инженерное планирование и оптимизацию систем промышленного электроснабжения.

- Анализ качества электроэнергии (гармоники, подсадки напряжения, рабочие характеристики и др.);
- Анализ переходных процессов в системах электроснабжения (самозапуск двигателей, регулирование напряжения, перенапряжения);
- Приводы с регулируемой скоростью.

3. Системное планирование.

DIgSILENT предлагает широкий круг специализированных инженерных услуг, относящихся к планированию систем и либерализации рынков электроэнергии.

- Генпланы и анализ технических возможностей;
- Разработка концепций построения систем, ценообразование и приватизация;
- Консалтинг при заключении контрактов на покупку и транзит электроэнергии;
- Схемы балансов покупки-продажи электроэнергии для электростанций, передающих и распределительных компаний;
- Разработка правил, нормативных документов, условий подключения и т.п.;
- Планирование выработки, передачи и распределения электроэнергии;
- Технико-экономическое оценивание и анализ проектов по внедрению устройств силовой электроники и линий постоянного тока;
- Устойчивость и надежность;
- Разработка концепций построения защитных и автоматических систем, оптимизация существующих схем и уставок систем РЗА.

4. Системные испытания.

DIgSILENT также предлагает специализированную экспертизу по тестированию систем, проведению контрольных испытаний.

- Анализ параметров системы и оптимизация характеристик управляющих систем;
- Определение параметров первичных регуляторов и величины вращающегося резерва;
- Анализ систем возбуждения;
- Определение и настройка параметров стабилизаторов;
- Анализ колебаний в системе;

- Разработка модели системы и моделей ее компонентов;
- Тестирование и идентификация моделей.

Первый шаг в проектировании новой энергосистемы это создание проекта. Он предлагает базовую структуру, в которой можно определить и сохранить элементы энергосистемы, вместе с их стадиями проектирования и диаграммами, можно напечатать библиотеки, стадии вычисления, команды вычисления, и т.д.

Более подробно рассмотрим реализацию функции расчета токов кз.

В программе можно собрать любую схему при помощи библиотеки данных. Для этого необходимо вытащить нужные элементы сети на рабочий лист. Соберем простейшую схему, состоящую из системы, трансформатора, линии и нагрузки, соединенных между собой шинами (рис. 1).

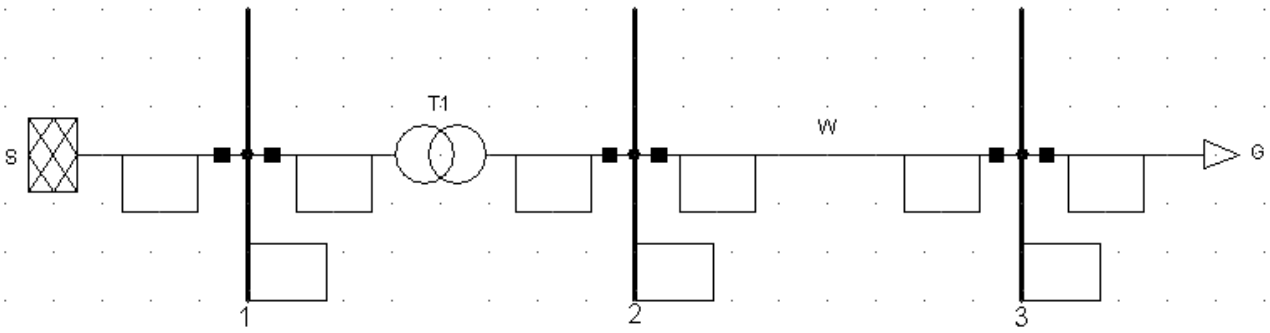


Рис. 1. Схема электрической сети

Для данной сети задаются параметры всех элементов: данные системы, тип и мощность трансформатора, длина линии и марка провода, а также величина нагрузки. Данные трансформатора представлены в табл.1.

Таблица 1

Тип трансформатора	Мощность, кВ·А	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	$U_к$, %
ТМ	400	10	0,4	4,5

Расчет аварийных режимов сети. Для расчета аварийного режима, такого как кз на шине, воспользуемся контекстным меню этой шины (рассчитать→кз), произвольно выберем шину 2. В появившемся диалоговом окне с помощью галочек и переключателей на различных закладках указываются настройки, например, метод расчета. В программе используются международные стандарты вычислений токов кз такие как VDE0102 (Германия), ANSI (США), IEC60909 (Международная электротехническая комиссия), последний метод является наиболее приближенным к отечественному. Также выбираются типы повреждения: трехфазные, двухфазные, двухфазные на землю, однофазные кз, продольная несимметрия. Возможен также выбор, какие токи считать, максимальные или минимальные. После нажатия кнопки выполнить,

программа рассчитает заданный аварийный режим. В результате моделирования получается схема (рис. 2).

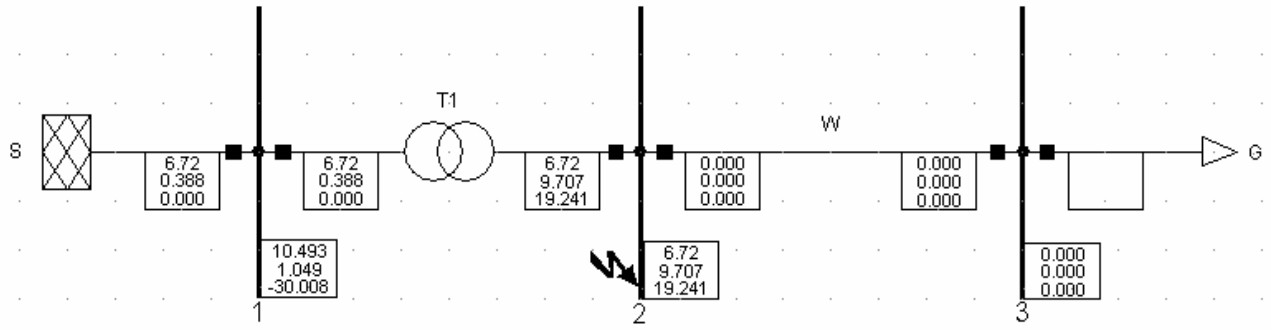


Рис. 2. Результаты расчета режима кз

В областях результатов элементов ветви отображается установившаяся мощность, установившийся ток и ударный ток кз. В узлах – установившийся ток, ударный ток и ток отключения кз. Результаты расчета приведены в табл.2.

Таблица 2

S_k, МВ·А	I_k, кВ·А	i_p, кВ·А
6,72	9,71	19,24

Диалоговое окно расчета кз можно вызвать из панели инструментов, программой предусмотрена опция расчета кз на всех шинах и терминалах. Результаты расчета удобно анализировать в системе управления данными.

Данный программный продукт позволяет адекватно моделировать различные режимы систем электроснабжения и представляет интерес для использования его в учебном процессе направления «Электроэнергетика» и научных исследованиях энергосистем.

Литература

1. GIgSILENT GmbH. PowerFactory Tutorial / GIgSILENT PowerFactory Version 14.0. – Gomaringen, Germany, 2010. – 85 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.А. Суслова
Научный руководитель ***А.Е. Немировский****, д-р техн. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Цифровая подстанция – это подстанция, системы автоматизации и управления которой построены на базе открытых стандартов МЭК 61850, с использованием инновационных способов сбора информации, таких как цифровые трансформаторы тока и напряжения, выносные УСО и интеллектуальные электронные устройства.

С появлением первых цифровых устройств начали формироваться требования к системам передачи данных. Эти требования касались надежности, производительности и совместимости программно-аппаратных решений.

Область применения стандарта МЭК 61850 — системы связи внутри подстанции. Это набор стандартов, в который входят стандарт по одноранговой связи и связи клиент-сервер, стандарт по структуре и конфигурации подстанции, стандарт по методике испытаний, стандарт экологических требований, стандарт проекта.

Из-за сложности программной реализации МЭК 61850, что включает реализацию целого ряда стандартов по передаче данных (MMS ISO 9506, стека протоколов ISO, GOOSE и GSSE), на рынке практически отсутствуют надежные готовые решения, позволяющие принимать данные с устройств, поддерживающих 61850.

Недостатком систем, построенных на 61850, является повышенная стоимость микропроцессорного оборудования РЗА.

В основе стандарта лежат три положения:

- Он должен быть технологически независимым, то есть вне зависимости от технологического прогресса стандарт должен подвергаться минимальным изменениям.
- Он должен быть гибким, то есть допускать решение различных задач с использованием одних и тех же стандартизованных механизмов.
- Он должен быть расширяемым.

Так как замена и модификация большинства оборудования подстанций будут экономически не целесообразны, то рассмотрим следующую систему применения шины процесса согласно стандарту МЭК 61850, который позволяет применять технологию цифровых подстанций без необходимости модифицирования конструкции первичного оборудования.

Шиной процесса условно называют среду обмена данными между устройствами защиты и контроллерами присоединений с оборудованием первичного процесса (первичным оборудованием). Одной составляющей здесь явля-

ется подключение цепей управления силовыми выключателями и разъединителями непосредственно к устройствам уровня присоединения или подключение этих цепей к ним через удаленное устройство с рядом входов / выходов. Другой составляющей – подключение цепей измерительных трансформаторов тока и напряжения непосредственно к устройствам уровня присоединения или через так называемое полевое устройство (модуль объединения). Это две составляющие шины процесса.

Рассмотрим систему, которая будет включать в себя специальные устройства (далее по тексту устройства), монтируемые на корпусах первичного оборудования, реле, заранее подключенные кабели, и оптоволоконные переходные панели для кросс-коммутации устройств и реле.

Устройства разработаны для взаимодействия со всеми сигналами, обычно использующимися для автоматизации подстанции и защиты, настолько близко к их соответствующим оригиналам, насколько это осуществимо. К этим сигналам относятся токи и напряжения от измерительных трансформаторов, сигналы положения выключателя и аварийные сигналы, сигналы управления выключателем, сигналы положения и управления разъединителем, сигналы датчиков температуры и давления, и т.д.

Устройства собирают аналоговые сигналы ТТ/ТН, а также сигналы состояний от выключателей, разъединителей, заземляющих ножей и преобразователей, таких как датчики температуры и давления и т.д. Помимо сбора аналоговых и дискретных сигналов от первичного оборудования, преобразования их в цифровой формат и пересылке устройствам РЗА, устройства получают по оптоволоконной связи [4] сигналы команд от интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) и выполняют операции отключения или включения выключателей или разъединителей.

Архитектура связи основывается на топологии «точка-к-точке». Между устройствами и ИЭУ РЗА имеются строго определенные оптоволоконные линии связи.

Для обеспечения необходимой функциональности каждое устройство и каждое ИЭУ могут поддерживать несколько связей «точка-к-точке». Пускай каждое такое устройство поддерживает четыре независимых канала связи, а каждое ИЭУ поддерживает максимум до восьми каналов связи.

Наличие четырех логических устройств в одном физическом устройстве характеризуется четырьмя независимыми портами связи. В действительности в такой системе устройство содержит четыре независимых цифровых сердечника, каждый из которых состоит из микроконтроллера с индивидуальной двунаправленной оптоволоконной линией связи, обеспечивающей соединение «точка-к-точке» с одним реле. Благодаря данной конструкции повышается надежность устройства, поскольку вместо одного центрального процессора, обрабатывающего одинаковые части программного/аппаратного обеспечения, для управления несколькими каналами связи имеются четыре независимых ЦПУ

обрабатывающих независимые программные коды, служащие для передачи потоков данных в соединениях «точка-к-точке». Кроме четырех цифровых сердечников, для осуществления связи в устройстве имеется один общий микроконтроллер входов/выходов, представляющий собой надёжную конструкцию, которая имеет полную изоляцию и независимость от цифровых сердечников.

Каждое реле получает сигналы для выполнения своих функций по надежной специально выделенной сети, состоящей из прямых оптоволоконных связей жестко-привязанных к каждому соответствующему устройству по МЭК 61850. Благодаря полностью определенному потоку данных по этим специально выделеленным связям, для синхронизации каждое реле контролирует время выборок присоединенных соединяющих устройств кернов по линии связи, не полагаясь для синхронизации данных по шине на внешний задающий генератор.

Передача данных от устройств к ИЭУ РЗА осуществляется согласно стандарту МЭК 61850-9-2[2] с использованием оптоволоконных кабелей подключенных к панелям кросс-коммутации, которые распределяют соответствующие сигналы по ИЭУ. Передача команд управления от ИЭУ к устройствам осуществляется по тем же оптоволоконным кабелям с помощью сообщений GOOSE стандарта МЭК 61850-8-1.

Улучшение надёжности и готовности защиты может по желанию достигаться посредством использования дублированных устройств. Алгоритмы РЗА не реализованы внутри данных устройств, их единственная задача – это высокоскоростной и надежный интерфейс МЭК 61850 на ОРУ.

Для облегчения процедур наладки и замены все кабели имеют концевую соединительную муфту и подключены заранее, при этом используются стандартные компоненты военной/авиационной категорий. Для обеспечения оперативного питания устройств оптоволоконные кабели наружной установки содержат пару проводов питания постоянным током, они же используются для подачи внутреннего напряжения на “сухие” контакты, связанные с каждым устройством на ОРУ, независимо от оперативного питания на ОРУ.

Применение коммутационных панели послужат для подведения и организации кабелей из ОРУ, а также для индивидуального снабжения оперативным питанием устройств. Для выполнения “жесткой оптоволоконной привязки” можно использовать стандартные патч-корды, которые выполняют все необходимые связи по стандарту МЭК 61850 между реле и устройствами, в соответствии с конфигурацией подстанции на основе базиса “один-к-одному” без использования сетевых переключателей.

Однако до сих пор существуют две наиболее значительные технические проблемы следующего поколения архитектуры РЗА, которыми являются совместное использование данных и синхронизация выборок входов переменного тока. Остальные технические трудности, такие как управление ПО, упрощаются, как только решаются эти две фундаментальные проблемы. Ни одна из этих двух

проблем не имеет место в сегодняших жестко-соединенных применениях: аналоговые сигналы доставляются по проводам к каждому индивидуальному реле.

На наш взгляд в данной системе можно реализовать следующий подход: каждое соединяющее устройство содержит совмещенную структуру входов/выходов и четыре цифровых керна. Структура входов/выходов контролируется независимо от реле и цифровых кернов с помощью аппаратного обеспечения низкого уровня.

Цепи управления исключительно стандартные и подходят для следующих применений. Принцип совмещенной структуры входов/выходов позволяет иметь одно компактное устройство и связанную с ним обвязку. Эта структура входов/выходов изолирована от цифровых кернов, и использует соответствующее аппаратное буферное устройство.

Цифровые керны полностью изолированы на аппаратном уровне и состоят из независимых микроконтроллеров, исполняющих независимые элементы ПО, и обменивающихся данными с ИЭУ через независимые оптоволоконные приемопередатчики. Интерфейс для совмещенной структуры входов/выходов и оперативного питания разработан с обеспечением полной независимости цифровых кернов. Каждый цифровой керн привязан к определенному ИЭУ, и каждый керн работает, как будто он является единственным в соединяющем устройстве.

Каждое реле действует в своей собственной “временной зоне”, образовывая свой особенный сигнал дискретизации для запоминания отсчетов для того, чтобы внутренне соответствовать требованиям специфических алгоритмов применения. Этот сигнал дискретизации для запоминания отсчётов посылается с использованием сообщений GOOSE МЭК 61850 ко всем устройствам подключенным к реле. Благодаря соединениям “точка-к-точке”, любой “чужой” поток данных предотвращается, и все сообщения GOOSE доставляются к устройствам быстро и с постоянной выдержкой времени.

Общая структура входов/выходов устройства с относительно высокой скоростью собирает выборки переменного тока на основе собственного свободно бегущего генератора синхронизации.

Индивидуальные копии этих физических выборок посылаются каждому из четырех цифровых кернов по независимой цифровой линии внутри соединяющих устройств. После приема виртуальных сигналов дискретизации в виде сообщений GOOSE, эти керны производят перевыборку своих собственных потоков физических выборок для получения и возврата виртуальных выборок в точной синхронизации с ИЭУ.

В такой архитектуре МЭК 61850 каждое реле может выполнять дискретизацию следуя собственной схеме отслеживания частоты, и различные реле могут применять разную частоту дискретизации. Ни сама дискретизация, ни функции защиты не зависят ни от центрального генератора, ни от большого количества сложных и распределенных систем фазовой автоподстройки час-

тоты, ни как часть открытого стандарта, ни как составляющая собственности какой-либо компании, которую надо синхронизировать прежде чем система начнет выдавать и получать данные.

Концепция независимых цифровых кернов в устройствах способствует организации не только независимых временных зон, но и независимых “зон ПО”. При пуске каждое реле проверяет версию ПО во всех подключенных керных устройств. Если версия ПО керна не совпадает с версией ПО реле, реле автоматически загружает необходимое ПО в присоединенный керн, в то время как другие керны продолжают нормальную работу, не затронутые и неосведомлённые об изменениях, происходящих с их соседом. Эта операция длиться миллисекунды и абсолютно незаметна ни для пользователя, ни для системы.

Устройство не имеет внутреннего ПО или уставок – всё это контролируется каждым присоединенным реле. Таким образом, пользователь не имеет проблем с изменениями ПО и уставок между реле и устройствами (эффект домино). Для того, чтобы взаимодействовать с устройством никакие программные средства не требуются. Традиционные программные средства по настройке реле – как принято сегодня – достаточны для настройки системы. Вся терминология стандарта МЭК 61850 закрыта от пользователя.

ВЫВОДЫ

1. Получена архитектура связи «точка-к-точке» позволяющая реализовывать надежное применение функций АСУ ТП и РЗА на основе концепции цифровой шины процесса.

2. Благодаря системе получена функциональная совместимость оборудования различных производителей, тем самым снижено количество модулей ввода/вывода на устройства АСУ ТП и РЗА.

3. Основной целью было создание системы, которая предоставит пользователю реальные преимущества в части снижения стоимости, уменьшения длительности выполнения проекта, и упрощения архитектуры системы.

Литература

1. IEC International Standard “Communication networks and systems in substations – Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3”, (IEC Reference number IEC/TR 61850-9-2:2004(E), IEC, Geneva, Switzerland).

2. IEC 61850-9-2 LE: Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2, UCA International Users Group.

3. Schaub P., Haywood J., Ingram D., Kenwrick A., Dusha G. Test and Evaluation of Non Conventional Instrument Transformers and Sampled Value Process Bus on Powerlink’s Transmission Network. SEAPAC 2011. CIGRE Australia Panel B5.

4. Шевцов М. В. Передача дискретных сигналов между УРЗА по цифровым каналам связи // Релейщик. – 2009. – № 1.

Секция «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ»

СОСТАВЛЕНИЕ РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ ИНТЕРВАЛАМИ

А.В. Востров
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Существующие методики организации транспортного обслуживания населения [1, 2], когда работа машин на линии организуется с равными интервалами, имеют недостатки, представленные на рис. 1.

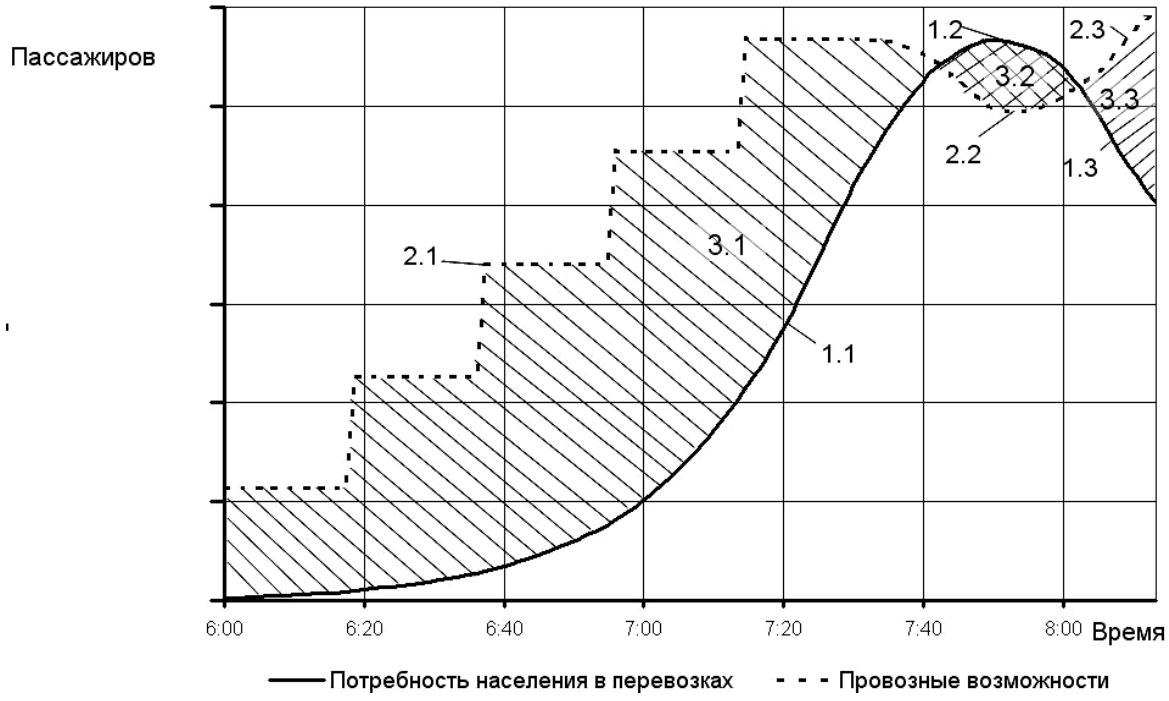


Рис. 1. Анализ организации транспортного обслуживания населения существующими методиками

Изменение потребности в перевозках имеет следующие характеристики:

1.1. Нарастание потребности.

1.2. Достижение пикового значения.

1.3. Спад пассажиропотока.

Изменение провозных возможностей, при реализации существующих методик имеет следующие особенности:

2.1. Нарастание провозных возможностей, характерное для увеличения числа транспортных средств (ТС) на маршруте при выпуске их на линию по ступенчатому графику.

2.2. Снижение провозных возможностей, возникающих при пиковой загрузке транспортных средств из-за увеличения простоев на посадке-высадке и сокращения скоростей движения из-за увеличения интенсивности транспортных потоков. Наблюдения показывают, что эта закономерность подтверждается на всех маршрутах, при использовании вместимости транспортного средства более 0,7.

2.3. Увеличение провозных возможностей при восстановлении нарушенного расписания движения вследствие нагона.

Недостатки существующих методик.

3.1. Превышение провозных возможностей в перевозке из-за нерационального использования вместимости ТС при нарастании пассажиропотока.

3.2. Недостаток провозных возможностей из-за нехватки ТС в короткий пиковый промежуток времени из-за снижения технической скорости при максимальном пассажиропотоке.

3.3. Превышение провозных возможностей при спаде пассажиропотока.

Использование спаренных рейсов и назначение дополнительных экспрессных рейсов [3] помогает приблизиться к решению основной проблемы – недостатка провозных возможностей при пиковых нагрузках, но в целом, основываясь на существующих методиках, их недостатков не устраняет.

Для организации транспортного обслуживания населения с учетом изменения пассажиропотока внутри часа пик, предлагается следующая методика.

1. Определяются сечения маршрута, которым соответствуют максимальные значения пассажиропотока.
2. На выбранных сечениях проводится обследование пассажиропотока.
3. Проводится нормирование скорости движения в час пик и определяется время прохождения ТС между контрольными сечениями, началом и окончанием маршрута.
4. Проводится обработка статистических данных (многовариантный расчет показал, что необходимо брать 15-минутный интервал).
5. Сечения ранжируются по пассажиропотоку.
6. Изменение пассажиропотока для каждого сечения (j) аппроксимируется математическими моделями

$$Q = f_j(t), \tag{1}$$

где $f_j(t)$ - изменение пассажиропотока на j-том сечении.

Анализ моделей показал, что 100% закономерностей изменения пассажиропотока в час пик можно описать Рядами Фурье с χ^2-тест от 0,999 до 1,000 (при условии достаточности 0,1).

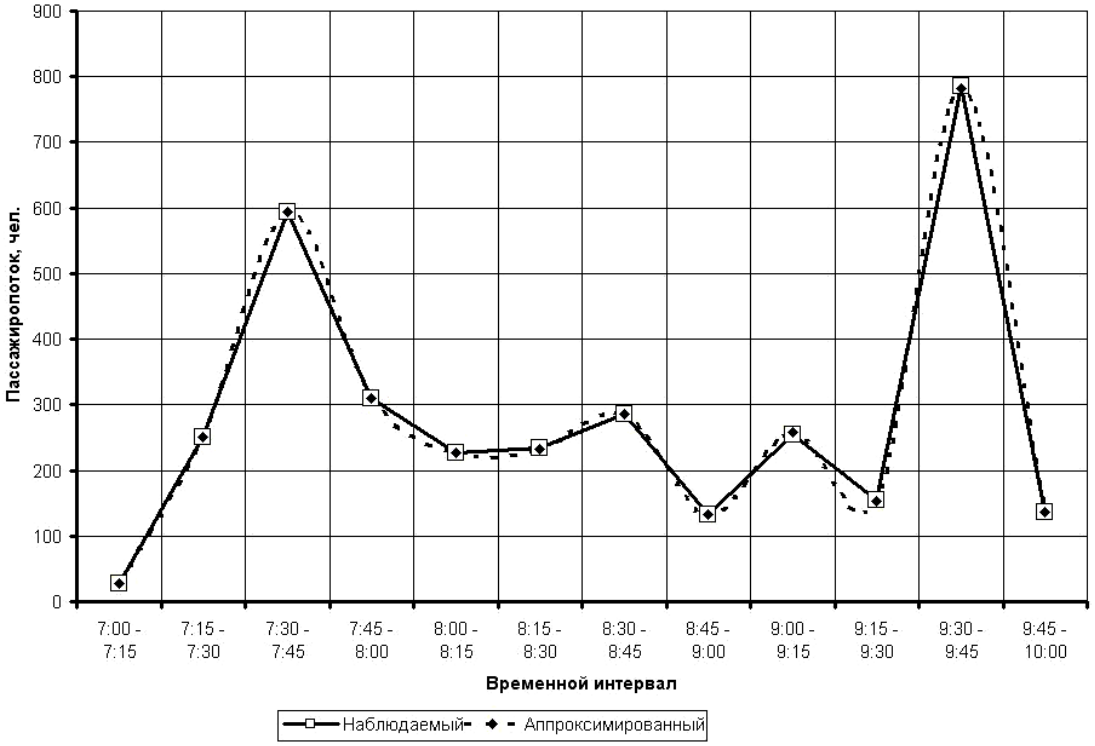


Рис. 2. Изменение пассажиропотока на контрольном сечении

7. Зависимость (1) имеет дифференциальный вид. Для составления расписания движения необходимо потребность населения в перевозках представить в интегральном виде.

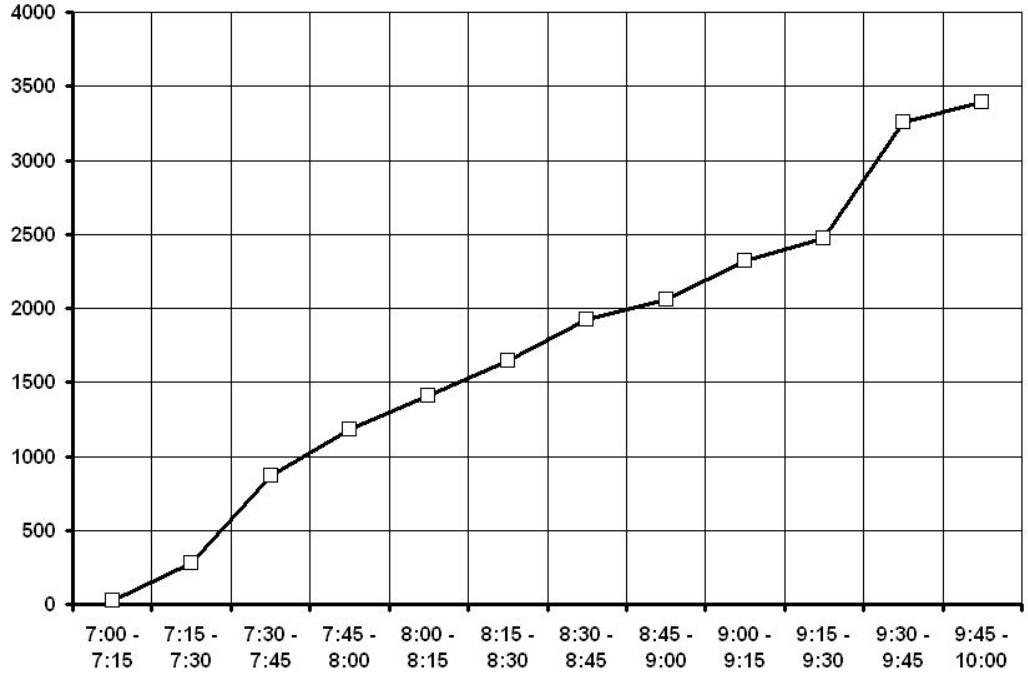


Рис. 3. Изменение пассажиропотока в интегральном виде

8. Для сечения с наибольшим значением пассажиропотока определяем интервалы движения. Условие назначения рейса – соответствие провозных возможностей потребностям населения в перевозках:

$$q = \int_{t_i}^{t_{i-1}} f_j(t), \tag{2}$$

где q – расчетная вместимость ТС на маршруте;

$\int_{t_i}^{t_{i-1}} f_j(t)$ – число пассажиров, которых необходимо перевезти на маршруте через j-е сечение 1 i-е ТС. Графически определение интервалов приведено на рис. 4.

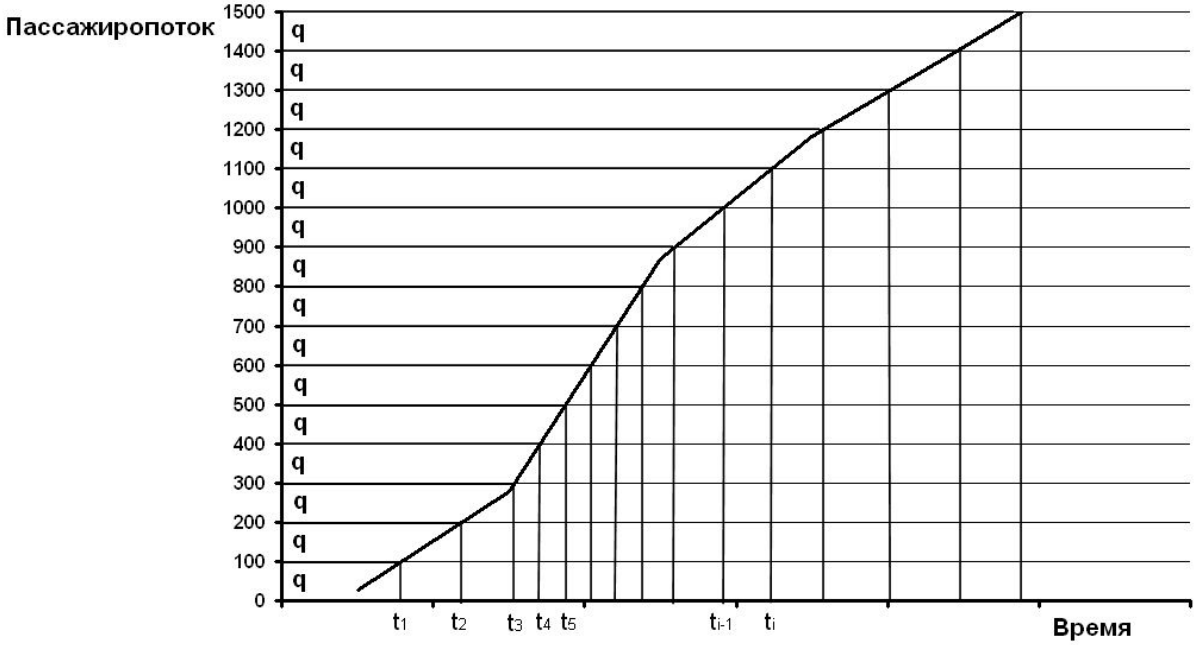


Рис. 4. Определение интервалов движения на j-том сечении

Интервал движения составит:

$$J_i = t_i - t_{i-1}, \tag{3}$$

где t_i - время прохождения сечения i-го рейса;

t_{i-1} - время прохождения сечения i-1 рейса.

Интервалы движения Ji будут не одинаковы (как видно из рис. 4), и будут полностью соответствовать потребностям населения в перевозках и их изменению в течение часа пик.

9. С учетом времени прохождения ТС между расчетными сечениями, началом и окончанием маршрута (п. 3) определяем начало и окончание каждого рейса, а также время прохождения контрольных сечений, не являющихся расчетным (п. 8).

10. На всех контрольных сечениях проверяется соответствие провозных возможностей потребностям в перевозке (формула (2)). В случае, если про-

возные возможности превышают или равны потребностям в перевозке – назначаем время рейса t_i .

В случае, если условие (2) на j-том сечении не выполняется – необходимо i-ый рейс назначать раньше на величину Δt_i .

Величина Δt_i рассчитывается из равенства

$$q = \int_{t_i + t_j}^{t_{i-1} + t_j - \Delta t_i} f_j(t), \tag{4}$$

Значение $t_i^{/} = t_i - \Delta t_i$ принимаем за начало i-го рейса.

11. Последующие рейсы на расчетном сечении буду изменены. Поэтому их необходимо пересчитать на выполнение условия (2) (пункт 8). Затем снова выполняется проверка по контрольным сечениям и, при необходимости, интервалы вновь сокращаются (пункт 10).

12. После того как на расчетном и всех контрольных сечениях выполняется условие соответствия провозных возможностей потребностям населения в перевозках (формула 2), решение на этом маршруте считается законченным.

Организация транспортного обслуживания населения по предлагаемой методике позволит перевезти всех пассажиров с заданным уровнем комфорта (по вместимости ТС) в течение всего расчетного периода с минимальными затратами с учетом реальных скоростей движения.

Описанная методика легко формализуется и представляется в виде программы для ЭВМ.

Литература

1. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: Справочное пособие. – М.:ИКЦ «Академкнига», 2006. – 413 с.: ил.

2. Гудков В.А., Миротин Л.Б. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1997. – 254 с.

3. Методика организации маршрутных автобусных перевозок по периодам суток: утв. зам. министра автомобильного транспорта РСФСР А.К.Васильев 8 апреля 1983 г. №АВ-14/543. – М.: Ротапринт ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1985. – 115с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ НОРМИРОВАНИЕМ АМОРТИЗАЦИОННЫХ ОТЧИСЛЕНИЙ

А.В. Востров, И.А. Ульяновский
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Сроки эффективной эксплуатации основных фондов должны определяться не ресурсом его агрегатов, а экономической целесообразностью использования объекта в целом.

Описать методику определения эффективных сроков эксплуатации, а значит и норм амортизационных отчислений при определении себестоимости для установления тарифов и цен на продукцию или услуги (не путать с себестоимостью для налогообложения прибыли) удобно на примере автомобильного транспорта.

Ответ на вопрос – сколько, например, должен эксплуатироваться автомобиль, принятая в целях налогообложения методика начисления амортизационных отчислений не дает.

До конца 90-х годов применялась следующая схема обновления основных фондов автомобильного транспорта (АТ) [1].

Сроки службы подвижного состава (ПС) определялись расчетным путем с учетом заложенного в расчете норм амортизации принципа, предусматривающего накопление за срок службы фонда амортизации, равного 90% первоначальной стоимости ПС (10% должны составлять остаточную стоимость автомобиля).

Норма амортизационных отчислений до 01.01.1991 г. составляла, например, для больших автобусов 0,18 % на 1000 км, что соответствует общему пробегу 555,6 тыс. км. Это соответствует пробегу до списания (с учетом списания при остаточной стоимости 10 %) ровно 500 тыс. км.

С 01.01.1991, после введения в действие [2], норма амортизационных отчислений на большие автобусы составляла 0,17 % на 1000 км, что соответствует пробегу 588,2 тыс. км, до списания 530 тыс. км.

После введения в действие 25 главы Налогового кодекса РФ с 01.01.2001 на большие автобусы установлен амортизационный срок службы от 85 до 120 месяцев (от 7,1 до 10 лет). Этот норматив слабо корреспондируется с закономерностью, в соответствии с которой техническое состояние ПС изменяется в соответствии с изменением наработки автомобиля. Именно это противоречие и заставило задаться вопросом, рассмотренным в данной работе.

Перечисленные выше способы определения сроков службы ПС АТ имеют свои недостатки.

1. Во всех случаях установлены единые для всех автотранспортных средств данного класса нормы по пробегу или возрасту до списания, в то время как все они имеют разные подобные показатели, заложенные при их производстве и реализуемые при эксплуатации. Согласно нашим расчетам возраст эффективной эксплуатации колеблется в пределах 40%, а эффективный пробег по моделям отличается более чем в 2 раза.

2. Сумма амортизационных отчислений одинакова для каждого года эксплуатации. Годовой пробег при этом снижается на 20-40%, соответственно амортизационные отчисления в расчете на 1 км пробега возрастают на те же 20-40%, что приводит к неоправданному занижению реальной себестоимости в расчете на натуральный показатель (руб./км, руб./час, руб./шт. и т.п.) в начальный период эксплуатации и завышению её в последние годы службы основных фондов.

3. Техническое состояние ПС ухудшается с его пробегом, в более тесной корреляционной связи, чем с возрастом, а предлагаемая Налоговым Кодексом методика привязана именно к сроку службы.

Для расчетов нами применяется другая методика, избавленная от выше изложенных недостатков.

Амортизационные отчисления для целей калькулирования себестоимости и определения тарифов должно определяться после расчетов сроков эффективной эксплуатации по следующей формуле:

$$\mathbf{АО} = \frac{\mathbf{Ц}^{\mathbf{нов}} - \mathbf{Ц}^{\mathbf{спис}}}{\mathbf{L}^{\mathbf{эф}}_{\mathbf{службы}}}, \text{ руб./км,} \qquad (1)$$

где **АО** – норма амортизационных отчислений, руб./км;

$\mathbf{Ц}^{\mathbf{нов}}$ – цена нового автомобиля, тыс. руб.;

$\mathbf{Ц}^{\mathbf{спис}}$ – цена автомобиля при списании, тыс.руб.;

$\mathbf{L}^{\mathbf{эф}}_{\mathbf{службы}}$ – эффективный срок службы автомобиля, тыс. км.

Технически выпустить на линию можно практически любой автомобиль, даже без нарушения требований безопасности дорожного движения по отношению к техническому состоянию транспортных средств. Но с точки зрения коммерческой эксплуатации важен вопрос – во что обойдется работа такого транспортного средства (ТС) на линии, какова будет наработка на отказ, каков реальный простой в ремонте и, соответственно, каковы будут его производительность и доход. Наступает момент, когда от старого автомобиля выгоднее отказаться и приобрести на его место новый.

Расчеты по определению эффективных сроков эксплуатации АТС произведены по результатам эксплуатации городских автобусов большого класса.

Затраты на приобретение автобусов существенны (от 62 500 $ за ЛиАЗ-5256.40 до 143 300 $ за МВ Т О 325 или даже около ¼ млн. $ за Scania).

В процессе эксплуатации ежегодные затраты на перевозку составляют около 60-80 тыс. $, что сопоставимо с ценой нового автобуса. Затраты эти с каждым годом растут. За 3-4 года эксплуатации широко использующихся в России автобусов 15-20 лет и старше потери составляют сумму эквивалентную стоимости нового дизельного автобуса [3].

Еще одна важнейшая особенность, возникающая при эксплуатации автомобиля – увеличение потока отказов, приводящее к увеличению простоев в ТО и Р и, как следствие, - снижение производительности. Ввиду важной социальной значимости городского пассажирского транспорта главный норматив системы – число выполненных рейсов. Этот норматив обеспечивается максимальными годовыми пробегами. Так как производительность ПС падает, то для обеспечения провозных возможностей парка ТС на заданном уровне необходимо вводить корректирующие коэффициенты необходимого числа автомобилей.

Таким образом общие затраты на работу парка ТС будут состоять из:

1. Затрат на эксплуатацию (при увеличении срока службы возрастают);
2. Затрат на приобретение (при увеличении срока службы снижаются);
3. Затрат на поддержание провозных возможностей на заданном уровне (при увеличении срока службы возрастают).

Графически изменение суммарных (на эксплуатацию, приобретение и поддержание провозных возможностей) затрат при разных сроках обновления ПС представлено на рис. 1.

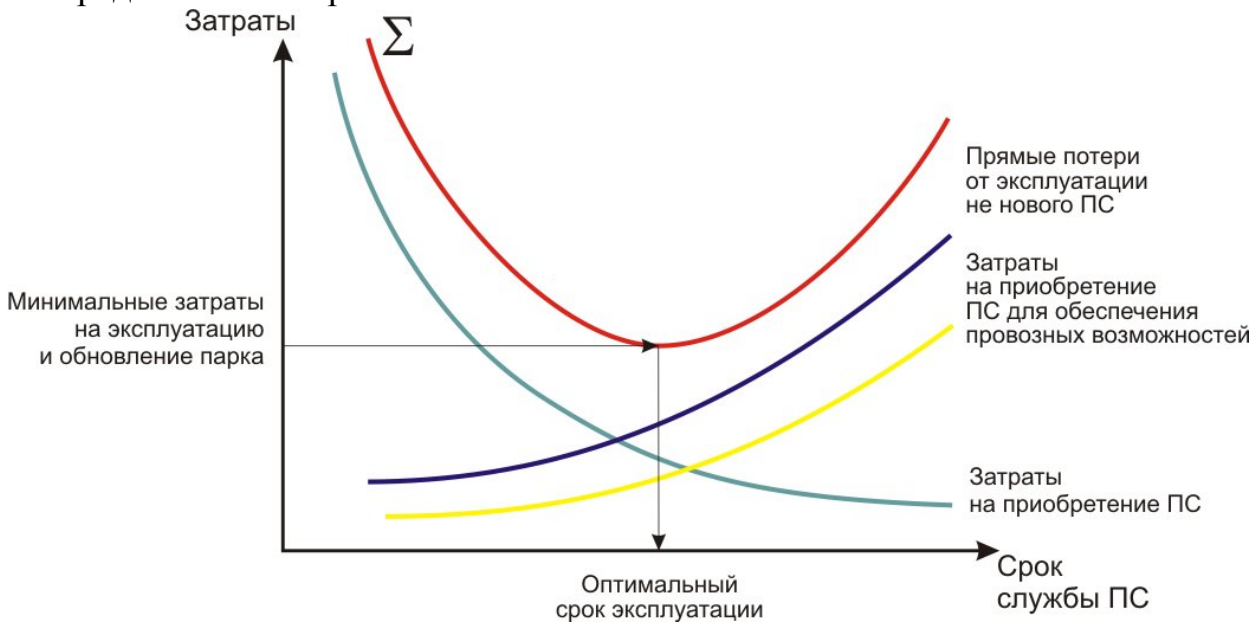


Рис. 1. Изменение затрат в зависимости от срока службы

Минимальные суммарные затраты на эксплуатацию, приобретение и поддержание провозных возможностей будут соответствовать оптимальному сроку службы.

Для проведения расчетов необходимо определить

1. Стоимость автобусов.
2. Изменение эксплуатационных затрат (без амортизации).

3. Изменение производительности АТС.

Сбор этих данных производился по результатам эксплуатации городских автобусов в ведущих ПАТП городов Москвы, Санкт-Петербурга, Омска, Вологды и Череповца. На конкретных предприятиях России, ввиду огромных территорий, специфики регионов и предприятий данные могут отличаться, от полученных нами. Но пропорции, полученные как результаты расчетов в данной работе, останутся справедливы для любого предприятия РФ.

Результат расчета сроков эффективной эксплуатации на примере автобуса ЛиАЗ-5256.40 представлен на рис. 2.

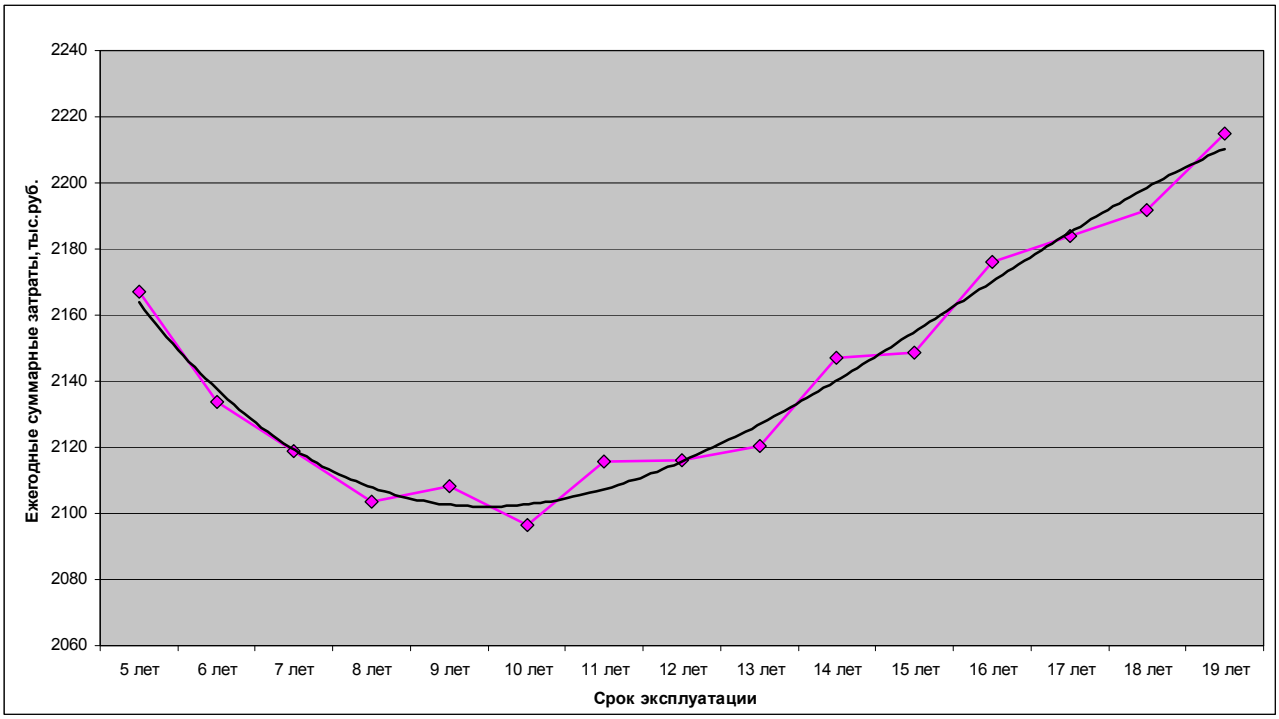


Рис. 2. Определение эффективного срока эксплуатации автобуса ЛиАЗ –5256.40

Результаты расчетов эффективных сроков службы городских автобусов сведены в таблице:

Таблица

Эффективные сроки службы городских автобусов в российских условиях

Марка автобуса	Эффективные сроки службы		Норма амортизационных отчислений, руб/км **
	лет	тыс. км*	
ЛиАЗ -5256.40	9,5	610	2,87
МВТ О325	13,5	1020	3,94
МВТ О345	12	905	4,44
Икарус -415	11	645	5,63
МАЗ-103	10	485	4,81
Волжанин 5270	9,5	405	5,47
Karosa B-732	12,5	705	4,46

* у каждой модели ТС свои годовые пробеги и их изменение в зависимости от года эксплуатации

** в ценах сбора данных за 2005 год

Выводы.

1. Эксплуатировать основные фонды за пределами расчетных сроков технически возможно, но экономически не оправдано.

2. Все основные фонды, даже разные модели и модификации одного производителя, имеют разные показатели эффективной эксплуатации, измеряющиеся как в годах, так и в наработке к этому сроку.

3. Расчет амортизационных отчислений при определении себестоимости для установления тарифов должен производиться исходя из сроков эффективной эксплуатации по формуле (1).

4. Для определения эффективных сроков эксплуатации по отличным от автомобильного транспорта объектам основных фондов в расчеты нужно вводить актуальные для данного объекта факторы (рис. 1), влияющие на изменение затрат, например, моральный износ.

Литература

1. Положение о порядке начисления амортизационных отчислений по основным фондам в народном хозяйстве (Утверждено утв. Госпланом СССР, Минфином СССР, Госбанком СССР, Госкомцен СССР, Госкомстатом СССР и Госстроем СССР 29 декабря 1990 г. N ВГ-21-Д/144/17-24/4-73) //Справочно-правовая система ГАРАНТ/НПП «Гарант-Сервис» 1990-2001.

2. Постановление Совета Министров СССР от 22.10.90 №1072 «О единых нормах амортизационных отчисление на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР»//Справочно-правовая система ГАРАНТ/НПП «Гарант-Сервис» 1990-2001.

3. Дажин В.Г. Рынок и пассажирский общественный транспорт. – Автодром – КС. – 2001. – 16 июня.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ МОЩНОСТИ, НЕОБХОДИМОЙ ТРАНСПОРТНОМУ СРЕДСТВУ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

А.В. Гуляев, С.П. Силинский

Научный руководитель ***В.А. Раков****, канд. техн. наук*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Определение мощности автомобиля в стендовых условиях не представляет сложностей, однако ее замер в условиях эксплуатации сопряжен с определенными трудностями. В первую очередь это связано с необходимостью измерения скорости вращения коленчатого вала ДВС и измерения крутящего момента на его валу.

Известен способ вычисления крутящего момента на выходном валу двигателя или трансмиссии с помощью встраиваемого деформируемого измери-

тельного элемента. Основным его недостатком является сложность подготовки, организации проведения измерений [1].

Также известен способ определения, топливной экономичности двигателя внутреннего сгорания, заключающийся в определении энергетического КПД двигателя, путём сравнения его работы соответственно в эксплуатационных и стендовых условиях. В данном способе также определяется полезный расход топлива, что позволяет использовать его для определения полезной мощности ДВС транспортного средства за испытание. Недостаток данного способа связан с особенностями определения энергетического КПД, учитывающего только собственные потери двигателя, значение средней мощности, полученное с помощью этого способа, также будет являться индикаторным. Но в реальности внешние условия нагрузки заставляют ДВС работать в неэффективных режимах, близких к холостому ходу, или даже в режиме выбега [2].

Мощность двигателей современных легковых автомобилей составляет 80-100 кВт. Этого хватает, чтобы автомобиль двигался со скоростью 150-180 км/ч. Но в условиях городской езды скорость редко превышает 60 км/ч. Если произвести мощностной расчет, то для автомобиля массой 1500 кг для движения с постоянной скоростью 60 км/ч потребуется всего 4 кВт мощности. Возможно ли это, может вся она тратится на разгонную динамику в городском режиме движения?

Для определения средней мощности автомобиля в городском режиме движения был предложен способ определения потребной мощности транспортного средства в условиях эксплуатации, т.е. при изменяемом положении топливоподающего органа и моменте сопротивления на выходном валу двигателя.

Каждый двигатель имеет внешнюю скоростную характеристику (ВСХ), мощность. Если при 2 тыс. об/мин максимальная мощность по ВСХ составит 22 кВт, то можно утверждать что в период любого разгона при этих же оборотах она не превысит максимальное значение. Также известно, что существует и обратный режим, когда автомобиль движется накатом с включенной передачей. Скорость вращения коленчатого вала при этом может составить 2 тыс. об/мин, но потребляемая мощность будет равна нулю. Существуют и средние режимы движения при малой нагрузке, когда ДВС работает по частичной скоростной характеристике [3]. Остается узнать, когда автомобиль двигался с мощностью, приближенной к ВСХ, а когда накатом. Для этого фиксировались интервалы времени «Разгон» и «Торможение».

Условия проведения замеров по данной методике аналогичные по требованиям к другим методикам: двигатель автомобиля должен быть исправен и настроен в соответствии с рекомендациями завода изготовителя.

Измерения должны быть записаны при движении автомобиля в реальных условиях движения по таким параметрам как время поездки T, характеристика изменения частоты вращения вала двигателя за поездку $n = f(T)$, также

фиксируются периоды работы под нагрузкой с синхронизацией по времени. Отследить эти параметры достаточно просто, обороты двигателя измеряются с помощью электронного частотомера, через систему зажигания.

Преимущество данного способа состоит в том, что во время испытаний учитываются условия, влияющие на развиваемую двигателем мощность – это экономичность, внутренние механические потери, тепловые потери, т.е. энергетический КПД двигателя и эффективность его использования.

Способ применим к автомобилям с механической и автоматической коробкой передач, с дизельным или бензиновым двигателем, с известными внешними скоростными характеристиками. Особенностью является небольшое время подготовки, простота подключения и измерения, т.к. не вносится никаких изменений в конструкцию транспортного средства.

Данный способ был реализован на автомобиле Chevrolet Lacetti с двигателем 1,4 л.

Результаты измерений представлены на графике (рис. 1). При этом средняя скорость вращения коленчатого вала ДВС за испытание без учета нагрузок и накатов составили 1111,1 об/мин. После обработки результатов измерений в 604 точках из 874 был зафиксирован режим нагрузки, (рис. 2), а средняя скорость вращения коленчатого вала в этих точках составила 1606 об/мин, что соответствует 18,13 кВт по ВСХ (рис.3). В целом же, в привязке ко всему маршруту движения средняя мощность по ВСХ составила 5,6 кВт. Максимальная же скорость вращения вала ДВС зафиксирована на отметке 3290 об/мин, что соответствует максимальной мощности по ВСХ – 44 кВт.

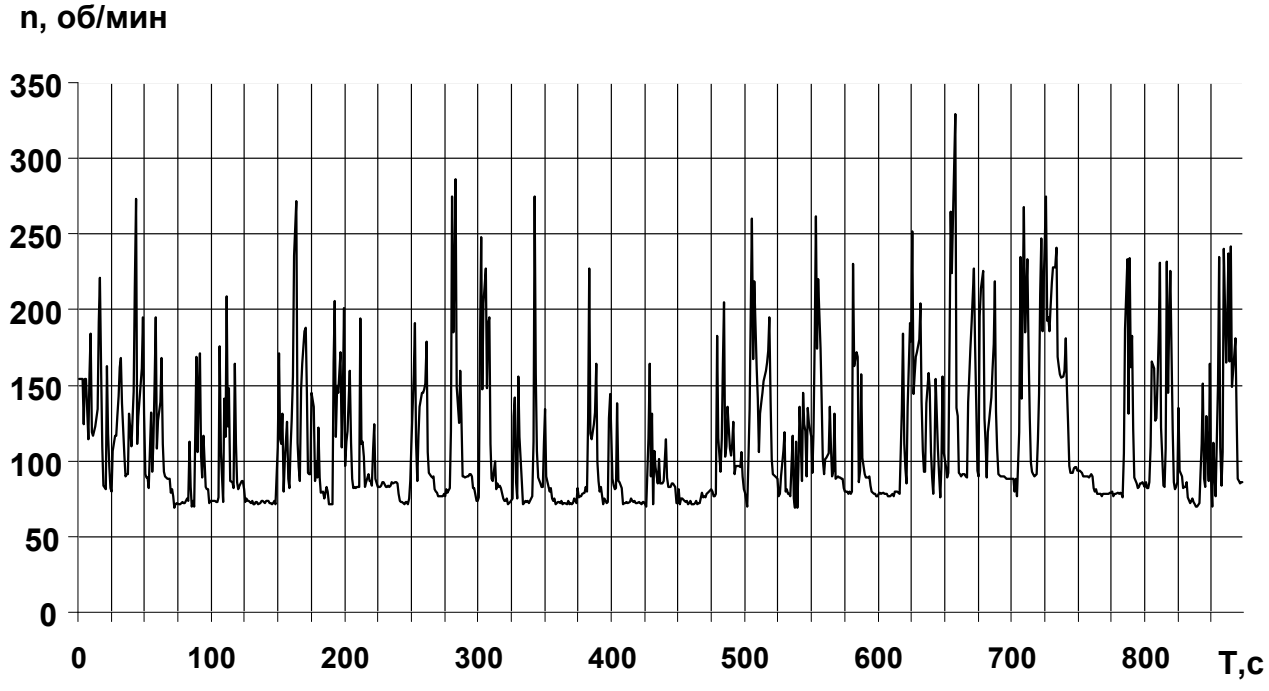


Рис. 1. График изменения средних оборотов за испытание

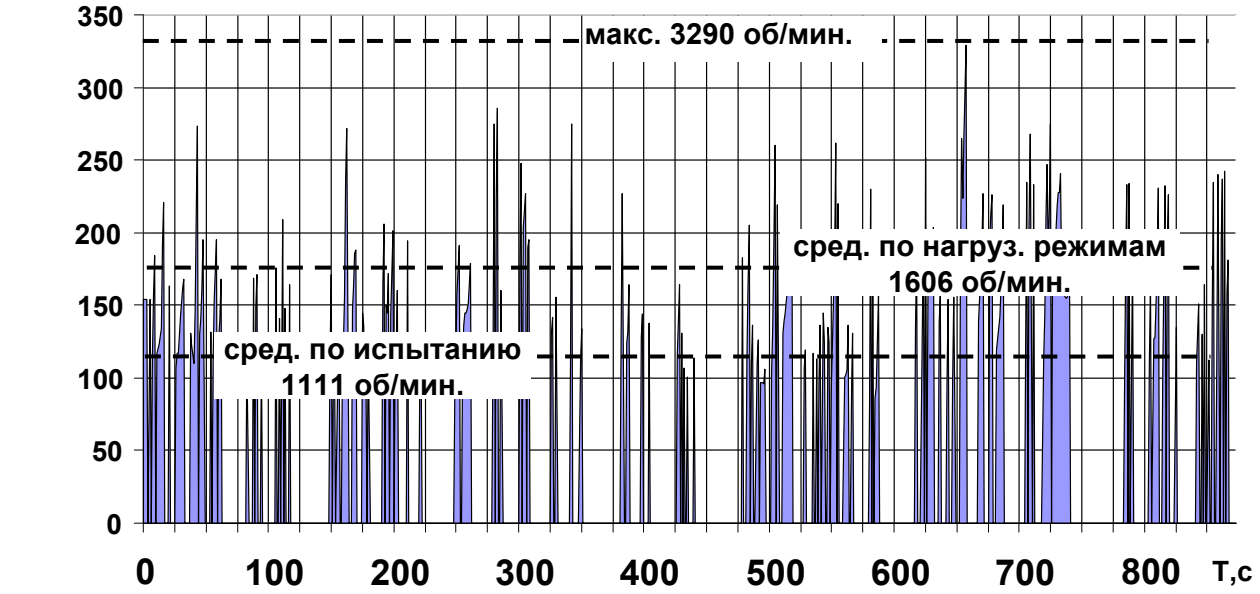


Рис. 2. График изменения средних оборотов за испытание только по интервалам нагрузки

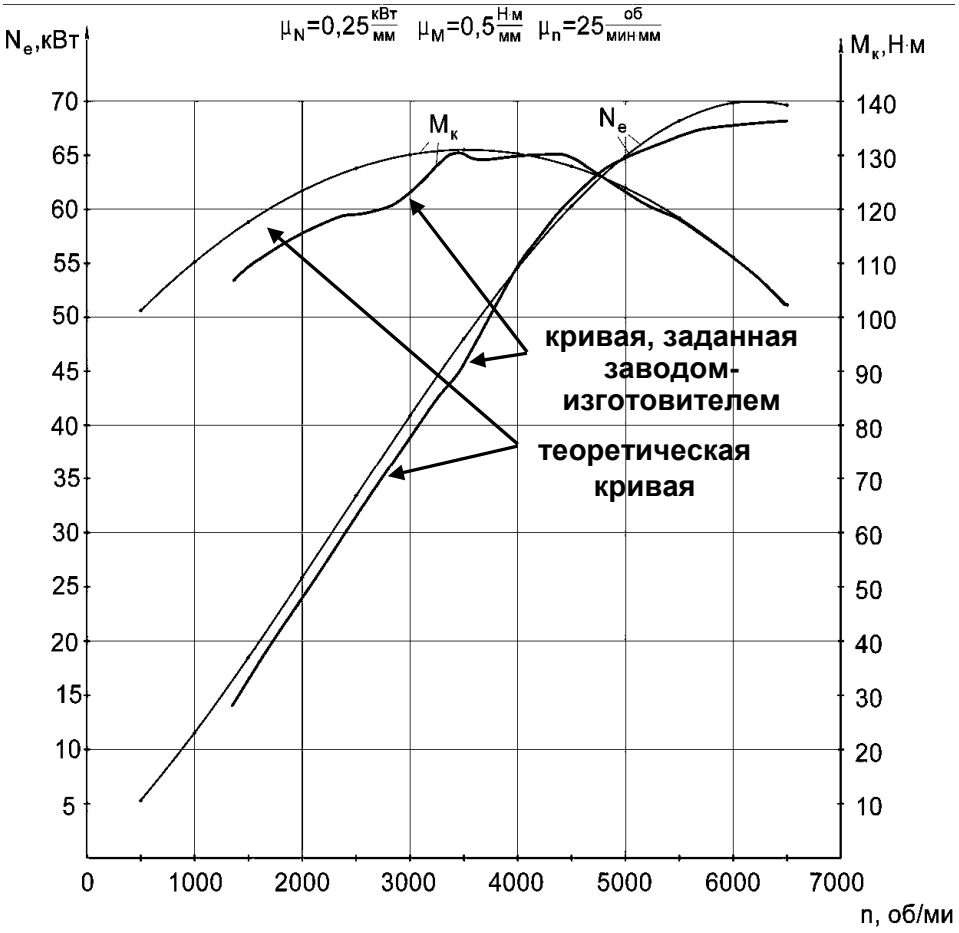


Рис. 3. Внешняя скоростная характеристика двигателя (теоретическая и экспериментальная)

Ключевым выводом проведенных испытаний является очень маленькая средняя потребляемая мощность ДВС 5,6 кВт, это примерно 10% от оптимального нагрузочного режима ДВС. В переводе на эффективность его работы при оптимальном нагрузочном режиме КПД приближается к 32%, а по результатам испытания он не превышает 10%.

Таким образом, использование ДВС для передвижения в городских условиях неэффективно. Путем решения проблемы может стать гибридная силовая установка, в которой ДВС работает только в оптимальном нагрузочном режиме, накапливая энергию в накопителе (рис. 4).

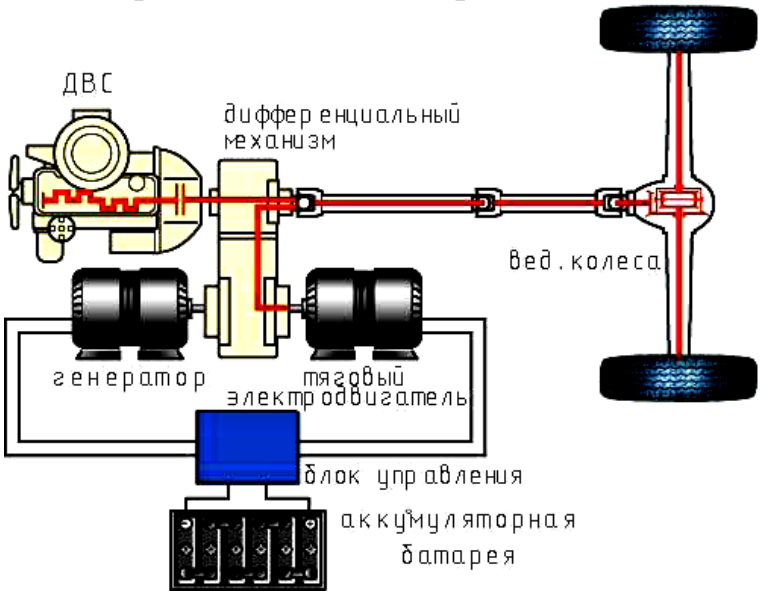


Рис. 4. Схема гибридной силовой установки смешанного типа, обеспечивающей наилучшую экономичность в городском режиме движения

Литература

1. Патент РФ № 2070649, МПК F02D 45/00, B 60 K 41/16. Опубл. в Б.И. № 35, 1996.

2. Патент РФ № 2338081, МПК F02D 17/04. Опубл. в Б.И. №31 10.11.2008.

3. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова.- М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛОТНОГО СЛОЯ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ

Д.А. Домрачев
Научный руководитель ***Н.Н. Синицын****, д-р техн. наук, профессор*
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

В настоящее время достаточно остро стоит вопрос о нехватке энергетических ресурсов. Данные о запасах энергоресурсов сильно разняться. Ориентировочно запасов таких остро востребованных ресурсов, как нефти и газа хватит на ближайшие 50 лет, угля – 400 - 450 лет. Сейчас всё большее внимание уделяется вторичным энергоресурсам. Значительный энергетический потенциал имеет растительная биомасса. К ней, в частности, относятся продукты переработки древесины, древесная кора. Утилизация отходов деревоперерабатывающей промышленности, таких как древесная стружка, щепа, «карандаши», не является неразрешимой задачей. Древесная кора же значительно хуже подвергается термической обработке, плохо горит ввиду её высокой влажности. Таким образом, необходимо изучить процесс сжигания древесной коры.

Предлагается методика определения конструктивных параметров плотного слоя биотоплива. Методика расчета прогрева пластины с учетом фазового перехода. Древесная кора, отдельная её фракция, рассматривается, как пластина. Сжигание коры ведется в плотном слое.

При расчете плотного слоя, в котором осуществляется нагрев материала в плотном фильтруемом слое исходными данными являются: агрегатная производительность, средняя начальная $T_{пл}^{нач}$ и конечная $T_{пл}^{кон}$ температуры материала, начальная температура газов $T_{Г}^{нач}$, дисперсный состав материала и его удельная поверхность $F_{пл}^{уд}$ (на единицу массы); порозность слоя $m_{п.с.}$

К числу управляющих параметров теплотехнического принципа плотного фильтрующего слоя относится размер куска материала $d_к$. Теплотехническая оптимизация плотного фильтрующего слоя по данному параметру сводится к определению оптимального значения $d_к^{опт}$, соответствующего минимальным удельным энергозатратам на процесс. С ростом d_k могут уменьшиться издержки на подготовку технологического материала, но одновременно вследствие роста высоты слоя может наблюдаться повышение аэродинамического сопротивления слоя и, как следствие, рост энергозатрат на дутьё. Уменьшение d_k создаёт более благоприятные условия для тепломассообмена в слое, но приводит к увеличению площади сечения и снижению высоты слоя, что может негативно сказаться на равномерности обработки материала, однородности качества.

Теплоэнергетическая оптимизация плотного слоя заключается в выборе таких значений его параметров, при которых обеспечивается снижение уровня удельной энергоемкости процесса.

Для оценки процессов, протекающих при прогреве древесного топлива, выполнены исследования на специально разработанной и изготовленной экспериментальной установке, позволяющей проводить комплексный анализ процессов тепло- и массообмена для одиночных частиц при условиях близких к условиям реальности в плотном слое. Одиночные частицы имеют размер $40 \times 40 \times 4$ мм, расположены горизонтально в реакционной камере.

Уравнение теплопроводности для расчета теплоотдачи от пластины к воздуху [1] имеет вид:

$$\overline{Nu} = 0{,}478 \cdot Gr_l^{1/4}$$

в котором $Gr_l = gl^3 \cdot \beta(T_{ст} - T_{ж}) / \nu^2$ ($T_{ст} = const$), g = 9,81 м/с^2; l - высота пластины, м; $\beta = 1/T_{ж}$, $T_{ст}$ и $T_{ж}$ - температуры стенки и воздуха.

ν - коэффициент кинематической вязкости $м^2/с$, Для расчета теплоотдачи к воздуху от горизонтальной пластины существует формула [1]

$$\overline{Nu} = 0{,}24 \cdot Gr_l^{1/4},$$

в которой $Gr_l = \frac{gl^3}{\nu^2} \cdot \frac{T_{ст} - T_{ж}}{T_{ж}}$; $\overline{Nu} = \frac{\alpha l}{\lambda}$ - среднее число Нюссельта; l - длина пластины; λ - коэффициент теплопроводности воздуха.

Формула справедлива при $10^5 < Gr_l < 10^9$, теплоотражающая поверхность обращена вниз. В том случае, когда нагретая (теплоотдающая) поверхность обращена вверх, применяется формула [1]

$$\overline{Nu} = 0{,}54 Ra^{1/4} \qquad (1)$$

справедливая для квадратной пластины при $10^5 < Ra < 2 \cdot 10^{-7}$,

В этих формулах физические свойства среды отнесены к температуре $0{,}5(T_{ст} + T_{ж})$.

В формуле (1) за характерный размер принята сторона квадрата. Эту формулу можно применять и в том случае, когда холодная сторона пластины обращена вниз и $T_{ст} < T_{ж}$.

Для практических расчетов радиационно-конвективного теплообмена используют принципы независимости конвективного и лучистого потоков друг от друга, что оказывается достаточно верным, если один из них значительно меньше другого. Так, для расчета теплоотдачи излучением, к коэффициенту теплопроводности конвекцией, подсчитанному обычным образом, то есть без учёта влияния радиационного теплообмена на профили скорости и температуры рекомендуется прибавлять условный коэффициент теплоотдачи

излучением $\alpha_л$ так, что коэффициент теплоотдачи от газов к наружной поверхности выравнивается сам:

$$\alpha = \alpha_к + \alpha_л$$

$\alpha_л$ - условный коэффициент теплоотдачи излучением, полученный делением лучистого потока на разность температур между материалом и поверхностью реакционной камеры

$$\alpha_л = q_л /(T_{ст} - T_м),$$

где $q_л$ - лучистый поток, $T_{ст}$ и $T_м$ температура стенки реакционной камеры и материала.

$$q_л = \varepsilon_м \cdot 5{,}67[(\frac{T_{ст}}{100})^4 - (\frac{T_м}{100})^4],$$

где $\varepsilon_м$ - степень черноты материала.

Время прогрева материала при $Bi = \overline{\alpha} \cdot d_k / \lambda_м$<0,1 можно определить из уравнения теплопередачи $m_k \cdot \Delta q_м = F_k \overline{q}_{пов} \cdot \Delta\tau_м$,

где m_k - масса куска материала;

$\Delta q_м$ - удельное теплопотребление материала; F_k - площадь поверхности куска;

$\overline{q}_{пов}$ - средняя плотность теплового потока к поверхности куска за время $\Delta\tau_м$.

Время заданной тепловой обработки материала в слое при $Bi = \overline{\alpha} \cdot d_k / \lambda_м$>0,1 можно определить из решения дифференциального уравнения теплопроводности в виде [2]

$$c_{эф}\rho_м \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_м \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \qquad (2)$$

Численные решения задачи Стефана включают в себя определение границы фазового перехода воды из жидкого состояния в твердое и полей температуры до фронта испарения влаги и после фронта испарения влаги.

Рассмотрим математическую модель одномерного симметричного процесса прогрева, которая включает сквозное уравнение теплопроводности, общее для зоны, содержащей влагу и зону без жидкой фазы (2).

Для выражения (2),

интегрируемого в области $0 \le x \le S$, $0 \le \tau \le \tau_к$

начальные условия $T(x, \tau)=T_0$;

граничные условия:

при x = 0 $\lambda \dfrac{\partial T(0,\tau)}{\partial x} = 0;$

при x = S $-\lambda \dfrac{\partial T(S,\tau)}{\partial x} = \alpha[T_{ср} - T(S,\tau)],$

где ρ - плотность материала; α - коэффициент теплоотдачи; S – половина толщины частицы; $T_{ср}$- температура среды; T_0- начальная температура материала; λ - коэффициент теплопроводности.

При моделировании фазового перехода влаги источник теплоты фазового перехода, действующий на фронте испарения влаги (x=S, T= T_n) «размазывают» по фиктивному интервалу температур $\Delta T = T_л - T_c$ [2]. При этом выделение теплоты в интервале ΔT учитывают с помощью эффективной теплоёмкости $c_{эф}$, задаваемой выражением:

$$C_{эф} \begin{cases} C(T) = C_{тв}, T \prec T_л \\ C(T) = \dfrac{C_{тв} + C_ж}{2} + \dfrac{L \cdot g}{T_л - T_c}, T_c \le T \le T_л \\ C(T) = C_ж, T \succ T_ж \end{cases},$$

где $T_л = T_n + \dfrac{\Delta T}{2}$, $T_c = T_n - \dfrac{\Delta T}{2}$ - фиктивные температуры начала и окончания испарения влаги в элементарном объёме, L - удельная теплота испарения влаги, g – доля влаги; $C_{тв}$ - теплоёмкость сухого материала, $C_ж$ - теплоемкость влажного материала. На рис.1 показана схема процесса испарения влаги из половины сечения плоской частицы коры.

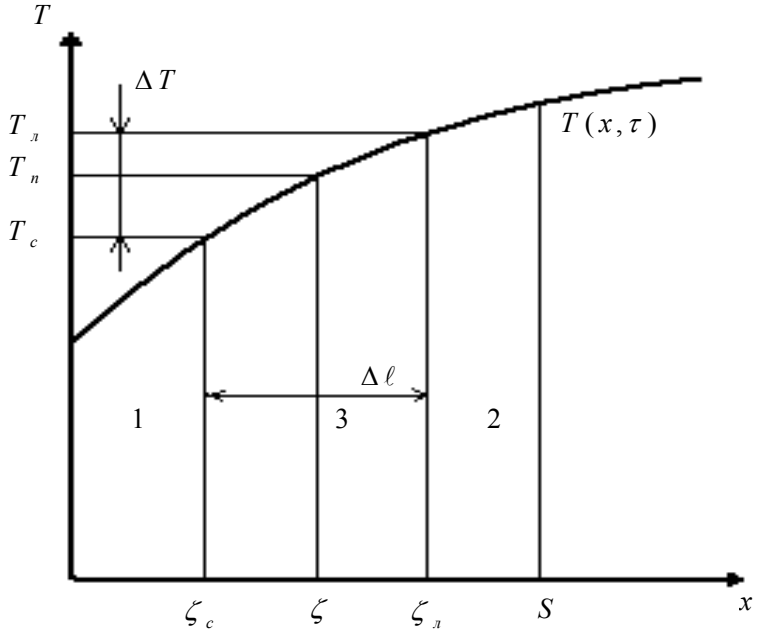


Рис. 1

Расчетная область: 1 – влажная зона; 2-сухая зона; 3-двухфазная зона; $\Delta\ell$ - ширина двухфазной зоны; $\zeta_c, \zeta, \zeta_л$ - координаты изотерм начала испарения влаги, температура испарения, конца испарения влаги.

Система уравнений в общем случае может быть решена только численным методом. При использовании метода конечных разностей значение температур находят в узлах расчетной области, координаты которых находят по формуле: $x_i = (i-1)\Delta x$, где i - номера узлов сетки $i,...,N$; N - количество узлов сетки внутри расчетной области.

Предложенная математическая модель позволяет рассматривать поле температур и границу фазового перехода влаги для частиц из коры хвойных и лиственных пород деревьев.

Для адаптации математической модели были проведены исследования на специально созданной экспериментальной установке. Установка включает в себя муфельную печь, весы высокой точности Ohaus adventure, Швейцария, измеритель-регулятор температуры ТРМ1А, термопару ТХК.

Схема опытной установки приведена на рисунке 2.

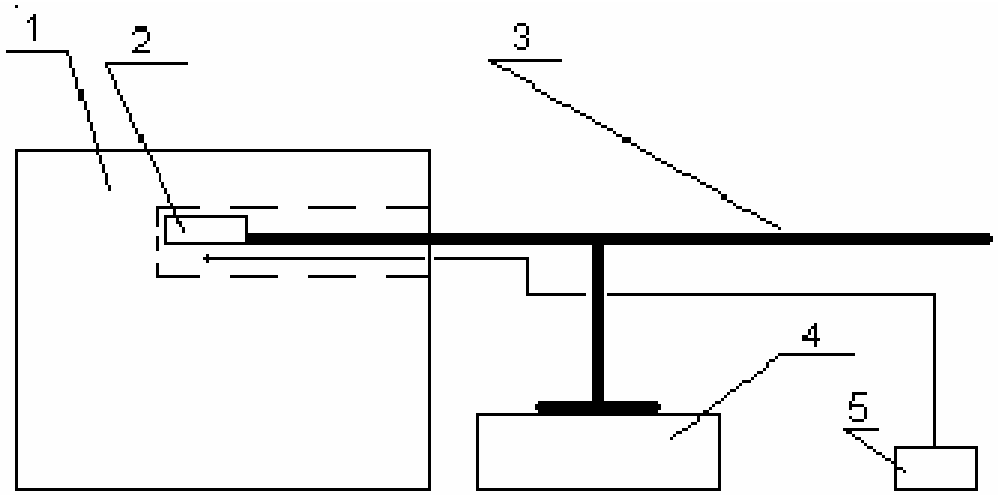


Рис. 2. Установка для мониторинга изменения массы исследуемого образца: 1-печь, 2-исследуемый образец (кора ели, берёзы), 3 – устройство для помещения образца в печь, 4 – весы высокой точности, 5 – измеритель-регулятор температуры ТРМ1А в комплекте с термопарой типа ТХК

В ходе опыта в печь 1 помещается устройство 3 с исследуемым образцом 2, размером 40х40 мм. Толщина образца колеблется от 3,5 до 4 мм. Изменение массы фиксируется на весах высокой точности 4.

Измерителем-регулятором температуры ТРМ1А в комплекте с термопарой типа ТХК измерялась температура в печи.

Исследования проводятся при различной температуре. Обработка результатов проведена в программе Microsoft Excel. Ниже приведены результаты для коры ели при температуре 350 ºС, представленные в табличной и графической форме.

Таблица

Результаты прогрева коры ели при 350 °С

Эксперимент №1			Эксперимент №2		
	Толщина, мм	4		Толщина, мм	4
Время, мин	Масса, г	Комментарий	Время, мин	Масса, г	Комментарий
0,0	5,583		0,0	6,021	
0,5	5,261		0,5	5,747	
1,0	4,986		1,0	5,445	
1,5	4,812		1,5	5,212	
2,0	4,562		2,0	5,004	
2,5	4,331		2,5	4,808	
3,0	4,114		3,0	4,588	
3,5	3,96		3,5	4,382	
4,0	3,692		4,0	4,165	
4,5	3,558		4,5	4,049	
5,0	3,442		5,0	3,84	
5,5	3,242		5,5	3,722	
6,0	3,044		6,0	3,508	
6,5	2,98	д1	6,5	3,385	
7,0	2,799	д2	7,0	3,221	
7,5	2,663	д2	7,5	3,092	д1
8,0	2,522	д3	8,0	2,925	д1
8,5	2,388	д3	8,5	2,838	д3
9,0	2,212	д4	9,0	2,747	д3
9,5	2,064	д5	9,5	2,644	д3
10,0	1,87	д5	10,0	2,521	д3
10,5	1,65	д5	10,5	2,395	д4
11,0	1,465	д3	11,0	2,294	д4
11,5	1,402	д2	11,5	2,172	д4
12,0	1,389	нет	12,0	2,097	д4
12,5	1,382		12,5	1,869	д5
13,0	1,345		13,0	1,768	д5
13,5	1,33		13,5	1,594	д4
14,0	1,302		14,0	1,489	д3
14,5	1,265		14,5	1,43	нет
15,0	1,236		15,0	1,395	
15,5	1,201		15,5	1,388	
16,0	1,149		16,0	1,377	

Интенсивность выхода дыма обозначена д1-д5. Начало появления дыма отмечено выделением ячейки таблицы.

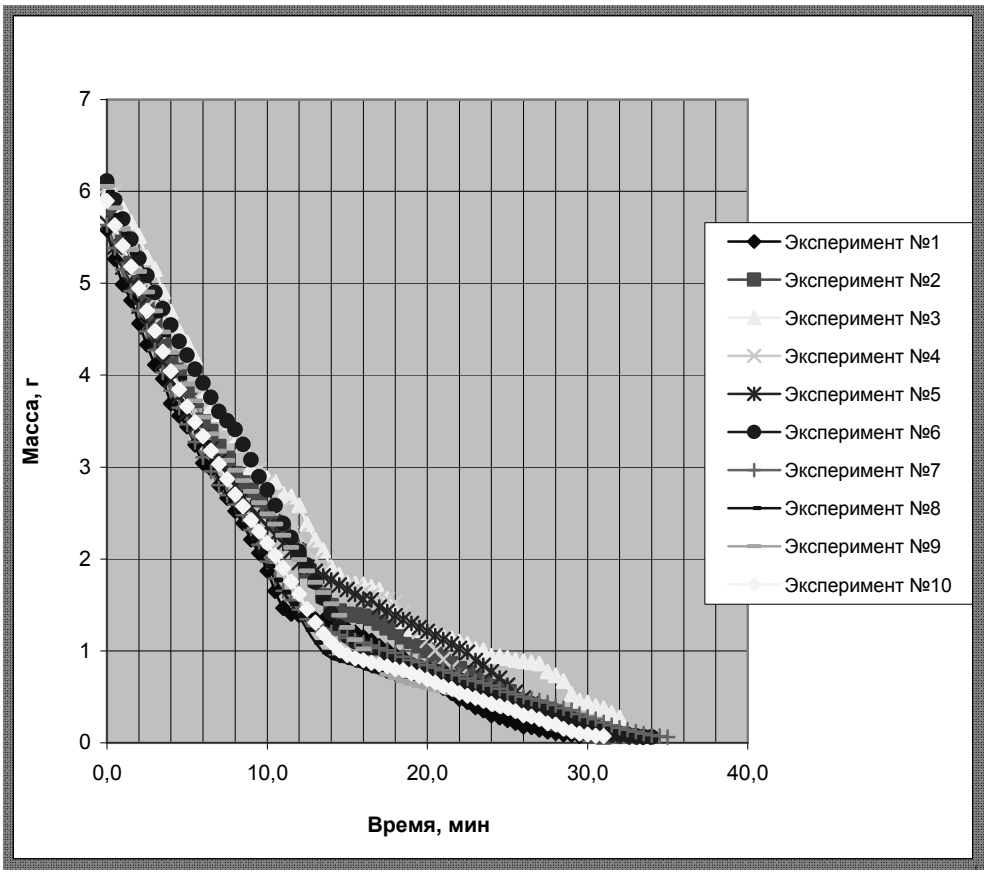


Рис. 3. Зависимость изменения массы образца от времени при 350°С

При известном значении влажности образца, исходя из экспериментальных данных, определяется время выхода влаги (время сушки), а также - время выхода летучих веществ.

Таким образом, представленная математическая модель адаптирована к реальным условиям посредством экспериментальных данных.

Литература

1. Теория тепломассообмена: учебник для технических университетов и вузов. С.И. Иванов, И.А. Кожинов, В.И. Кофянов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 683 с.

2. Тепловые процессы при непрерывном литье стали / Ю.А. Самойлович, С.А. Крулевецкий, В.А. Горяинов, З.К. Кабаков. – М.: Металлургия, 1982. – 152 с.

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ОТСЕЧКИ ШАГА НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Е.А. Иванова
Научный руководитель ***А.С. Степанов****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Выявление дефектов шлифования есть первичная задача контроля качества в производстве.

В настоящее время существует два основных метода измерений текстуры поверхности: "опорные" и "безопорные". Оба являются профильными. Применение указанных методов позволяет решать многочисленные задачи, возникающие в области измерений параметров шероховатости поверхности. У опорных приборов щуп движется вверх и вниз относительно опоры, прикрепленной к основанию датчика, который перемещается вдоль профиля детали. Так как опора следует основному профилю детали, щуп регистрирует только высокочастотные характеристики неровностей поверхности или другими словами, следы инструмента. Таким образом, опорные приборы предназначены только для измерения параметров шероховатости.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине. Измеряется в микрометрах (мкм). Шероховатость относится к микрогеометрии твёрдого тела и определяет его важнейшие эксплуатационные свойства, прежде всего, износостойкость от истирания, прочность, плотность (герметичность) соединений, химическую стойкость и внешний вид [1].

Шероховатость поверхности можно определить приблизительно визуальным методом-сравнением с образцами шероховатости, а также при помощи ряда оптических и электромеханических приборов. Общее устройство оптических приборов дано в методических указаниях [6].

Для определения шероховатости поверхности высоких классов шероховатости служат приборы профилографы-профилометры завода "Калибр" моделей 201, 251, 253, 278 и других моделей. Оценка шероховатости на этих приборах производятся по критерию R_a - если прибор работает в режиме "ПП" - показывающего прибора, и по критерию R_z; R_{max} и всем выше перечисленным, если прибор работает в режиме "ЗП" записывающего прибора. Метод измерения абсолютный, прямой, контактный, относительный. Относительная погрешность измерений по показывающему прибору +-1%, погрешность измерений в режиме "записывающий прибор" составляет +-3% [2].

Отсечка шага является инструментальным эквивалентом метрологической базовой длины.

Базовая длина является физической длиной поверхности. Это номинальный интервал, внутри которого определяется единичное значение параметра.

Отсечка шага является номинальным параметром, выраженным в мм и характеризующим длину волны электрического или цифрового фильтров, которая ослабляется, чтобы выделить профиль шероховатости (или волнистости).

Отсечка шага является синонимом базовой длины, в пределах которой собираются данные для расчета параметров шероховатости. Для некоторых поверхностей, чем больше отсечка шага, тем больше измеренная высота неровностей. Отсечка шага должна быть достаточно большой, чтобы набрать необходимый объем данных для измерения, но не слишком длинной, чтобы не попали в шероховатость элементы формы и волнистость поверхности. Правильно выбранная отсечка шага обычно включает от 10 до 15 элементов следов инструмента или шагов неровностей. Для большинства обработанных поверхностей значения отсечки шага выбирают из ряда 0,08; 0,25, 0,8, 2,5 мм при измерении шероховатости. Нельзя путать отсечку шага с длиной измерений, которая является полным расстоянием, которую проходит щуп во время измерения. В некоторых цеховых приборах, например Pocket Surf, применяют только одну отсечку шага 0,8 мм. Это упрощает процедуру измерения, т.к. это значение отсечки шага – самое распространённое для механически обработанных поверхностей.

Стандарт ИСО 4288 устанавливает стандартную длину оценки, состоящую из пяти отсечек шага. Однако может быть использовано и меньшее число отсечек шага, если измеряемая поверхность слишком мала.

Для стабильных, устойчивых технологических процессов можно допустить применять число отсечек шага меньше пяти, но в отчете о результатах измерения обязательно надо указывать число отсечек шага, если оно меньше пяти.

По ГОСТ 27964-88 отсечка шага – длина волны, численно равная базовой длине и условно принимаемая в качестве верхней границы пропускания профилометра.

Указанная верхняя граница условно отделяет номинально пропускаемые от номинально подавляемых компонентов спектра профиля.

На рис. 1 показан эффект влияния выбора отсечки шага на результат измерения: чем меньше отсечка шага, тем меньше значение Ra, если отсечка шага соизмерима с преобладающими шагам неровностей.

На рис. 2 продемонстрирован эффект выбора отсечки шага, либо мы измеряем шероховатость, либо шероховатость + волнистость.

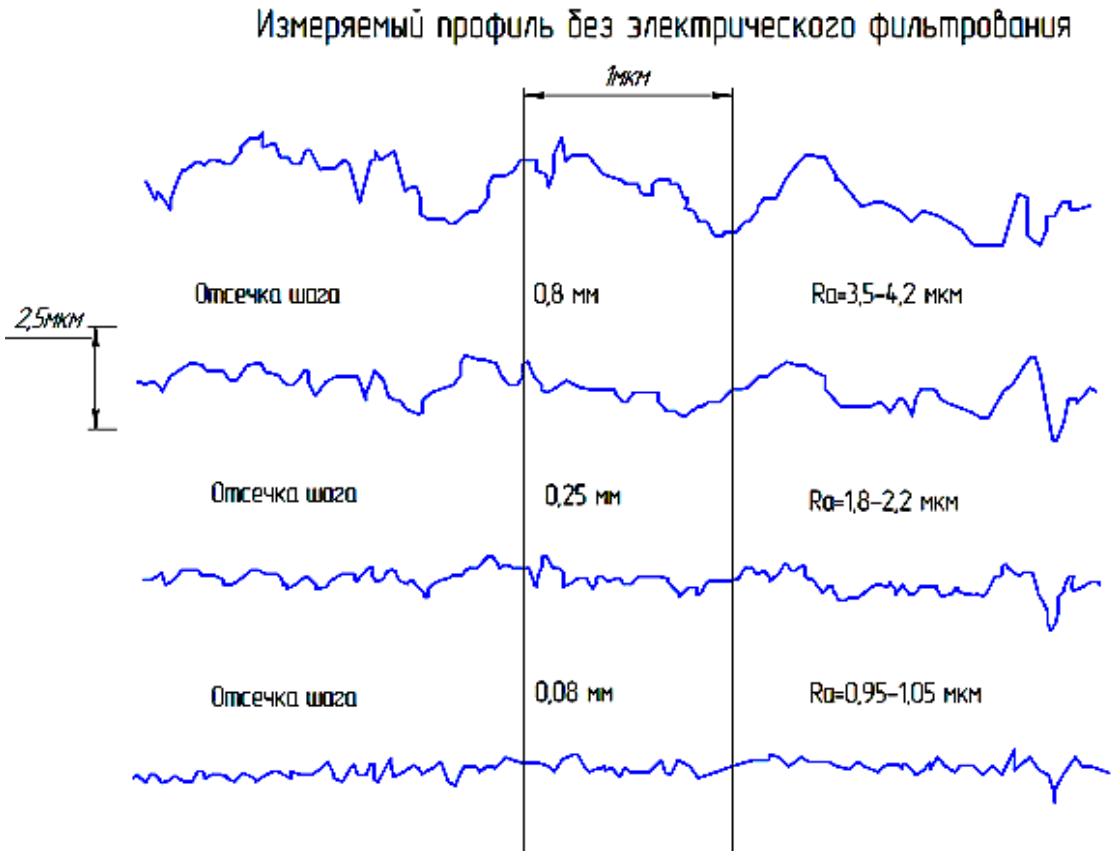


Рис. 1. Влияние выбранной отсечка шага на параметр Ra

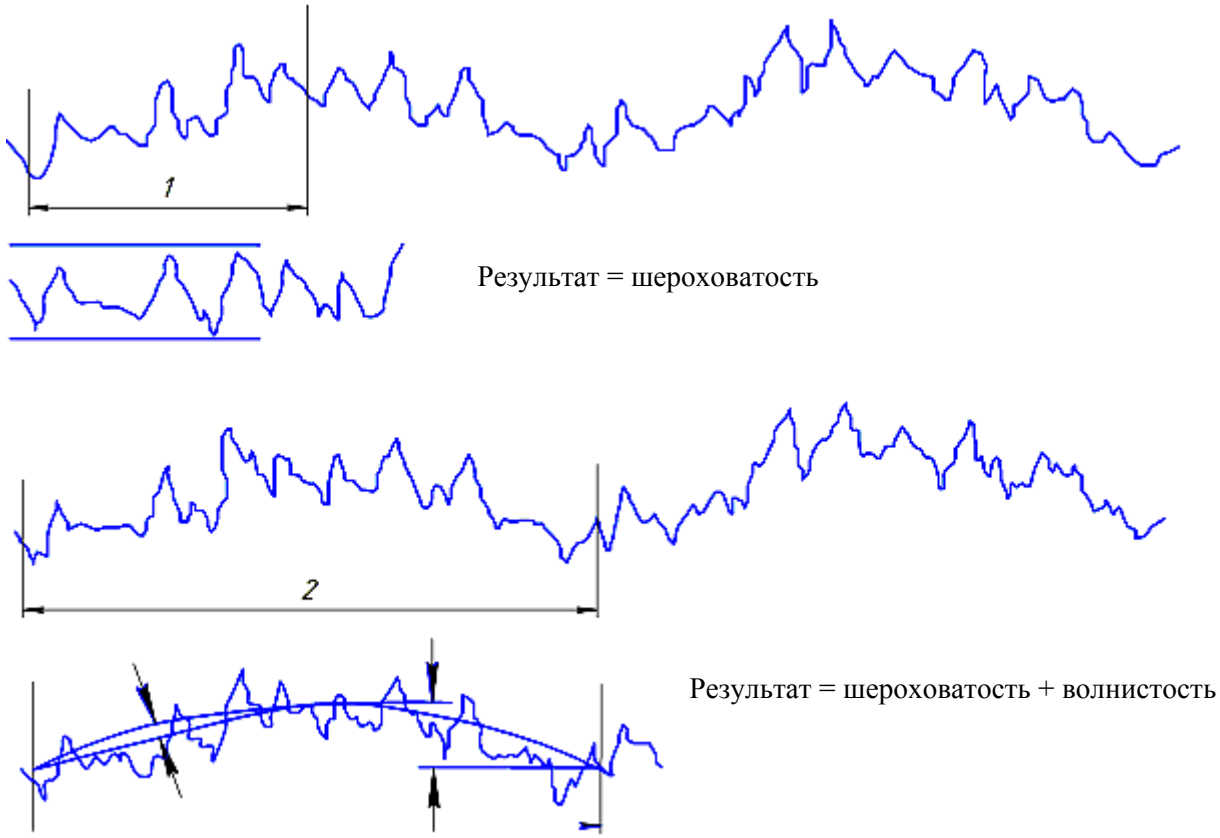


Рис. 2. Влияние выбора отсечки шага на параметр Ra при наличии значительной волнистости

Из этих рисунков видно, как важно правильно выбрать отсечку шага.

Если на чертеже указана базовая длина, то отсечка шага λc выбирается равной базовой длине. Там, где не указана базовая длина, или поверхность измеряется впервые, необходимо следовать следующим правилам.

Выбор отсечки шага

Для поверхностей, имеющих случайный профиль, характерна большая неоднородность. Это поверхности, полученные финишными методами обработки (шлифование, полирование, доводка и т.д.).

Для таких поверхностей должна соблюдаться следующая процедура измерений.

1. Оцениваем значение параметра шероховатости Ra или Rz неизвестной поверхности с помощью образцов шероховатости сравнения или графического анализа профиля.

2. Таблицы 1 и 2 приводят значение базовой длины для интервалов значений Ra, Rz согласно ИСО 4288.1996. Выбираем по таблицам базовую длину в соответствии с оценкой значений параметра, полученного в п. 1.

3. Используя измерительный прибор, проводим измерение выбранного параметра, с использованием базовой длины, определенной в п. 2.

Таблица 1

Ra, мкм	Базовая длина *lr*, мм	Длина оценки *ln*, мм
(0,006)<Rz Rmax≤0,02	0,08	0,4
0,02<Rz Rmax≤0,1	0,25	1,25
0,1<Rz Rmax≤2	0,08	4
2<Rz Rmax≤10	2,5	12,5
10<Rz Rmax≤80	8	40

Таблица 2

Rz, Rmax, мкм	Базовая длина *lr*, мм	Длина оценки *ln*, мм
(0,025)<Rz Rmax≤0,1	0,08	0,4
0,1<Rz Rmax≤0,5	0,25	1,25
0,5<Rz Rmax≤10	0,08	4
10<Rz Rmax≤50	2,5	12,5
50<Rz Rmax≤200	8	40

4. Сравниваем параметр, измеренный в п. 3 с интервалом значений, данных в табл. 1 и 2 для использованной базовой длины. Если значение измеренного параметра лежит в интервале выбранной базовой длины, то переходим к п 7.

5. Если значение выбранного параметра лежит за пределами интервала значений выбранной базовой длины, выбираем большую или меньшую базовую длину, в соответствии с табл. 1 и 2.

6. Проводим новое измерение параметра. Значение параметра теперь должно лежать в интервале соответствующей базовой длины табл. 1 или 2. Если это не случилось, то возвращаемся к п. 5.

7. Выполняем измерение параметра шероховатости на следующей меньшей базовой длине.

8. Проверяем, соответствует ли сочетание значение параметра шероховатости и базовой длины из п. 7 тому, что указано в табл.1 и 2.

9. Если только предварительное измерение, проведенное по п. 3. или окончательное по п. 6 (и случае если п. 5 и 6 были использованы) обеспечивает соответствие значений параметра и базовой длины по табл. 1 или 2 (в то время как п. 7 обеспечивает несоответствующее сочетание), тогда оба выбора базовой длины и значение параметра по п. 3 или 6 являются соответственно корректными.

10. Если измерение в п. 7 также обеспечивает соответствующее сочетание значения параметра и базовой длины, как указано в таблицах 1 или 2, тогда эта более короткая базовая длина и значение соответствующего параметра являются корректными.

11. Таким образом, корректная базовая длина представлена в п. 9 и п. 10. Презентативные измерения выбранного параметра должны выполняться, используя именно эту отсечку шага (базовую длину).

Рекомендуется использовать пять отсечек шага, и только в особых условиях, когда длина измерения ограничена, применяется от 1 до 4 отсечек шага. Это должно быть отмечено при представлении результатов измерений.

Литература

1. Справочник конструктора [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Режим доступа: http://sprav-constr.ru/html/tom1/pages/chapter3/ckm31.html

2. Бриш В.Н., Степанов А.С., Старостин А.В. Метрология, стандартизация, сертификация. Технические измерения и приборы: методические указания к выполнению лабораторной работы «Измерение шероховатости поверхности на приборах с графической регистрацией профиля с обработкой профилограммы». – Вологда: ВоГТУ, 2010. – 36 с.

ВРЕЗКА В ДЕЙСТВУЮЩИЙ ГАЗОПРОВОД ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В.В. Калита

Научный руководитель ***А.А. Ефремова****, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

ОАО «Газпром», являясь мировым лидером по добыче и экспорту газа, постоянно расширяет рынки сбыта, проводит исследования касательно добычи газа, инновационных методов переработки и транспортировки «голубого топлива». В настоящее время реализуются проекты «Северный поток», мегапроект «Ямал», «Южный поток» и т.д., направленные на транзит российского

газа в Европу. К вопросам обеспечения безопасности, надежности и безотказности работы всех систем, обеспечения своевременной подачи и транзита газа в ОАО «Газпром» отводят первостепенное внимание.

Основное требование к работе трубопроводного транспорта – это работа без остановки перекачки транспортируемой среды. Мировой и отечественный опыт эксплуатации магистральных газопроводов (МГ) пока-зывает, что, несмотря на значительные достижения в области проектиро-вания, строительства и эксплуатации МГ, полностью исключить отказы не удается. По разным причинам происходят повреждения МГ, остановка транспорта газа, утечка газа через повреждения газопровода, взрывы и создание взрывоопасных чрезвычайных ситуаций на газопроводе, а также загрязнение газом окружающей среды.

Для ликвидации аварий эксплуатирующие организации (ООО «Газпром трансгаз Ухта» например) создают аварийно-восстановительную службу (АВС), которая обязана в кратчайшие сроки устранить аварию, свести до минимума влияние выброса газа в атмосферу, предотвратить возникновение взрывоопасной ситуации на участке газопровода и полностью восстановить работоспособность трубопровода.

Аварийная ситуация, возникающая на магистральном газопроводе, в большинстве случаев приводит к временной остановке транзита газа по газопроводу. Отсекается запорно-регулирующей арматурой аварийный участок и проводятся ремонтно-восстановительные работы, которые, в зависимости от сложности аварии, местности пролегания МГ, технической и людской оснащенности аварийно-восстановительной бригады, могут занять более суток до полной ликвидации аварии и пуска газа. Соглашения, заключенные между ОАО «Газпром» и Европейскими государствами, касательно вопросов транзита российского газа, устанавливают жесткие правила и требования к срокам ликвидации возникающих аварий, несоблюдение которых может повлечь наложение штрафных санкций, решение вопросов в третейском суде, расторжение договоров и доп.соглашений, а также накладывает тень на репутацию ОАО «Газпром».

В данной статье будет рассмотрена инновационная технология, разработанная компанией T.D. Williamson, успешно зарекомендовавшая себя в Европе на нафтепроводах и газопроводах малого диаметра. На данный момент технология проходит предпусковые испытания для дальнейшего использования при ликвидации аварий на газопроводах «Северного потока», «Южного потока», «СЕГа», «СРТО – Торжок», «СМГ Ухта – Торжок (1 очередь)» и т.д.

Для устранения последствий аварий в максимально короткие сроки с минимальными потерями финансовых и технических ресурсов компанией T.D. Williamson разработана специальная технология ремонта трубопроводов под давлением с помощью запорных устройств и установки временного байпаса (устройство «СТОППЛ»). Эта система позволяет, не останавливая тран-

зита газа по трубопроводу, устранить последствия аварии, отремонтировать поврежденные участки и запустить в работу новые. Работы ведутся 1 (одной) бригадой, с использование специализированных средств для врезки и монтажа устройства «СТОППЛ».

Основные принципы врезки и перекрытия под давлением можно проиллюстрировать следующей схемой:

1) на первом этапе на действующий газопровод привариваются фитинги под байпасную линию, перекрытие, а также патрубки для сброса продукта и выравнивания давления;

Рис. 1. Устройство фитингов на газопроводе

2) на фитинги устанавливаются дисковые задвижки типа «сэндвич» и через них выполняется врезка всех остальных фитингов и штуцеров в газопровод;

3) на крайние фитинги монтируется байпасная линия;

4) на внутренние фитинги устанавливается устройство «СТОППЛ» и выполняется временное перекрытие газопровода;

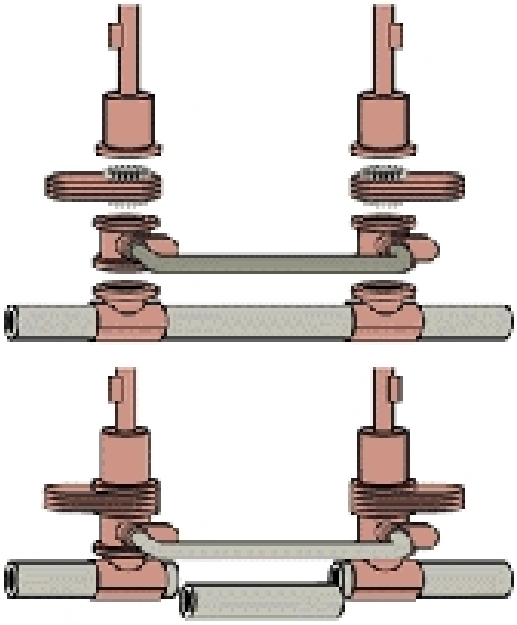


Рис. 2. Монтаж системы «СТОППЛ» и байпасной линии на фитингах

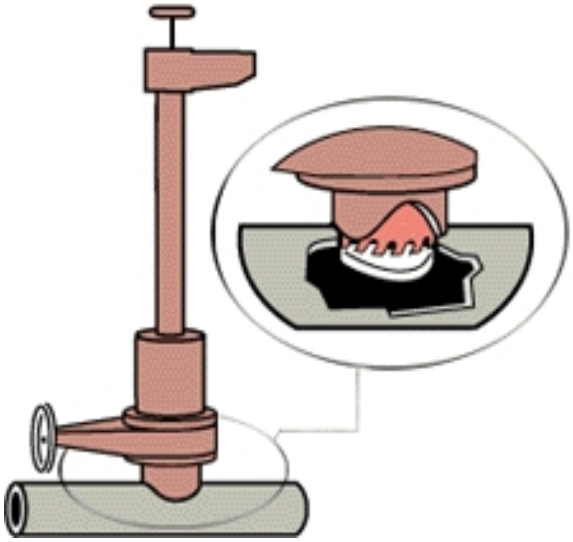


Рис. 3. Утройство для безогневой врезки в газопровод

5) машина для врезки устанавливается на задвижку-сэндвич, производится «холодная» врезка в газопровод, а продукт из отсеченного участка между устройствами «СТОППЛ» сбрасывается в атмосферу, и участок может быть вырезан;

6) газ, минуя отсеченный участок с повреждениями, транспортируется по байпасной линии;

7) новый участок врезается и заполняется продуктом, перекрывающее устройство «СТОППЛ» демонтируется;

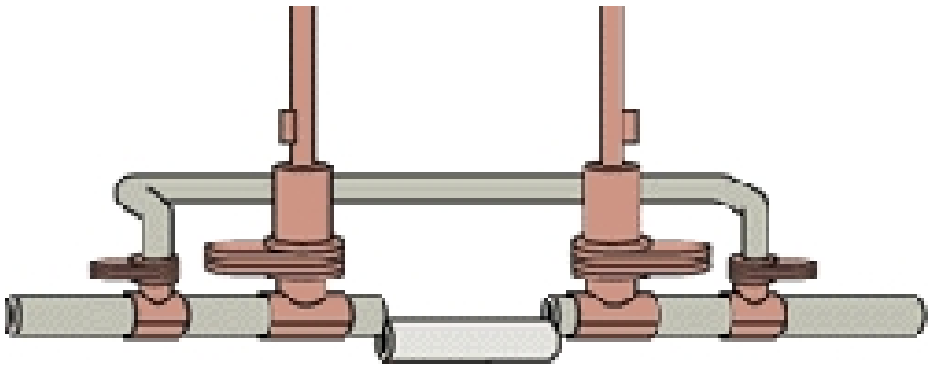


Рис. 4. Демонтаж аварийного участка

8) байпасная линия опорожняется и также демонтируется;

9) в фитинги устанавливаются глухие фланцы (пробки-заглушки), что позволяет снять задвижки-сэндвич, через которые выполнялась врезка;

Рис. 5. Отремонтированный участок с фитингами и заглушками

10) работы успешно завершены без потери продукта и остановки транзита газа, все работы в среднем заняли до 6-8 часов.

Экономический эффект от использования данной системы можно отразить через сравнение классического метода устранения аварий на газопроводе и при помощи устройства «СТОППЛ».

Во время аварийной остановки газопровода транспорт природного газа прекращается на участке средней протяженностью $L=150км$ (между соседними компрессорными станциями).

Если учесть, что диаметр газопровода $D=1420мм$, средняя скорость движения природного газа в газопроводе $v\leq15м/с$ $(\leq50км/ч)$, давление транспортируемого природного газа составляет в среднем $P=7,0МПа$, а работы по ликвидации аварии по классической схеме занимают в среднем до полутора суток t=36час, то можно рассчитать в первом приближении потери газа от приостановки его транзита по газопроводу, а, как следствие, и финансовые потери для ОАО «Газпром».

1. Классический метод ликвидации аварии:

а) $V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \circ L \circ P = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}42^2}{4} \circ 150000 = 6\ 620\ 177\ \ м^3 = 6{,}62 млн.м^3$ - моменталь-ный объем газа (с учетом давления $P=7{,}0МПа$) на участке газопро-во-да, протяженностью $L=150км$;

b) $V_2 = \frac{v \cdot t}{L} \circ V_1 = \frac{15 \cdot 36}{150} \circ 6{,}62 = 23{,}8\ \ млн.м^3$ - объемы газа, которые те-ряются при прекращении транзита на время ликвидации аварии $t=36час$;

c) Тариф на 1000м^3 природного газа, к примеру для Украины, состав-ляет С=432 долл/1000м^3, отсюда следует, что ввиду прекращения транспор-та газа на время ликвидации аварии классическим способом, ОАО «Газпром» те-ряет за 36 часов в среднем:

$X = \frac{C \cdot V_2}{1000} = \frac{432 \cdot 23{,}8 \cdot 10^6}{1000} \approx 10\ 282\ 000 долл. \approx 320\ \ млн.руб.$; - финансо-вые потери от прекращения транспорта газа, (курс доллара 31,1 руб/долл. на 23.10.12)

$У = 0{,}8\ \ млн.руб$ - сметная расценка на проведение основного комплек-са аварийно-восстановительных работ на газопроводе классическим методом (на аварийном участке под замену протяженностью l_1=10м);

$Z_1 = X + У = 320 + 0{,}8 = 320{,}8\ \ млн.руб.$;

Кроме финансовых потерь следует учесть, что по классической схеме ликвидации аварии необходимо привлечь повышенное число людских и тех-нических ресурсов для обеспечения всего комплекса работ (бригада сварщи-ков, изолировщиков, монтажников, дефектоскописты, представители ЛЭС эксплуатирующей организации, 5-7 трубоукладчиков, 2-3 экскаватора). Также требуется получить на каждую единицу техники и персонала соответствую-щие разрешения и допуски для работы в охранной зоне действующего газо-провода, а также соблюсти требования габаритов и веса техники. Велика ве-роятность привлечения дополнительных людских и технических ресурсов для проведения подготовительных работ (подготовка временной площадки для техники, устройство лежневых дорог) в труднодоступных местах – болота, пойменные участки рек.

2. Метод ликвидации аварии с применением системы «СТОППЛ»:

а) Сметная расценка на проведение основного комплекса аварийно-вос-становительных работ на газопроводе с применением системы «СТОППЛ» и байпасной линии, дает среднюю цифру:

b) Z_2 =1,2 млн.руб. для ликвидации причины аварии (на аварийном участ-ке под замену протяженностью l_1=10м), приведение газопровода в со-стояние, необходимое для продолжения транспорта газа по газопроводу с за-данными усредненными характеристиками;

Необходимое количество людских и технических ресурсов – бригада сварщиков, изолировщиков и монтажников системы «СТОППЛ», дефектоскописты, представители ЛЭС от эксплуатирующей организа-ции, 2 экскаватора, 1 трубоукладчик, ремонтный пакет системы «СТОППЛ».

c) При помощи сравнения двух вариантов ликвидации аварии на действующем магистральном газопроводе с точки зрения трудо-емкости, затрат материально-технических ресурсов и материальных расходов несложно заметить, что наиболее выгодным со всех точек зрения является проведение основного комплекса аварийно-вос-становительных работ на газопроводе с применением системы «СТОППЛ» и байпасной линии.

d) Сравнительная выгода составляет Z=Z1-Z2=320,8-1,2=319,6 млн.руб.

Рассмотренный в данной статье вариант ликвидации аварий на действующих магистральных газопроводах позволяет в кратчайшие сроки ликвидировать аварию, существенно сократить финансовые потери от прекращения транзита газа и проведения ремонтно-восстановительных работ, свести до минимума влияние выброса газа в атмосферу, предотвратить возникновение взрывоопасной ситуации на участке газопровода и полностью восстановить работоспособность трубопровода.

Литература

1. ВСН 012-88 Ведомственные строительные нормы «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов». – М.: Миннефтегазстрой, 1989.

2. Журнал ОАО «Газпром».

3. Проект организации строительства объекта «СМГ Ухта – Торжок (1 очередь)». – ОАО «Гипроспецгаз», 2011.

4. Периодическое издание “TD Williamson”.

5. Собственные разработки и техническая документация ООО «Газпром трансгаз Ухта».

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛАКТУЛОЗО-МИНЕРАЛЬНОЙ ПИЩЕВОЙ И КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

Д.М. Костюков
Научный руководитель ***В.Г. Куленко*** *канд. техн. наук, доцент*
Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
им. Н.В. Верещагина
г. Вологда

Широко распространенным расстройством желудочно-кишечного тракта является дисбактериоз – изменение нормального пула микрофлоры кишечника. Одним из способов восстановления микрофлоры является применение пребиотиков. Пребиотики - неусваиваемые пищевые ингредиенты, обладающие свойством избирательной стимуляции роста и/или активности одного или ограниченного количества видов бактерий в кишечнике (преимущественно бифидобактерий и лактобацилл) [3]. Эффект пребиотиков заключается в следующем: они снижают pH содержимого толстого кишечника; нейтрализуют токсичное действие аммиака; активизируют иммунитет; снижают потенциал роста клостридий, кандид, листерий и др.; увеличивают всасывание Са из пищи на 40-60%; усиливают энергообеспечение и регенерацию эпителия толстой кишки [4]. В Японии, пребиотики добавляются к формулам раннего вскармливания вот уже более 20 лет и только недавно стали официально вводиться в Европе [5]. Несмотря на высочайшую ценность пребиотиков для организма, при современном стереотипе питания городского жителя реальное фактическое поступление пребиотических веществ с пищей, как правило, не превышает 1/3-1/2 от условно необходимого их количества, т.е. можно говорить о сформировавшейся пребитотической недостаточности питания [1].

У животных, если потомство не получит молозиво или молоко (естественные источники пребиотиков) в течение 12-24ч после рождения, возрастает смертность молодняка (иногда она достигает 25%). В сложившейся ситуации трудно переоценить роль лактулозы - пребиотика, обладающего самым высоким пребиотическим индексом (IP) среди известных. Лактулоза является изомером лактозы, дисахаридом, состоящим из молекулы фруктозы и галактозы, соединенных бета-гликозидной связью [2].

Интенсификация жизнедеятельности кисломолочных микроорганизмов в толстом отделе кишечника под действием лактулозы способствует:

- повышению степени усвояемости пищи и корма, недопереваренного в верхних отделах ЖКТ;
- повышению концентрации в просвете толстого кишечника органических кислот, витаминов, гормонов и других биологически активных веществ, необходимых организму;
- подавлению жизнедеятельности патогенной микрофлоры;
- переводу аммиака в неабсорбируемую слизистой оболочкой кишечника ионную форму;

- обратной диффузии аммиака из крови в просвет толстого кишечника, что предотвращает аммиачное отравление организма.

В животноводстве благоприятное воздействие лактулозы на симбионтную микрофлору приводит к повышению иммунитета и физиологического статуса животных, а в конечном счете - к увеличению привесов и снижению падежа. Также весьма перспективным является применение пребиотических добавок на основе лактулозы для производства заквасок в молочном производстве. Направленная стимуляция роста и активации бифидобактерий и лактобацилл позволят значительно ускорить изготовление как производственных заквасок, так и продуктов питания, получаемых сквашиванием чистыми культурами микроорганизмов и, тем самым, увеличить эффективность и объемы производства выпускаемой продукции.

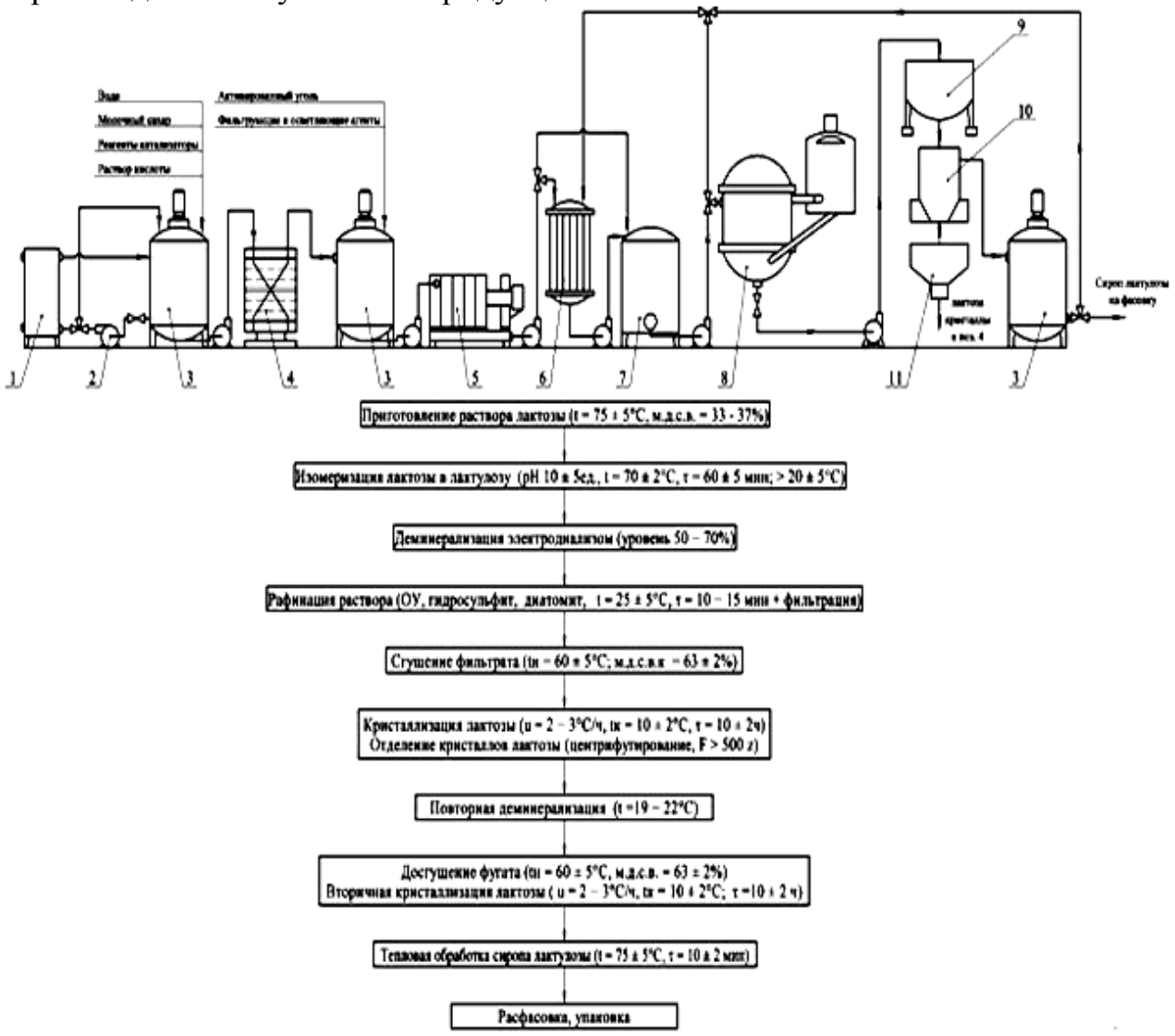


Рис. 1. Схема производства лактулозы по классической технологии
1 - электроактиватор; 2 - насос; 3-реактор; 4 - электродиализная установка; 5 - фильтр-пресс; 6 - ионообменная установка; 7 - промежуточная емкость; 8 - вакуум-выпарной аппарат; 9 - кристаллизатор-охладитель; 10 - центрифуга; 11 - бункер для кристаллов лактозы

Вместе с тем, существующие классические технологии получения лактулозы характеризуются высокой технической сложностью. Еще в начале 2000-х в нашей стране было запущенно производство лактулозы на ООО «Фелицата Холдинг» и ООО «Шехонь - лактулоза», однако незначительность российского рынка привела к тому, что после запуска крупных автоматизированных производств лактулозы в Европе, выгоднее стало импортировать продукцию в Российскую Федерацию.

Классическая технологическая схема производства лактулозы представлена на рис. 1. Огромная энергоемкость процесса обусловлена большим количеством сложных технологических операций, таких как: деминерализация, рафинация, сгущение, кристаллизация, сепарирование. Все усугубляется тем, что многие из этих операций повторяются многократно. Такая ситуация сложилась, с одной стороны, из-за низкой эффективности применяемых минеральных катализаторов, обуславливающих необходимость проведения дополнительных операций по кристаллизации непрореагировавшей лактозы, с другой - обязательность глубокой очистки готового продукта, что также требует проведения дополнительных операций.

Разработанная нами технология концентрата (55-60% сухих веществ) лактулозо-минеральной бифидогенной добавки основана на применении специально подобранного комплекса минеральных и органических веществ, обеспечивающего, с одной стороны, повышение степени изомеризации лактозы в лактулозу с обычных 25-30% до 80-90%, с другой, исключающего необходимость удаления его из продукта, т.к. составляющие его компоненты в сочетании с лактулозой усиливают её пробиотический статус. Новая технология является по существу одностадийной (рис. 2)

Рис. 2. Схема производства лактулозы по новой технологии

Упрощение технологического процесса приводит к резкому сокращению производственных площадей, энергозатрат, а также финансовых затрат на оборудование и заработную плату. Легкость внедрения, компактность, низкие затраты на оборудование и управление могут стать доминирующим фактором для промышленного освоения данной технологии на российских предприятиях пищевой отрасли. Это особенно актуально для Вологодской области, славящейся самыми высококачественными молочными продуктами в стране. Введение лактулозы в молочные продукты сделает их лечебными для многих категорий граждан. Тем более что бифидогенная активность разработанной добавки в 2-3 раза выше, чем у зарубежных аналогов.

Нами были разработаны технологические условия на кормовую добавку ТУ 9229-001 -66748651-10, которая была изготовлена в лабораторных условиях и прошла производственную проверку в СПК АФ «Красная звезда» (Вологодская область) на опытном стаде поросят-отъемышей (880 голов) в сравнении с контрольным стадом (861 голова) в период с 15.10.10 г. по 10.12.10 г. Кормление животных в обеих группах осуществлялось по одинаковой схеме. Использование кормовой добавки в опытном стаде осуществлялось посредством подачи ее в воду для выпаивания поросят из расчета 1 мл на 1 литр воды.

Валовый живой вес опытного стада на конец эксперимента составлял 10357 кг, контрольного - 7390 кг. Средний вес поросенка из опытного стада на 3,3 кг превосходил средний вес животного из контрольного стада (11,3 кг против 8,5 кг). Падеж в опытном стаде был на 44% ниже, чем в контрольном. Затраты хозяйства на приобретение кормовой добавки составили 16,5 тыс.руб. Предложенная бифидогенная добавка выгодно отличается от аналогов тем, что наряду с лактулозой, транзитную доставку в отдел толстого кишечника удалось обеспечить и для некоторых микроэлементов, чрезвычайно необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов. Именно поэтому её бифидогенная активность в 2-3 раза выше, чем у аналогов.

На основании вышеизложенного можно сказать о высокой перспективности применения как новой технологии, так и самой лактулозо-минеральной пищевой и кормовой добавки.

Литература

1. Захаренко С.М., Суворов А.Н. Пробиотики, пребиотики, антибиотики: друзья или враги? //Гастроэнтерология Санкт-Петербурга. – 2010. – № 4. – С. 27-30.

2. Леонидов Д.С. Лактулоза: Диапазон использования в пищевой промышленности //Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2011. – № 10. – С. 34-35.

3. Gibson GR, Roberfroid MB. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. O Nutr 1995; 125 (6): 1401-12.

4. Gibson G.R.. Fuller R. Aspects of in vitro and In vivo research approaches directed toward identifying probiotics and prebiotics for human use. J Nutr 2000: 130 (2) Suppl: 391S-395S.

5. Ghisolfi J. Dietary fibre and prebiotics in infant formulas. Proc Nutr Soc. 2003; 62(1):183-5.

РАЗРАБОТКА МОЛОЧНОГО ПРОДУКТА, СБАЛАНСИРОВАННОГО ПО УГЛЕВОДНОМУ СОСТАВУ И ОБОГАЩЕННОГО ВИТАМИНАМИ

Л.А. Куренкова

Научный руководитель ***А.И. Гнездилова****, д-р техн. наук, профессор*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина

г. Вологда

Состояние здоровья человека находится в прямой зависимости от его рациона питания. Положение «здоровье есть функция питания» является базовым для современного человеческого общества.

К сожалению, в последние годы отмечается существенное ухудшение структуры и качества питания населения. По обобщенным данным обследования населения дефицит витамина С составляет до 50%, витаминов группы В – до 20…30% и витамина А – до 30%, пищевых волокон до 40%, полноценных белков - до 25%. Большинство людей недополучает с пищей макро- и микронутриенты. Дефицит биологически активных веществ в питании человека приводит к снижению иммунитета, возникновению различных заболеваний, снижению продолжительности жизни. С другой стороны, избыток углеводов приводит к заболеваниям сахарным диабетом, к повышению числа людей, страдающих избыточным весом.

Таким образом, разработка продуктов со сбалансированным составом является важнейшей социальной задачей, так как её решение позволит увеличить продолжительность жизни человека и повысить её качество: продлить активный, творческий период жизни, а также сохранить трудоспособность до глубокой старости.

Исключительную роль в питании человека играют молочные продукты. Они содержат большинство необходимых организму пищевых веществ – белки, жиры, углеводы, кальций, фосфор и другие минеральные вещества, поэтому перспективным направлением является создание продуктов, обогащенных полезными нутриентами, на основе молочного сырья [1].

Одним из стратегически важных и перспективных направлений переработки молока является производство сгущенных молочных консервов с саха-

ром. Данные статистики показывают, что сгущенное молоко с сахаром потребляют в среднем 50% населения России, но многие люди вынуждены отказывать себе в этом лакомстве по состоянию здоровья и в связи с тяжелым материальным положением. Основным фактором, ограничивающим потребление сгущенного молока с сахаром, является наличие в их составе около 50% сахарозы, которая провоцирует такие заболевания как сахарный диабет и ожирение. За последние 20 лет число больных сахарным диабетом в мире увеличилось вдвое. Таковы результаты исследования, проведенного английскими учеными при участии Всемирной организации здравоохранения [2].

Еще одним значительным недостатком сгущенного молока с сахаром является низкое содержание в нем витаминов.

Для разработки нового сбалансированного по компонентному составу продукта следует иметь сведения о предпочтениях и пожеланиях потребителей. Для этого нами был проведен маркетинговый анализ Вологодского рынка сгущенных молочных продуктов с сахаром.

По данным департамента сельского хозяйства рынок Вологодской области в 2011 году на 88% был заполнен консервами, произведенными в нашей области, оставшиеся 12 % составляет импорт из других областей.

Большая часть привозимых консервов приходится на молокосодержащие, так как в нашей области они не производятся. Главным достоинством этих продуктов является низкая себестоимость, обусловленная частичной заменой в них молочного жира на растительные масла. Такое изменение состава продукта снижает его ценность, так как пальмовые масла не усваиваются организмом людей, проживающих в северных регионах. Однако, молокосодержащие консервы с сахаром составляют конкуренцию сгущенному молоку с сахаром, произведенному в нашей области.

Нами был проведен социологический опрос 100 человек. В ходе которого было установлено, что для 75% респондентов решающим фактором при покупке является цена. В то же время 80% потребителей считают, что молочные продукты не должны содержать растительные масла, а снижение стоимости должно происходить за счет каких-либо других факторов. Все опрошенные положительно относятся к обогащению сгущенного молока витаминами, при этом наиболее желательно, чтобы при производстве использовались натуральные источники витаминов, а не готовые премиксы. У 95% респондентов есть знакомые или родственники, страдающие избыточным весом. 90 % опрошенных считают, что сахар вреден для здоровья и с большим удовольствием приобрели бы сгущенное молоко с заменителем сахарозы.

Приняв во внимание данные социологического опроса, нами был разработан продукт сгущенный молочный, обогащенный витаминами, сбалансированный по углеводному составу за счет введения в него крахмальной патоки.

В качестве натуральных источников витаминов для обогащения предложена композиция из сиропов шиповника облепихи, боярышника и черноплодной рябины в соотношении 1:1:1:1.

При выборе вида, дозы и стадии внесения добавок учитывались их состав, потребительские качества, а также рекомендации Минздрава РФ.

В составе плодов шиповника содержится до 18% витамина С, причем его содержание в 40-50 раз больше, чем в плодах смородины черной или в 500 раз больше, чем в плодах лимона. В шиповнике содержатся также: β-каротин, витамины В1, В2, К, Е и каротин [3].

Плоды облепихи также богаты витамином С, его содержание в 100 г плодов составляет 200 мг. Содержание витамина А составляет 10 мг в 100 г плодов [3].

Плоды боярышника содержат витамин С в меньшем количестве, чем плоды шиповника и облепихи, но они богаты витамином А – его содержание составляет 14 мг в 100 г плодов [3].

Черноплодная рябина содержит большое количество витамина РР – 0,6 мг в 100 г. Плоды черноплодной рябины так же богаты витамином B_6 , содержание которого составляет 1,5 мг в 100 г, тогда как в большинстве других ягод он обнаружен в следовых количествах [3].

При внесении композиции сиропов в количестве 5 % продукт обогащается витаминами С (на 31,3 %), А (на 15,9 %) и B_6 (на 3,7 %), достигается увеличение пищевой ценности продукта путем увеличения содержания в нем витаминов.

В настоящее время в качестве консерванта в молочных консервах используется главным образом сахароза. Кроме того, известна крахмальная патока, которая применяется при производстве широкого спектра пищевых продуктов - кондитерских изделий, пива и безалкогольных напитков, плодово-ягодных консервов.

Крахмальная патока (глюкозный сироп) является основным сырьем кондитерского производства, выполняя роль подсластителя и антикристаллизатора. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых показали значимую роль глюкозных сиропов в питании человека, сделали их одним из привлекательных видов сахарозаменителей для использования в рецептурах различных продуктов [4]. При этом основной акцент научных исследований и практического применения крахмальной патоки делается на возможность придания готовому продукту дополнительных полезных свойств. При полной или частичной замене сахарозы крахмальной патокой можно снижать калорийность продукта, оказывать различное влияние на текстуру и ряд других показателей готового продукта, например его срок хранения.

Известно, что калорийность сахароза составляет 380 ккал/100 г продукта, калорийность крахмальной патоки на 22,1% ниже и соответствует 290 ккал/100 г [4]. Следовательно, при замене сахара крахмальной патокой ка-

лорийность продукта будет снижаться, что очень важно для потребителей, страдающих избыточным весом.

Для выработки продукта нами была разработана рецептура (табл. 1).

Таблица 1

Рецептура сгущенного молочного продукта, обогащенного витаминами, со сбалансированным углеводным составом, на 1000 кг

Компоненты, кг	Процент замены сахара на крахмальную патоку, %	
	0 (контроль)	50%
Сухое обезжиренное молоко	230,00	230
Сахар-песок	435,00	265,4
Вода	215,86	157,5
Молочный жир	118,94	118,94
Крахмальная патока	-	277,96
Мелкокристаллическая лактоза	0,2	0,2
Композиция сиропов	-	50,0
ИТОГО:	1000	1000

В лабораторных условиях методом рекомбинирования были проведены выработки продукта с заменой 50% сахарозы на крахмальную патоку для последующего изучения его показателей качества. В качестве контрольного опыта были использованы образцы без замены крахмальной патоки.

Исследования были проведены с использованием стандартных методик. Для определения органолептических показателей использовали метод экспертных оценок, вязкость измеряли вискозиметром Гепплера, гранулометрический состав лактозы определяли методом микроскопирования, показатель активной кислотности определяли pH-метром марки МИ-150, массовую долю сухих веществ – рефрактометром РПЛ-3.

Полученные в результате исследований данные представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Органолептические показатели качества сгущенного молочного продукта, обогащенного витаминами, со сбалансированным углеводным составом

Наименование показателей	Контроль	С заменой 50% сахара на крахмальную патоку
Вкус и запах	Сладкий, чистый с выраженным вкусом пастеризованного молока, без каких-либо посторонних привкусов и запахов	
Консистенция	Однородная по всей массе, без наличия ощущаемых органолептически кристаллов молочного сахара	
Цвет	Похож на сгущенное молоко с какао, равномерный по всей массе	

Таблица 3

Физико-химические показатели качества сгущенного молочного продукта, обогащенного витаминами, со сбалансированным углеводным составом

Наименование показателей	Контроль	С заменой 50% сахара на крахмальную патоку
Массовая доля сухих веществ, %	75,5±0,10	75,3±0,10
Средний линейный размер кристаллов лактозы, мкм:	2,79 ± 0,1	3,99±0,13
pH	5,87 ±0,05	5,85 ± 0,05
Вязкость, Па·с	2,87±0,06	10,68±0,08

По микробиологическим показателям продукт безопасен и соответствует требованиям нормативных документов.

Кроме того нами был проведен предварительный расчет оптовой цены сгущенного молочного продукта, обогащенного витаминами с заменой 50% сахара на крахмальную патоку. Для реализации проекта приобретения нового технологического оборудования не требуется. При расчете рентабельность была принята в размере 10%, НДС на единицу продукции 10%. В результате расчета оптовая цена 1 тонны сгущенного молочного продукта, обогащенного витаминами, с заменой 50% сахара на крахмальную патоку составила 79,49 тыс. руб., а одной банки массой 390 г - 31 руб. Отпускная цена на сгущенное молоко с сахаром, производимое на ОАО «Сухонский молочноконсервный комбинат», составляет от 36 до 39 руб. за банку. Снижение себестоимости и оптовой цены обусловлено снижением затрат на сырье (стоимость патоки на 10 -15 % ниже стоимости сахара-песка).

Таким образом, разработка технологии сгущенного молока, сбалансированного по углеводному составу, обогащенного витаминами, и последующее его производство в Вологодской области позволит:

- расширить ассортимент молочных консервов и привлечь новых покупателей;
- уменьшить себестоимость на 10 - 15%;
- придать продукту функциональные свойства за счет снижения его калорийности и обогащения витаминами.

Научно-техническая новизна работы подтверждена патентом РФ № 2449545 и подачей заявки на изобретение № 2012101578/10.

Литература

1. Захарова Л.М. Тенденции использования пищевых и полифункциональных добавок в производстве молочных продуктов. – Кемерово, 2002.

2. «Сладкая» болезнь цивилизации. Режим доступа: http://www.webdiabet.ru/sladkaya-bolezn-civilizacii/

3. Путырский И. Н., Прохоров В. Н. Универсальная энциклопедия лекарственных растений. – М.: Махаон, 2000.

4. Крахмальные сиропы: виды и свойства. Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6700

БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Н.В. Курилова

Научный руководитель ***И.А. Ульяновский****, канд. техн. наук*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

От надежной и безопасной работы транспорта зависит вся деятельность и жизнь населения страны. Ежегодно в России перевозится транспортом около 3,5 млрд. тонн грузов. Ежесуточно всеми видами транспорта перевозится более 100 млн. человек. Но при этом, на транспорте происходит значительное количество катастроф, аварий и происшествий, от которых погибает и травмируется большое число людей, наносится огромный материальный ущерб и вред окружающей среде. Только за 1992 – 2011 годы на железнодорожном, воздушном и водном транспорте страны произошли 852 чрезвычайные ситуации, в результате которых пострадали 3815 человек, из них погибли 2111 человек. Лидерство по количеству трагических последствий и материальному ущербу принадлежит автомобильному транспорту – он является самым аварийным не только в нашей стране, но и во многих развитых странах. Ежегодно от аварий на этом виде транспорта в мире погибает более 300 тыс. человек и около 8 млн. человек получают ранения и увечья, в том числе в США – около 55 тыс. и 2 млн., в России – около 30 тыс. и более 180 тыс. соответственно.

Автомобильный транспорт является не только важнейшим сектором экономики, но и наряду с железнодорожным и морским, главным средством осуществления внешнеэкономической деятельности. Несколько десятков лет назад в большинстве городов мира транспортное обслуживание населения было государственной и муниципальной монополией. Это обеспечивало стабильное и качественное обслуживание, строгую дисциплину перевозок. Однако уровень издержек в отрасли повышался из года в год. Происходило это на фоне роста участников дорожного движения, увеличения нагрузки на улично-дорожную сеть, снижения скорости движения и соответственно падения спроса на услуги общественного транспорта.

Анализируя деятельность по организации пассажирских перевозок приходим к выводу, что государство, отдав практически всю отрасль в руки частного бизнеса, потеряло контроль за ее деятельностью, процессами импорта, эксплуатации и учета работы этого вида транспорта. Специалистами транспортной отрасли определен ряд причин и условий, способствующих осложнению обстановки на пассажирском автотранспорте. В том числе:

- правовой нигилизм в обеспечении правопорядка в отрасли;
- несовершенство действующего законодательства;
- недостатки в деятельности правоохранительных и контролирующих органов по надзору за безопасностью дорожного движения;
- отсутствие в транспортных предприятиях внедренных систем безопасности и менеджмента качества оказания транспортных услуг;
- малая эффективность влияния процессов лицензирования и выдачи разрешения на выполнение рейса на факторы, гарантирующие безопасность пассажирских перевозок;
- невыполнение руководством транспортных предприятий своих обязанностей, предусмотренных Правилами перевозки пассажиров;
- невыполнение обязательства иметь сертификат соответствия о том, что оказанные транспортные услуги отвечают действующим требованиям;
- слабая профессиональная подготовка водительского состава и отсутствие должного контроля за его деятельностью.

В Российской Федерации по данным Главного управления обеспечения безопасности дорожного движения МВД России за 8 месяцев 2012 г. совершено 129121 ДТП, в которых погибли 17057 и ранено 165989 человек.

С участием лицензируемых автобусов зарегистрировано 4246 ДТП. В результате этих ДТП погибло 435 и ранено 6538 человек.

По вине водителей лицензируемого пассажирского автотранспорта за 8 месяцев 2012 г. совершено 1584 ДТП (1305 – 2011 г.). Рост к аналогичному периоду прошлого года (АППГ) составил 21,4%. В указанных ДТП погибло 96 человек (115 – 2011 г.), снижение к АППГ составило -16,5%. Ранено 2542 человека (2322 – 2011 г.), рост к АППГ составил 9,5%.

Основной причиной дорожно–транспортных происшествий при перевозках пассажиров автобусами является нарушение водителями Правил дорожного движения [2].

Анализ аварийности за 8 месяцев 2012 года показал:

- в 40 (62%) субъектах Российской Федерации не допущено гибели людей при ДТП;
- в 25 (38%) субъектах не допущено роста количества ДТП, числа погибших и раненых.

Таблица

ДТП и пострадавшие из-за нарушения ПДД водителями автобусов, имеющих лицензию на перевозочную деятельность в Российской Федерации, за 8 месяцев 2012 г.

Наимен. ФО	ДТП			ПОГИБЛО			РАНЕНО		
	8 месяцев 2012	8 месяцев 2011	(+/-) %	8 месяцев 2012	8 месяцев 2011	(+/-) %	8 месяцев 2012	8 месяцев 2011	(+/-) %
РФ	1584	1305	21,4	96	115	-16,5	2542	2322	9,5
ЦФО	510	345	47,8	24	27	-11,1	837	553	51,4
СЗФО	182	199	-8,5	8	12	-33,3	284	343	-17,2
ЮФО	126	93	35,5	17	10	70,0	218	210	3,8
СКФО	31	34	-8,8	8	14	-42,9	107	68	57,4
ПФО	273	265	3,0	14	19	-26,3	391	458	-14,6
УФО	149	138	8,0	5	8	-37,5	221	288	-23,3
СФО	220	177	24,3	14	24	-41,7	359	309	16,2
ДФО	93	54	72,2	6	1	500,0	125	93	34,4

Тяжесть последствий ДТП на лицензируемом автотранспорте в Российской Федерации остается самой низкой в сравнении с другими видами автотранспорта и составляет 3,6 (в РФ – 9,3), а также число погибших, количество ДТП и число раненых остается в прежних пределах, соответственно 1,2%, 0,6% и 1,5% от общей аварийности в Российской Федерации.

Госавтодорнадзором проведены внеплановые проверки деятельности перевозчиков – лицензиатов, по вине водителей которых совершены дорожно – транспортные происшествия.

По выявленным нарушениям, в соответствии с действующим законодательством, было привлечено к административной ответственности 147 юридических и 167 должностных лиц, 333 индивидуальных предпринимателя, приостановлено действие 7 лицензий.

Кроме того, на рассмотрении в судах находятся материалы на приостановление 11 лицензий, на привлечение к административной ответственности 44 юридических и 81 должностного лица, 82 индивидуальных предпринимателей. Сумма наложенных штрафов составила 5,3 млн. рублей.

Многие транспортные компании работают по принципу официальной аренды транспорта у его владельцев для получения лицензии и разрешения на маршрут, после чего выделенные государством маршруты сдаются в неофициальную аренду этим же владельцам транспортных средств. Водители, за получение путевого листа с фиктивными отметками механика и врача о якобы пройденном техническом и медицинском осмотрах, платят руководителям предприятия определенную сумму денег, после чего под свою ответственность выполняют опасные для жизни и здоровья людей перевозки.

К сожалению, на сегодняшний день контролирующие организации в сфере пассажирских перевозок лишены многих функций, которыми были наделены ранее. Теперь заранее нужно уведомлять перевозчика о предстоящей проверке, лицензия может быть приостановлена только в судебной порядке, а штрафы для перевозчиков несоизмеримо малы. Инструкцией по осуществлению государственного контроля (надзора) установлен порядок подготовки планов проведения плановых проверок в соответствии с установленными приказом Генеральной прокуратуры Российской Федерации и распоряжением Федеральной службы по надзору в сфере транспорта требованиями. Вместе с тем, формирование плана проведения плановых проверок за столь длительный период и указание в нем конкретных дат начала и окончания проверки приводит к тому, что при наступлении срока начала проведения плановой проверки юридическое лицо или индивидуальный предприниматель уже могут прекратить свою деятельность и быть исключены из ЕГРЮЛ или ЕГРИП, либо в данный момент проверку осуществить невозможно по объективным причинам (например, болезнь или командировка индивидуального предпринимателя, письменное ходатайство субъекта о переносе проверки по иным объективным причинам и т.д.). Причем даже после проведения проверки нарушений может быть и не выявлено, поскольку ИП было дано время на ликвидацию своих «проколов» в работе. Но человек, который пользуется услугами такого перевозчика, фактически каждый день подвергает себя риску.

В итоге, вывод напрашивается сам собой. Там, где отсутствует или не в полной мере осуществляется государственный контроль, мы имеем рост числа дорожно – транспортных происшествий и увеличение числа погибших и пострадавших в этих ДТП. Для многих перевозчиков отсутствие государственного регулирования и предоставление выхода на рынок не является стимулом для повышения качества обслуживания пассажиров, а также создания условий для их безопасной перевозки. При этом имеют место случаи, когда крупные перевозчики теряют долю рынка и несут убытки в результате свободного выхода на него нетранспортных организаций, а потребители транспортных услуг при этом не получают достаточно надежного и качественного транспортного обслуживания. В сфере пассажирского транспорта частный перевозчик идет, как правило, по пути наименьшего сопротивления: чаще всего используется такая схема – водителям предоставляют автобусы, и они сами решают проблемы ремонта, парковки и стоянки, при этом никакой речи не ведется о медицинских осмотрах водителей и техническом контроле. Опять же с целью оптимизации затрат за руль допускаются случайные люди. Слабая профессиональная подготовка водителей, покупка водительских удостоверений, управление транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения - далеко не все причины, по которым люди, садясь в автобус, попадают в ДТП. Не соблюдаются требования по осуществлению предрейсового и послерейсового медицинского осмотра водителей, технического контроля

транспортных средств перед выходом на линию, требования по обеспечению соблюдения режима труда и отдыха, все это создает угрозу жизни и здоровью граждан, которые пользуются услугами таких перевозчиков [1].

С 28 июля 2012 года вступил в силу Федеральный закон № 131, который вносит изменения в нормативно – правовые документы, действующие в сфере обеспечения безопасности перевозок. Первая статья этого документа внесла коррективы в статью 20 Федерального закона № 196 «О безопасности дорожного движения». Теперь четко прописано – «прохождение послерейсового медицинского осмотра водителей обязательно для всех организаций», но как это осуществить на практике, мало кто имеет представление. Ведь зачастую водитель возвращается в ПАТП после того, как рабочий день медицинского сотрудника закончен. Есть выход – станции скорой медицинской помощи, но он приемлем не для всех организаций, а следовательно и контроля за водителями должного не осуществляется. Есть ряд нарушений, когда при проведении проверок ГИБДД совместно с УГАДН были отстранены водители от управления автобусом по причине слабого и не только алкогольного опьянения. Тем не менее, наказание для перевозчика минимальное.

Таким образом, можно выделить следующие пути выхода из сложившейся ситуации:

- внедрение систем безопасности и менеджмента качества в организациях перевозчиках;
- повышение эффективности системы лицензирования перевозок;
- совершенствование действующего законодательства в части разработки механизмов прохождения послерейсового осмотра водителями;
- усиление подготовки водительского состава;
- ужесточение ответственности за нарушение ПДД.

Литература

1. Куверова, Н.В. Проблемы аттестации работников автомобильного транспорта / Н.В. Куверова //Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы научно-практической конференции. - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. - 487с.

2. Статистика ГИБДД Вологда.- Режим доступа: http//35.gibdd.ru

МЕТОД И УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

К.Ф. Махмадякубова
Научный руководитель ***Ю.Р. Осипов****, д-р техн. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

В промышленных условиях для определения влажности дисперсного материала используют быстрые и бесконтактные неразрушающие методы. Таковыми являются методы СВЧ поглощения, основанные на взаимодействии проходящих или отраженных волн СВЧ с веществом. Физическая сущность методов СВЧ поглощения состоит в том, что в диапазоне сантиметровых волн коэффициент поглощения СВЧ энергии свободной водой почти на два порядка выше, чем сухим веществом, являющимся диэлектриком. Выходной величиной измерительного преобразователя может быть либо ослабление, характеризующее затухание в материале, либо фазовый сдвиг волны. На результаты определений влажности по методу СВЧ поглощения влияют насыпная плотность и толщина слоя [1, 2]. Их измерение или стабилизация на конвейере затруднены. Поэтому перспективен СВЧ радиометрический метод, который позволяет определить влажность материала независимо от вариаций плотности и толщины слоя. Этот метод состоит в одновременном измерении ослабления СВЧ волн и γ-лучей, прошедших через слой исследуемого материала.

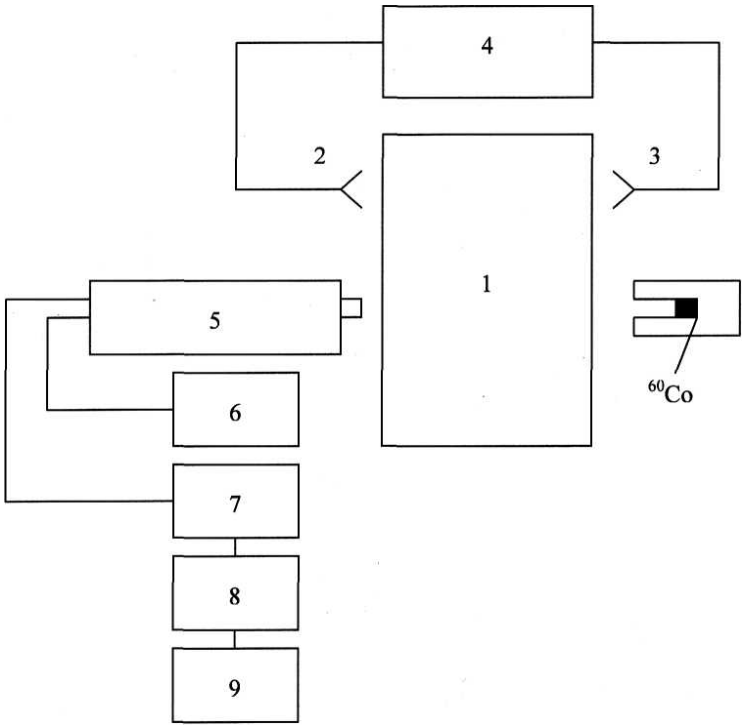


Рис. 1. Блок-схема установки для определения влажности угля СВЧ радиометрическим методом: 6 – питание детектора; 7 – линейный усилитель; 8 – амплитудный дискриминатор; 9 – счетчик импульсов. (остальные обозначения см. в тексте)

На рис. 1 показана установка для определения влажности СВЧ радиометрическим методом. Поток дисперсного материала 1 проходит между ан-

теннами 2, 3 измерителя затухания СВЧ волн частотой 9,4 ГГц 4 и просвечивается γ-лучами от источника ^{60}Co. Для регистрации прошедшего через материал γ-излучения использовался сцинтилляционный детектор с кристаллом NaJ(Tl)5.

Экспериментальные исследования показывают, что существует функциональная зависимость величины ослабления СВЧ волн, отнесенного к единице толщины слоя материала и единице насыпной плотности, от влажности материала [2]:

$$\frac{A}{d\rho} = aM + b, \tag{1}$$

где M - влажность; d - толщина слоя; ρ - насыпная плотность; a, b — коэффициенты регрессии.

Относительное ослабление интенсивности γ-излучения, прошедшего через слой дисперсного материала I_0/I, зависит от его насыпной плотности следующим образом:

$$\ln\frac{I_0}{I} = \frac{\mu}{\rho}\rho d, \tag{2}$$

где (μ/ρ – коэффициент ослабления γ-лучей. Учитывая, что коэффициенты ослабления γ-лучей источника ^{60}Co не зависят от влажности образца, для определенного материала можно записать [2]

$$\frac{A}{d\rho} \sim \frac{A}{\ln\frac{I_0}{I}} \tag{3}$$

Следовательно, калибровочной кривой может быть зависимость отношения ослабления СВЧ волн (в децибелах) к натуральному логарифму относительного ослабления γ-лучей от влажности образца $\frac{A}{\ln\frac{I_0}{I}}, (M)$. Такие кривые для нескольких сортов материала показаны на рис. 2.

Эти кривые были получены при постоянной толщине слоя $d=12,5$ см и насыпных плотностях от 500 до 900 кг/м^3. Как показано в работе [2], погрешность СВЧ радиометрического метода не больше, чем метода СВЧ поглощения, в котором надо каждый раз измерять насыпную плотность исследуемого материала.

Абсолютная погрешность метода не превышает 1% H_20. Из рис. 2 следует, что нужно иметь отдельные калибровочные кривые для каждого материала, в зависимости от его гигроскопической влаги.

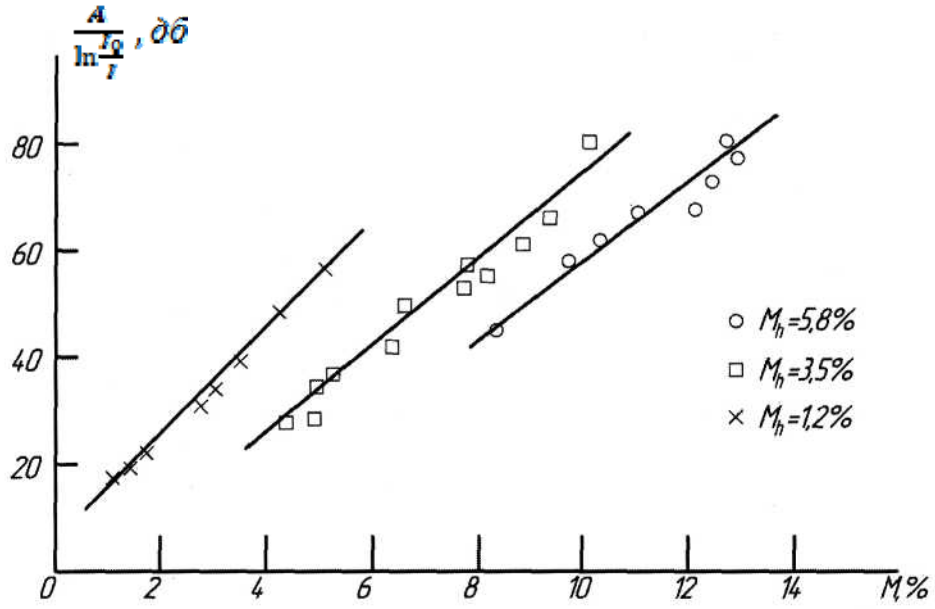


Рис. 2. Калибровочные кривые для нескольких типов материала при постоянной толщине слоя 12,5 см и изменяющейся насыпной плотности от 500 до 900 кг/м^3. Крупность 0-20 мм; Mh - гигроскопическая влага

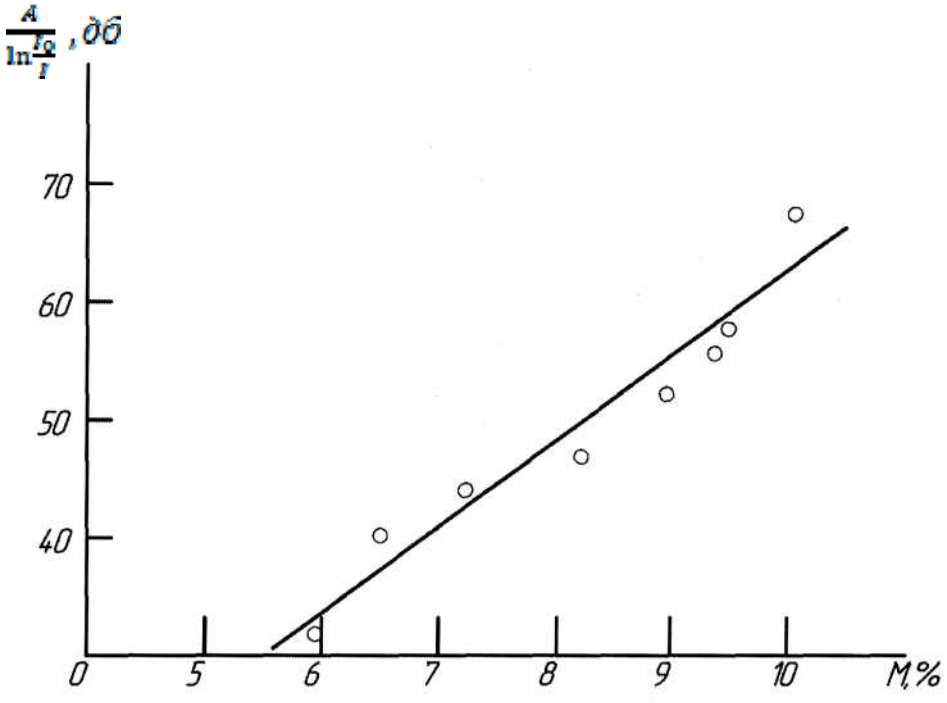


Рис. 3. Калибровочная кривая для образца крупностью 0 – 20 мм при изменяющейся толщине слоя от 4,5 до 12,5 см и насыпной плотности от 500 до 900 кг/м^3

На рис. 3 показана калибровочная кривая при переменной толщине слоя *d* от 4,5 до 12,5 см и переменной плотности (500 – 900 кг/м^3). Определенная из этой кривой влажность не зависит от толщины слоя. Это подтверждает рис. 4, на котором по оси ординат отложены значения влажности проб одного материала (определенные классическим методом). Точки представляют

собой значения влажности, определенные СВЧ радиометрическим методом для четырех толщин слоя с помощью общей для этих толщин калибровочной кривой (рис. 3).

Отклонение точек от пунктирных прямых характеризует погрешность определения влажности.

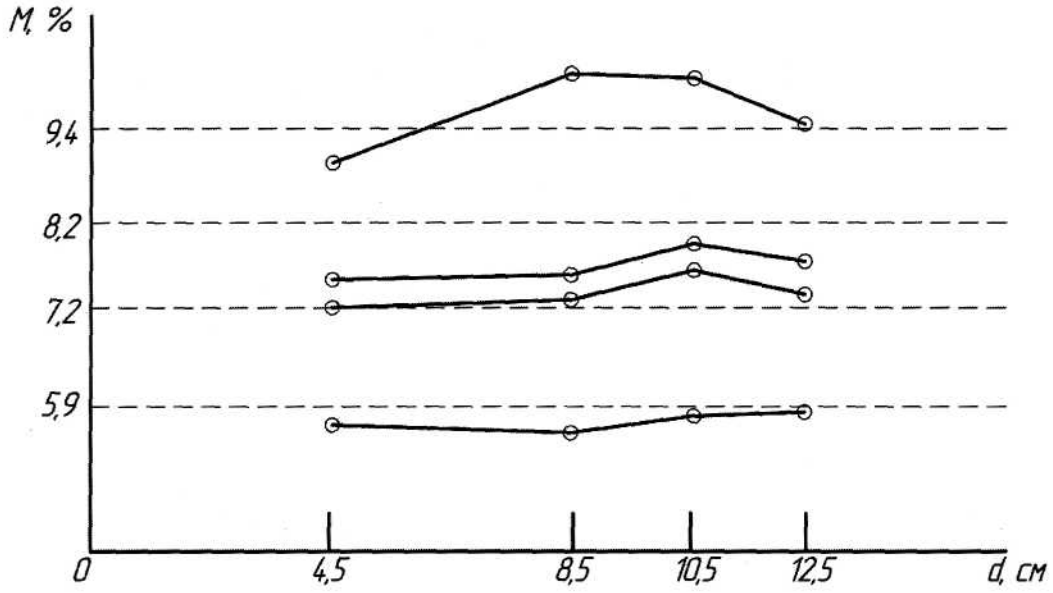


Рис. 4. Зависимость результатов определений влажности от толщины слоя. Крупность 0-20 мм

Как следует из рис. 4, между величиной этой погрешности и толщиной слоя материала нет корреляции.

Таким образом, предложенный в работе СВЧ радиометрический метод определения влажности является быстрым и бесконтактным. Результаты определений влажности этим методом не зависят от насыпной плотности и толщины слоя. В условиях изменяющихся толщин слоя от 4,5 до 12,5 см и насыпных плотностей от 500 до 900 кг/м^3 абсолютная погрешность метода не превышает 1% H_20.

Литература

1. Кляйн А. Исследование диэлектрических свойств влажного угля с использованием СВЧ волн для определения влажности: автореф. докт. дис. – Лейпциг, 1978.

2. Персяк-Журавич М. Применение явления абсорбции электромагнитных волн в неоднородных веществах к определению влажности угля: автореф. канд. дис. – Люблин, 1984.

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКТИРОВКИ РЕЖИМОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ ГУММИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

М.О. Меньшикова
Научный руководитель ***Ю.Р. Осипов*** *д-р техн. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Для получения равномерной степени вулканизации по толщине изделия необходимо выявить те точки гуммировочного покрытия, которые лимитируют процесс вулканизации. При изменении начальных и граничных условий в наихудших температурных условиях оказываются разные узловые точки модели. На рис.1 представлена функциональная схема устройства, позволяющего осуществлять поиск в контролируемой области покрытия узловой точки, лимитирующей продолжительность процесса по показателю степени вулканизации.

Принцип работы устройства заключается в следующем. От датчиков 2, фиксирующих температуру Тс(τ) теплоносителей на вулканизационном оборудовании 1 сигнал через блок сопряжения 3(аналого-цифровой преобразователь (АЦП))поступает в ЭВМ 4, где происходит его анализ и последующая обработка. В блоке 5 формируются граничные (ГУ) и начальные условия(НУ) и происходит описание математической модели. На её основе в блоке математического моделирования 6, который представляет собой программный комплекс, осуществляется моделирование процесса термообработки и определения температурных полей в гуммируемом изделии. Результатом моделирования являются величины температур Ti,j(τ) в узловых точках контролируемой области изделия.

Они же являются входными данными для блока 7 определения и выбора минимальной степени вулканизации, представляющего собой также программный комплекс, который находит минимальную величину показателя степени вулканизации $S_{лим}$ (τ) соответствующую узловой точке, лимитирующей процесс, которая в дальнейшем сравнивается в блоке 8 с эталонным значением $S_{лим.опт.}$ (τ) для данной марки покрытия, заданными в базе данных эталонных степеней вулканизации 8. В случае их равенства на выходе блока 9 вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный механизм 10 в момент $\tau_{вулк.}$, завершения цикла вулканизации. Определение температурных полей в вулканизуемом изделии осуществляется в блоке математического моделирования 6 численным методом. В основу расчёта температуры контролируемого участка гуммируемого изделия положено уравнение нестационарной теплопроводности Фурье для многослойной пластины с постоянными во времени теплофизическими характеристиками материала.

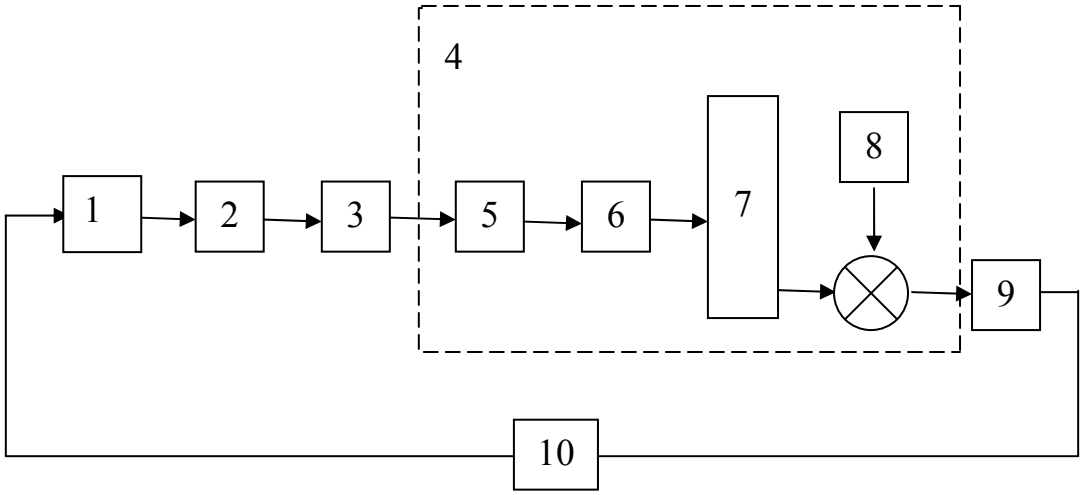


Рис. 1. Функциональная схема устройства автоматического управления процессом вулканизации гуммированных изделий: 1 - вулканизационное оборудование: 2 - датчики температуры; 3, 9 - экстраполяторы; 4 - ЭВМ; 5 - блок задания ГУ и НУ; 6 – блок математического моделирования; 7 - блок определения и выбора минимальной степени вулканизации; 8 - блок заданных оптимальных свойств; 10 -исполнительный механизм

При решении уравнения в конечно-разностном виде для каждой k-й узловой точки математической модели при заданных начальных и граничных условиях имеем температурно-временную зависимость

$$T_k = f_k(\tau).$$

По этой зависимости для группы узловых точек математической модели блоком 6 определяется степень вулканизации по показателю эквивалентного времени

$$S = \frac{E}{E_0} = \frac{\int_{\tau_0}^{\tau_{вулк.}} Idt}{E_0},$$

где I- интенсивность вулканизации, Е - эффект вулканизации, E_0- эффект вулканизации за единицу времени при постоянной температуре, для которой подсчитывается $S, \tau_0, \tau_{вулк}, \tau$-начало, конец и продолжительность вулканизации на оборудовании, соответственно. Интенсивность вулканизации определяется по формуле:

$$I = K^{\frac{T(\tau)-100}{10}},$$

где К - температурный коэффициент вулканизации (отношение продолжительности вулканизации $\tau_{(T+a)}$ и τ_T) при двух постоянных температурах (Т+*a*) и Т).

Обычно *a* = 10, К = 2, однако, это правило приближенно выполняется лишь в узком диапазоне температур 403 К- 423 К .

В общем случае:

$$K = \exp\left(\frac{10U}{RT^2}\right).$$

Тогда эффект вулканизации:

$$E = exp\left(\frac{U}{RT_0}\right) \int_{\tau_0}^{\tau_{\text{вулк.}}} \frac{d\tau}{exp\dfrac{U}{RT(\tau)}},$$

откуда

$$S = exp\left(\frac{U}{RT_{\text{экв.}}}\right) \int_{\tau_0}^{\tau_{\text{вулк.}}} \frac{d\tau}{\exp\dfrac{U}{RT(\tau)}}.$$

Допустим, что при определенных граничных и начальных условиях лимитирующие процесс условия имеют место в *i*-й точке математической модели гуммируемого объекта. При различных граничных условиях характер температурно-временной зависимости в *i*-й и соседних (*i*-1),(*i*+1) и (*i*+2) точках меняется и следовательно, каждой из них будет соответствовать своя величина $S_K(\tau)$показателя степени вулканизации.

Таким образом, исходя из требований проведения регулирования по лимитирующей процесс вулканизации области гуммируемого изделия, для конкретных граничных и начальных условий в каждый конкретный момент времени выбирается та *k*-я точка внутри этой области, для которой величина показателя степени вулканизации минимальна. Выбор такой точки и осуществляется описываемым устройством. Реализация принципа поиска лимитирующей продолжительность теплового процесса узловой точки математической модели дает возможность путем оптимизации режимов вулканизации повысить однородность гуммированных изделий и точность управления.

Если в качестве эталонной задается величина степени вулканизации, достаточная для выгрузки гуммированного изделия, то последнее должно находиться в оборудовании после достижения этой степени вулканизации еще некоторое дополнительное время, необходимое для проведения заключительных операций; если же эталонной величиной степени вулканизации является несколько меньшая, то при выгрузке степень вулканизации может отличаться от требуемой. Это вызвано тем, что величина, на которую возрастает степень вулканизации во время проведения заключительных операций и при охлаждении вне оборудования, не является постоянной и зависит от температуры гуммируемого изделия перед их началом.

Для осуществления прогнозирования довулканизации изделия была разработана функциональная схема, представленная на рис. 2.

От датчиков температуры на оборудовании 1, через блок сопряжения с ЭВМ 2 сигнал в оцифрованном виде поступает в блок формирования граничных и начальных условий 3. Далее по сформированной математической модели

в блоке 4 моделируется процесс теплообмена, где определяется температура $T_{i,j}(\tau)$ контролируемого участка гуммированного объекта, являющаяся параметром, рассчитываемой в блоке 5 определения степени вулканизации $S_{\text{лим}}(\tau)$.

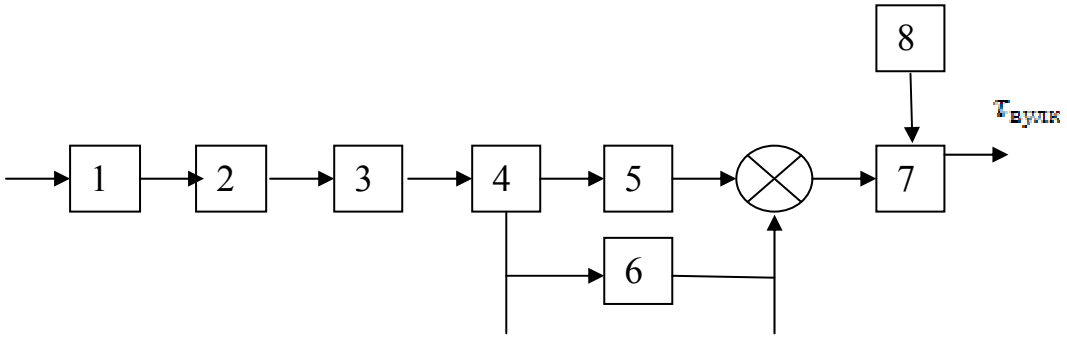


Рис. 2. Функциональная схема устройства автоматической корректировки режимов вулканизации изделий:
1 - датчики температуры; 2 - блок сопряжения с ЭВМ; 3 - блок формирования граничных и начальных условий; 4 - блок математического моделирования; 5 - блок определения степени вулканизации; 6 -блок определения степени довулканизации; 7 - блок сравнения; 8 -блок эталонных значений

В то же время значения температуры $T_{i,j}(\tau)$ поступают в блок учета степени довулканизации 6, где отрабатывается зависимость $S_{\text{довулк}}(\tau) = f\left(T_{i,j}(\tau)\right)$ величины прироста степени вулканизации за время проведения заключительных операций режима и охлаждения вне оборудования от текущей температуры в изделии. Степень вулканизации $S_{\text{лим}}(\tau)$ и степень довулканизации $S_{\text{довук}}(\tau)$ складываются в сумматоре, на выходе которого формируется величина $S_{\sum \text{лим}} = S_{\text{лим}}(\tau) + S_{\text{довулк}}(\tau)$ степени вулканизации изделия с учетом ее прироста за время проведения заключительных операций и при охлаждении вне оборудования. Эта величина $S_{\sum \text{лим}}$ сравнивается в блоке сравнения 7 с заданной $S_{\text{лим.оп.}}(\tau)$ в блоке 8 и при их равенстве, на выходе блока в момент $\tau_{\text{вулк}}$ завершения цикла вулканизации вырабатывается сигнал на проведение заключительных операций исполнительными механизмами оборудования.

Описанные выше принципы положены в основу при разработке программного комплекса автоматической корректировки режимов вулканизации гуммированных изделий.

Литература

1. Осипов, Ю.Р. Автоматизация управления тепловыми процессами при креплении эластомерных покрытий к металлу / Ю.Р. Осипов. – М.: Классик Прим, 2007. – 160 с.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ФЛАНЦЕВЫЙ ЦЕНТРОСМЕСТИТЕЛЬ

Е.В. Минюхин
Научный руководитель ***Е.А. Берденников****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
им. Н.В. Верещагина
г. Вологда

Изобретение относится к машиностроению и ремонтному производству, в частности к устройствам для смещения детали относительно ее оси вращения при базировании перед механической обработкой, например, перед шлифованием шеек коленчатых валов.

Известно устройство, входящее в количестве двух единиц в стандартный комплект приспособлений специализированного станка для шлифования шеек коленчатых валов 3А423. Устройство представляет собой патрон - центросместитель, то есть механизм закрепления и базирования (вращения вокруг оси обрабатываемой поверхности и радиального перемещения обрабатываемой детали относительно оси ее вращения). Устройство состоит из планшайбы, на которой выполнены направляющие для перемещения самоцентрирующего трехкулачкового патрона в радиальном направлении относительно оси вращения обрабатываемой детали, в частности, с целью обеспечения радиуса кривошипа при шлифовании шатунных шеек коленчатых валов. Однако, станок 3А423 имеет односторонний привод, предусматривающий передачу вращения на коленчатый вал от патрона – центросместителя передней бабки станка, далее - от коленчатого вала на патрон – центросместитель задней бабки. Задний патрон – центросместитель имеет значительную массу, равную переднему патрону.

Из-за значительной массы заднего патрона на некоторых этапах шлифования шеек вала, например, в момент пуска станка, неизбежны моменты инерции, вызывающие преимущественно деформацию кручения коленчатого вала и смещение положения оси его коренных или шатунных шеек, достигнутого при базировании и закреплении. Кроме того, конструкция патронов - центросместителей не позволяет обеспечить достаточное количество степеней свободы при базировании коленчатого вала перед закреплением и шлифованием в том случае, когда изношены направляющие патрона центросместителя. Совокупность этих недостатков приводит к уменьшению точности шлифования шеек коленчатого вала.

Известно также устройство [1], которое частично устраняет недостатки аналога и принято за прототип. Устройство представляет собой фланцевый центросместитель, исключающий необходимость стандартного патрона - центросместителя задней бабки, в корпусе которого имеются сквозные отверстия для крепления резьбовым соединением к фланцу коленчатого вала. В

корпусе фланцевого центросместителя имеются центровые отверстия. Одно отверстие - в центре корпуса для поджатия центром задней бабки при шлифовании коренных шеек коленчатого вала, закрепленного со стороны, противоположной фланцу, в стандартном патроне – центросместителе передней бабки. Другие центровые отверстия - на расстоянии радиуса кривошипа от центрального отверстия для поджатия центром задней бабки станка при шлифовании шатунных шеек. В корпусе фланцевого центросместителя имеются резьбовые отверстия, выполненные в радиальном направлении относительно оси вращения коленчатого вала для окончательного базирования коленчатого вала перед закреплением и шлифованием с помощью регулировочных болтов или винтов, упирающихся в периферийную поверхность фланца вала. Устройство, принятое за прототип и имеющее значительно меньшую массу по сравнению со стандартным патроном – центросместителем задней бабки станка, позволяет уменьшить моменты инерции во время пуска станка. Возможность регулировки положения фланца коленчатого вала в двух плоскостях, перпендикулярных оси вращения вала, позволяет обеспечить базирование коленчатого вала перед шлифованием в соответствии с установленным допуском. Однако, коленчатые валы различных машин, имеют разные радиусы кривошипа. Форма и размеры фланцев коленчатых валов – диаметр, ширина конструктивных элементов также различны. Установочные отверстия во фланце расположены по-разному относительно друг друга. Устройство, принятое за прототип, является индивидуальным (специальным) приспособлением для шлифования коленчатых валов лишь одинаковой конструкции, с одинаковыми размерами конструктивных элементов.

Технический результат изобретения заключается в увеличении точности шлифования шеек коленчатых валов и в универсальности устройства, применяемого при шлифовании шеек коленчатых валов, имеющих различные радиусы кривошипов и конструктивные элементы фланцев.

Для достижения указанного технического результата универсальный фланцевый центросместитель содержит корпус, в котором имеются сквозные продольные отверстия для крепления с помощью болтового соединения к фланцу коленчатого вала. По окружности наружной периферийной поверхности в корпусе имеется Т-образный паз для крепления с помощью болтового соединения поворотного стола, имеющего для этого сквозные пазы в периферийной части. В периферийной части корпуса имеются резьбовые отверстия для установки регулировочных болтов. В торцевой части поворотного стола имеются два Т-образных паза для крепления к поворотному столу с помощью болтового соединения двух деталей – мостиков (далее мостики) с центровыми отверстиями, предназначенными для поджатия коленчатого вала вместе с предлагаемым устройством центром задней бабки шлифовального станка при шлифовании шатунных шеек. Наличие сквозных продольных отверстий в корпусе позволяет крепить корпус к фланцу коленчатого вала в резьбовых отверстиях

фланца, расположенных на различном расстоянии от оси коренных шеек коленчатого вала. Наличие Т-образного паза по наружной периферийной поверхности корпуса устройства позволяет осуществлять крепление поворотного стола к корпусу после поворота стола относительно корпуса вокруг оси коренных шеек коленчатого вала на угол, необходимый для совмещения плоскости, в которой находится ось шатунной шейки, с плоскостью, в которой находится ось центрового отверстия мостика при предварительном базировании коленчатого вала. Наличие Т-образных пазов в торцевой части поворотного стола позволяет смещать мостики с центровыми отверстиями при предварительном базировании коленчатого вала перед его закреплением относительно оси коренных шеек на расстояние, равное радиусу кривошипа коленчатого вала при шлифовании шатунных шеек. Наличие регулировочных болтов позволяет перемещать фланец коленчатого вала в двух плоскостях, перпендикулярных оси коренных шеек коленчатого вала, при окончательном его базировании перед шлифованием. Таким образом, предлагаемое устройство представляет собой универсальный фланцевый центросместитель и позволяет в установленном допуске осуществлять базирование коленчатых валов перед механической обработкой, имеющих различные радиусы кривошипа, размеры и взаимное расположение конструктивных элементов фланцев коленчатых валов.

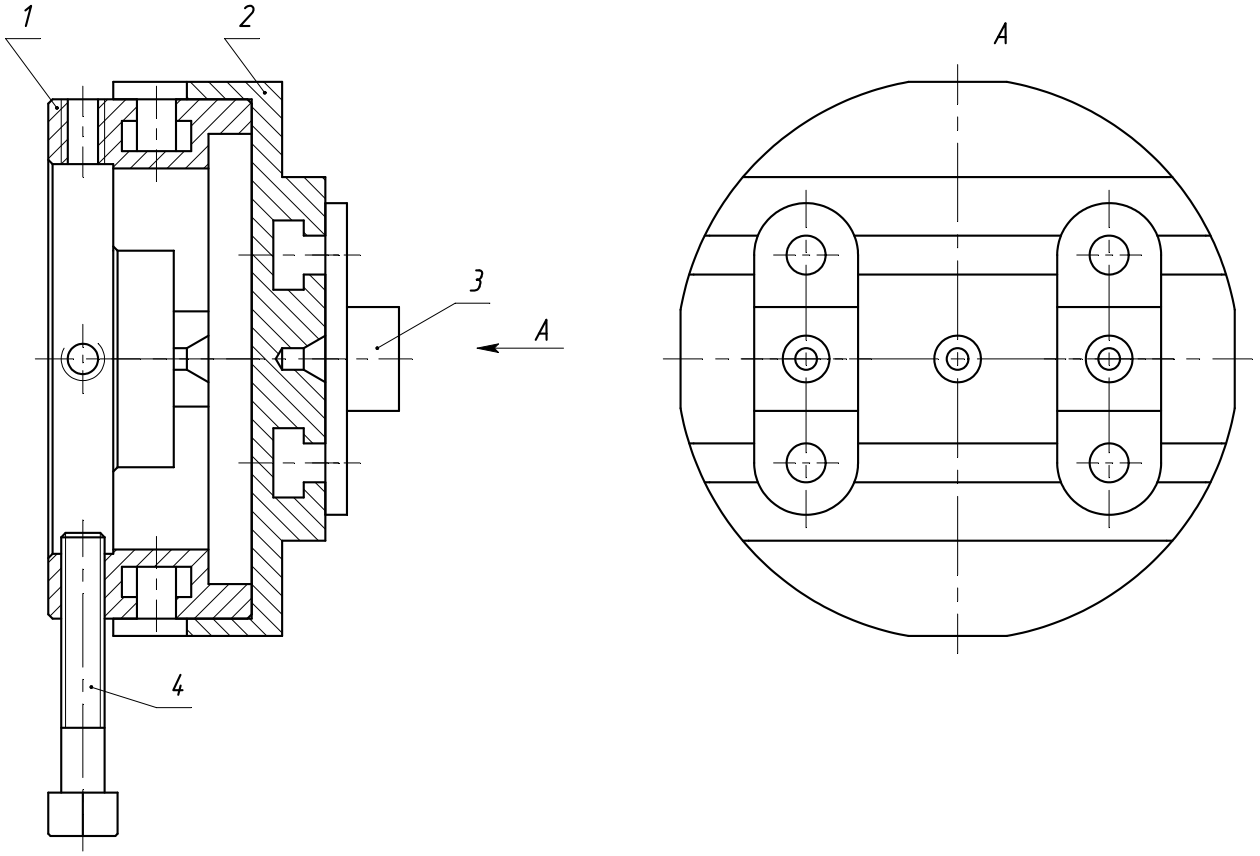


Рис. 1

Предлагаемое устройство (рис. 1) состоит из корпуса *1*, в котором имеются сквозные продольные отверстия для крепления с помощью болтового

соединения к фланцу коленчатого вала, и центровое отверстие для поджатия центром задней бабки станка при шлифовании коренных шеек коленчатого вала. По окружности наружной периферийной поверхности в корпусе имеется Т-образный паз для крепления с помощью болтового соединения поворотного стола *2*. Также в периферийной части корпуса имеются резьбовые отверстия (по меньшей мере - три, достаточно - четыре) для установки регулировочных болтов *4*. В торцевой части поворотного стола имеются два Т-образных паза для крепления к поворотному столу с помощью болтового соединения двух мостиков *3* с центровыми отверстиями.

На рис. 2 представлен корпус предлагаемого устройства, где 5 – сквозные продольны отверстия, 6 - Т-образный паз для крепления с помощью болтового соединения поворотного стола 2.

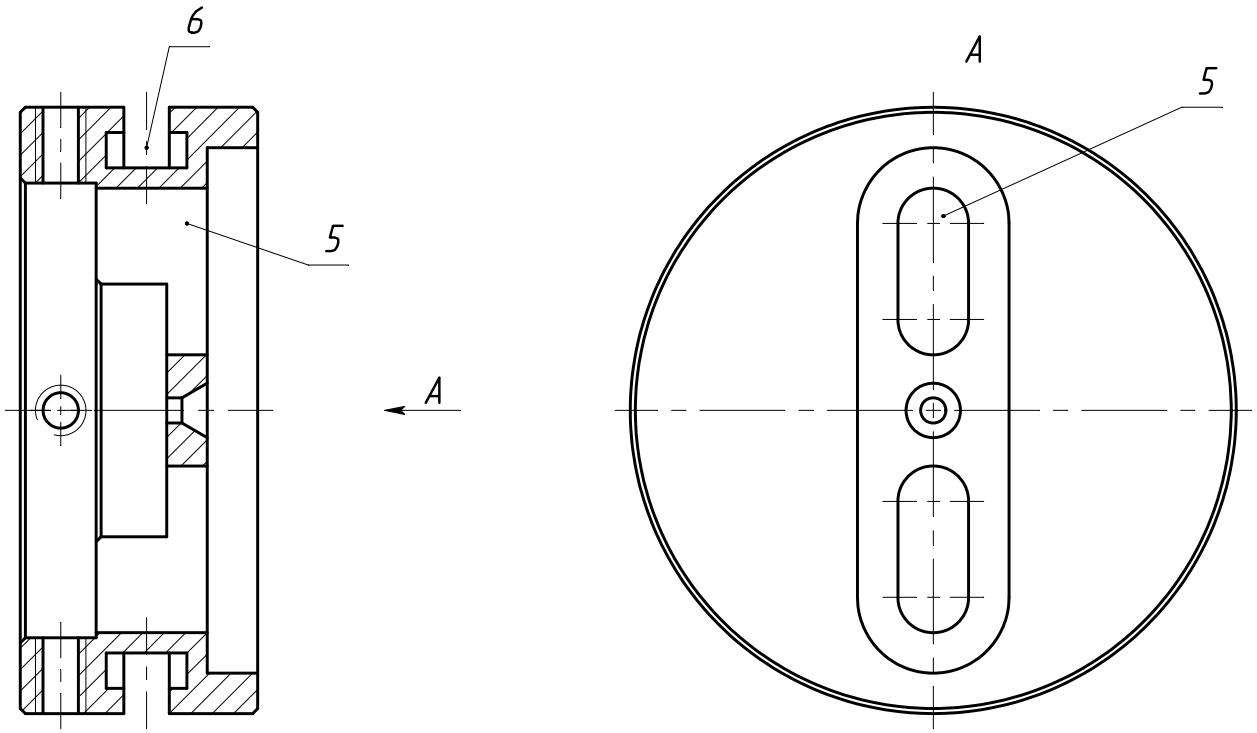


Рис. 2

Литература

1. Берденников Е.А. Проектирование технологического процесса механической обработки конструкционных материалов резанием: учебно-методическое пособие к курсовому проекту по дисциплине «Технология сельскохозяйственного машиностроения». – Вологда – Молочное: ИЦ ВГМХА, 2009.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОСТОВОГО КРАНА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

А.А. Новичихин
Научный руководитель ***В.Г. Попов****, канд. техн. наук, профессор*
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

Исследование целесообразности модификации конструкции существующих мостовых кранов с целью повышения числа степеней свободы каркаса крана методом конечно-элементного анализа посредством моделирования в среде AutodeskInventor для защиты от дефектов крановых путей.

На многих предприятиях металлургической и машиностроительной отрасли очень часто встречаются усталостные повреждения мостовых кранов. Трещины появляются в местах сочленений концевых и пролетных балок, нередко переходят и в несущие металлоконструкции. Следствием этого является большое число внеплановых ремонтов, которые, в свою очередь, зачастую нарушают технологический процесс работы всего предприятия, что несет за собой немалые экономические потери и авральную загруженность ремонтных бригад.

В качестве примера собрана статистика (рис. 1, 2) по производству холоднокатаного профиля (ПХП ЧерМК ОАО «Северсталь», г. Череповец):

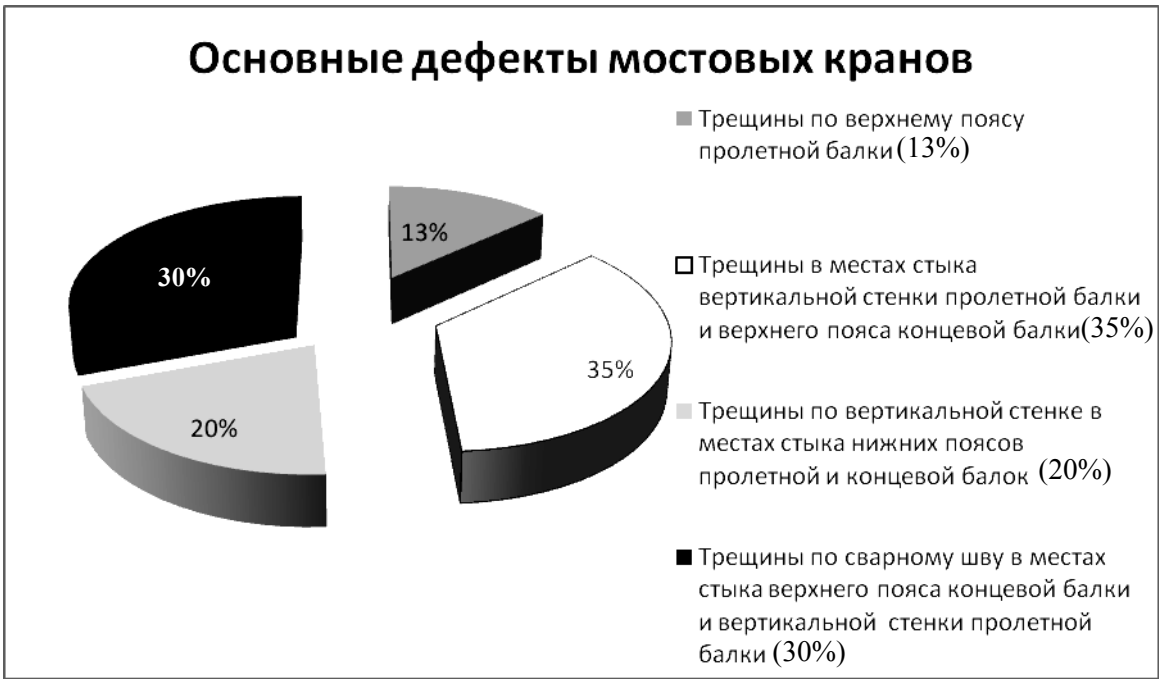


Рис. 1. Диаграмма распределения дефектов в мостовых кранах

Парк подъемно-транспортного оборудования предприятий частично или полностью подлежит замене, которую в современных реалиях невозможно осуществить.

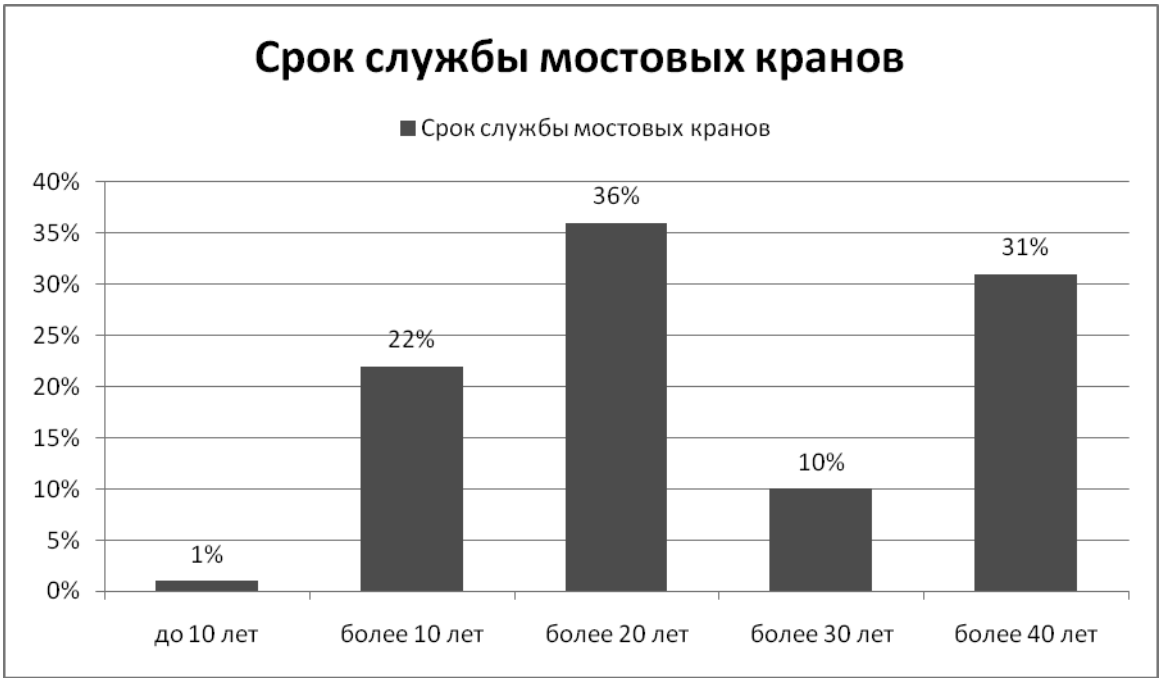


Рис. 2

При этом проблема не только в частой замене узлов и необходимости замены мостовых кранов целиком, но также угрозу представляют крановые пути, включая их опорные конструкции.

Согласно РД 10-387-97 [4] разность между высотными отметками рельса не должна превышать 40 мм. Эта норма, как правило, не выдерживается. Из-за этого возникают дополнительные напряжения в каркасе крана. При перекосе крана происходит перераспределение нагрузки на опорные колёса крана. Если это приводные колеса, тогда усилия от механизмов передвижения тоже распределяются неравномерно: происходит пробуксовка колёс. Это является причиной дополнительных вибрационных нагрузок, повышенного износа крановых колес, буксовых подшипников и т.п.

В такой ситуации встает вопрос об увеличении эксплуатационной надежности мостового крана с целью сокращения числа внеплановых и аварийных ремонтов кранов из-за усталостных трещин металлоконструкции, в том числе и в расширении диапазона условий работы крана.

Проводимый анализ путей решения проблемы заключался в обзоре известных изобретений и исследований.

Проведенные на сегодняшний день исследования представляют собой большое количество способов и методов диагностики крана для определения характера нагруженного состояния, характера внутренних напряжений, остаточных деформаций, но не предлагают путей изменения конструкции крана для обеспечения его безаварийной эксплуатации [5, 6].

Проведенный обзор изобретений в области мостовых кранов показывает, что в основном изобретения направлены на повышение ремонтопригодности крана. Разработок для снижения числа внеплановых ремонтов, вызванных появлением усталостных дефектов, - лишь малая часть, представляющая собой различные вариации на тему балансирных тележек, подпружиненных колесных узлов и т.п. [7, 8, 9, 10, 11].

Стоит отметить и тот факт, что подавляющее большинство кранов не имеют в своей основе ни одного из запатентованных изобретений или примененных исследований.

В данной работе предлагается заменить классическую схему конструкции крана на схему с увеличенным числом степеней свободы внутри конструкции путем реконструирования существующего мостового крана в рамках капитального ремонта или иных продолжительных ремонтов. Известны реальные краны производства Польши, фирмы Nores, также построенные по принципу снижения жесткости каркаса крана.

В классической схеме (рис. 3) при несоблюдении высотных отметок возникает перекос в каркасе крана.

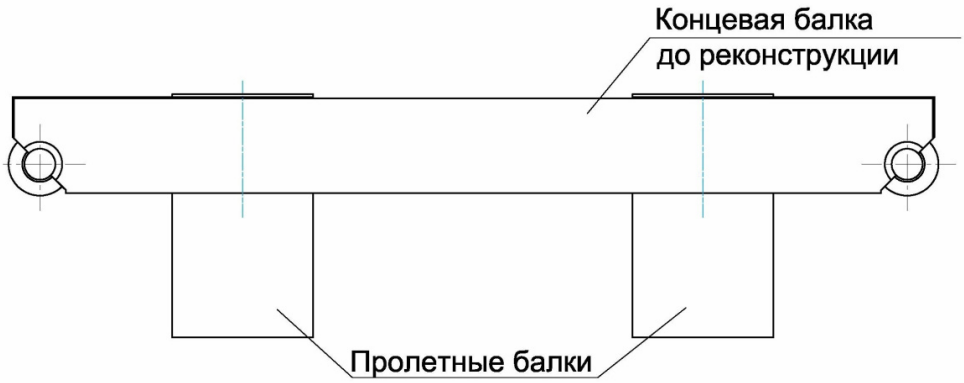


Рис. 3. Концевая балка в обычном исполнении

Предложенный вариант исполнения концевой балки имеет большую гибкость, в связи с установкой шарнирной тяги (рис. 4).

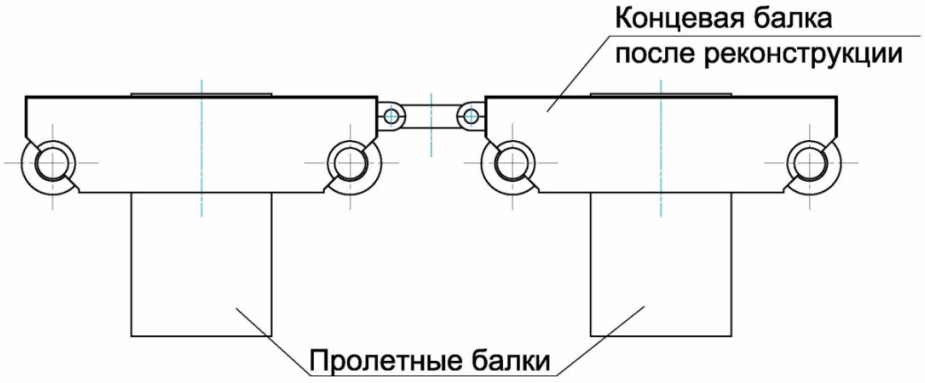


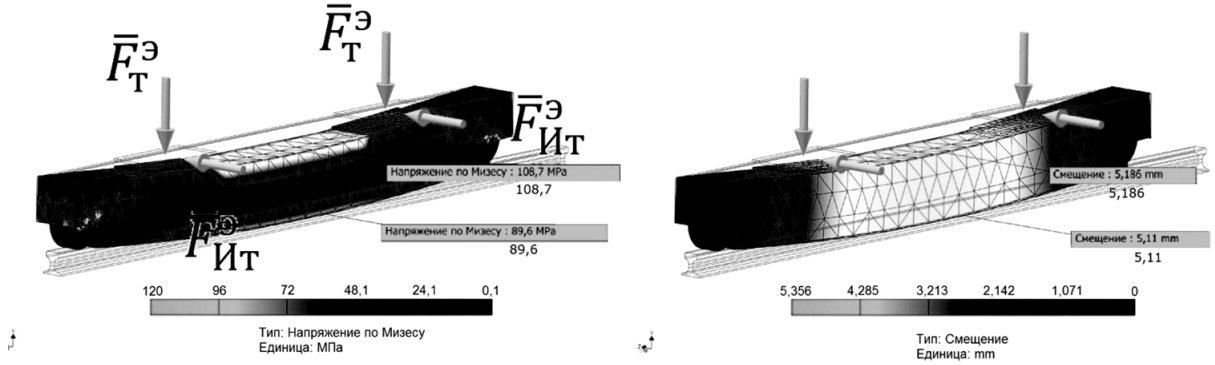
Рис. 4. Предлагаемое исполнение концевой балки

Шарнирная тяга может иметь разные исполнения, суть же ее сводится к тому, чтобы соединить две независимые части крана в единое целое и сохра-

нить ширину колеи крановой тележки. В рассмотренном случае шарнирная тяга представляет собой пустотелую деталь прямоугольного профиля, соединенную с частями балки шарнирной связью.

В качестве метода расчета применимости такой схемы был произведен сравнительный анализ путем статического расчета нагруженной концевой балки и крана с заданным условием разности высотных отметок между опорами рельса 80 мм методом конечно-элементного анализа посредством компьютерного моделирования в среде AutodeskInventor (для расчета выбран типичный кран МК 50/12,5).

Для нереконструированной концевой балки были рассчитаны основные напряжения и смещения под действием так называемой, перерезывающей силы – когда тележка крана расположена около концевой балки. Как видно, самые большие напряжения возникают в серединном сечении концевой балки по верхнему поясу. Значения напряжений достигают 106 МПа, а смещения 5,1 мм (рис. 5).

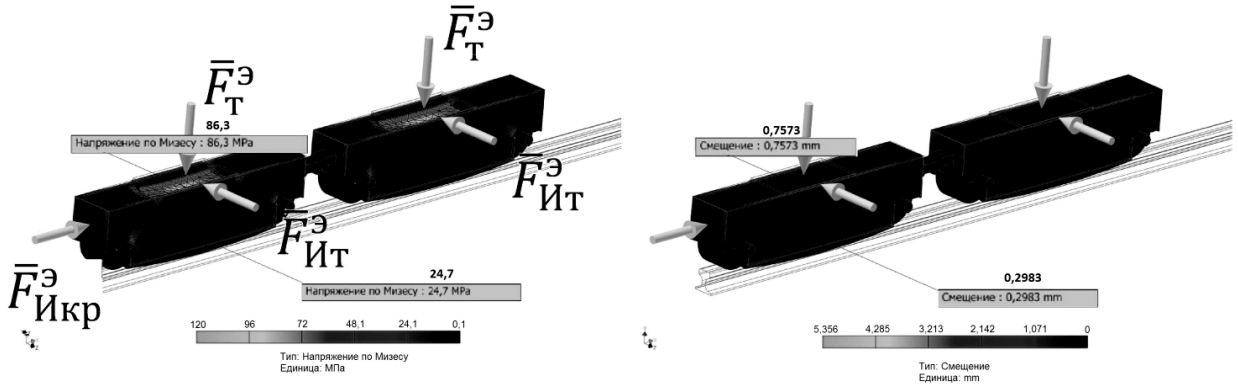


$\bar{F}_{т}^{э}$ – эквивалентная сила тяжести от веса груза и веса крана

$\bar{F}_{Ит}^{э}$ – эквивалентная сила инерции торможения тележки

Рис. 5. Схема расчета концевой балки до реконструкции

На рис. 6 представлен аналогичный расчет концевой балки после реконструкции в том же масштабе. Как видно, дополнительные колеса полностью снимают из серединного сечения напряжения от веса груза. Максимальные напряжения не превышают 86 МПа, а смещения не достигают и 1мм.



$\bar{F}_{т}^{э}$ – эквивалентная сила тяжести от веса груза и веса крана
$\bar{F}_{Ит}^{э}$ – эквивалентная сила инерции торможения тележки
$\bar{F}_{Икр}^{э}$ – эквивалентная сила инерции торможения крана

Рис. 6. Схема расчета концевой балки после реконструкции.

На рис. 7 представлен расчет крана до реконструкции с учетом разности высотных отметок 80мм. Схематично изображен рельс, который показывает, в каком месте моделировалась разность отметок. Как видно, от перекоса возникают дополнительные напряжения не только в серединном сечении концевой балки, но и уже в пролетных балках.

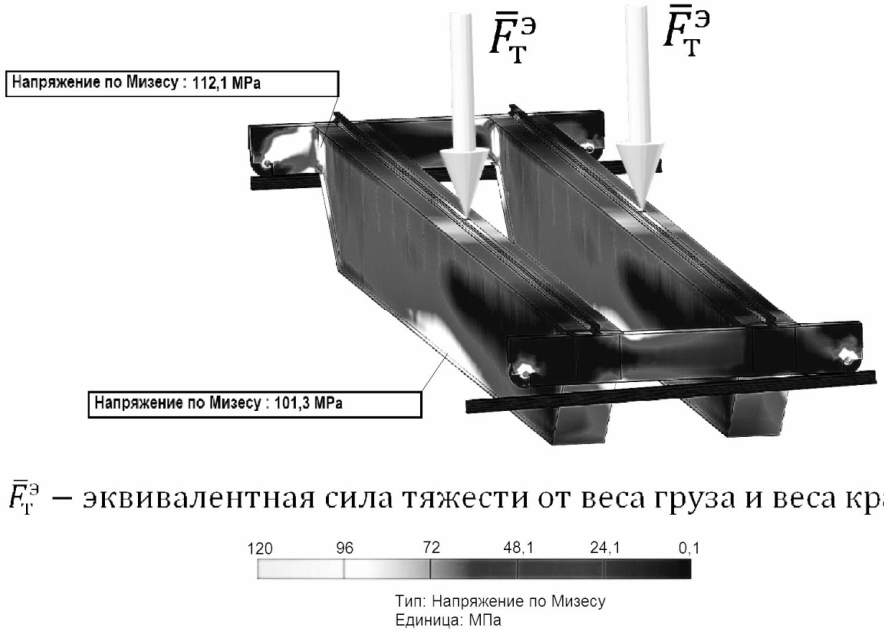


Рис. 7. Схема расчета крана до реконструкции

На рис. 8 представлен аналогичный расчет крана после реконструкции. Здесь не возникают дополнительные напряжения от перекоса как в пролетных балках, так и в концевых балках. Метки сняты в областях максимального напряжения металлоконструкции.

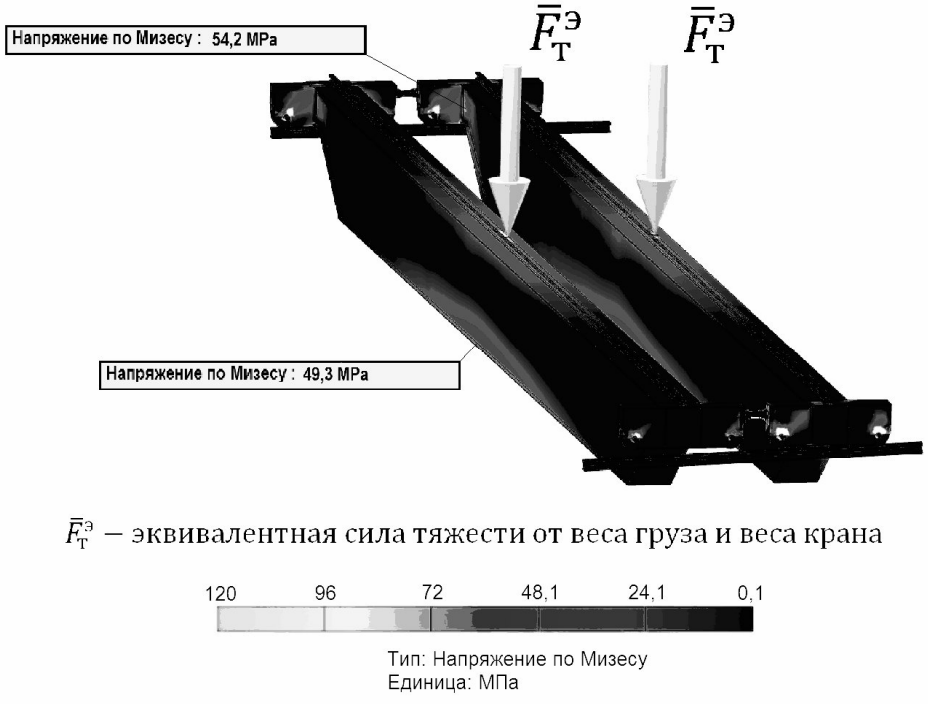


Рис. 8. Схема расчета крана после реконструкции

Исходя из полученных посредством компьютерного моделирования результатов, можно сделать вывод об эффективности выбранной схемы: рис. 5, 6 – напряжения концевой балки от перерезывающей силы снижаются на 19% (106 МПа -> 86 МПа); рис. 7, 8 – эквивалентные нагрузки при несовпадении высотных отметок концов рельсов снижаются на 45-50% (101,3 МПа ->49,3) МПа.

В связи с этим отчетливо видна необходимость проведения дальнейших исследований и натурных экспериментов на заданную тему, а именно: понижение жесткости каркаса крана путем увеличения числа степеней свободы внутри каркаса крана.

Литература

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.97 г.

2. Короткий А.А., Павленко А.Н. Определение нагруженности мостовых кранов. Серия «Подъемно-транспортные машины и оборудование». Вып. 2. – Изд. ТулГУ, 1999.

3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Ростехнадзор России. (ПБ-10-382-00).

4. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин: Руководящий нормативный документ (РД-10-138-97).

5. Лобов Н. А. Разработка основ динамики передвижения кранов по рельсовому пути и методов повышения ресурса работы крановой системы: дис. …д-ра техн. наук. – М., 2006. –294 с.

6. Москвичева Л.Ф. Несущая способность элементов металлоконструкций мостовых кранов при статическом и циклическом нагружениях: дис. …канд. техн. наук. – Красноярск, 2002. – 152 с.

7. Труды Международной конференции RDAMM–2001: тезисы. Т. 6, ч. 2, спец. выпуск 311, 2001.

8. Пат. 2063922 РФ, МПК[8] В 66 С 17/00 Мостовой кран / Плиско А.А.; Стафеев Н.М.; Юрищев В.А.; Гурулев С.И.; Астафьев В.В.; заявитель и патентообладатель Тов-во с огр. ответ. КБ "Востокподъеммаш" – № 93048552/11; заявл. 19.10.1993; опубл. 20.07.1996; Бюл. № 20. – 3 с. : 6 ил.

9. Пат. 2063922 РФ, МПК[8] В 66 С 17/00 Мостовой кран / Ямлеев У.А.; Кудряшова Р.А.; Фокеев Д.Н.; заявитель и патентообладатель Ульяновский государственный технический университет – № 2000114927/28; заявл. 09.06.2000; опубл. 27.06.2002; Бюл. № 23. – 3 с.: 4 ил.

10. Пат. 2003636 РФ МПК[8] В 66 С 17/00 Узел соединения моста крана с ходовыми колесами / Будовой А.М.; Дмитриев Л.С.; Федоров Б.И.; заявитель и патентообладатель Производственное объединение «Сибтяжмаш» № 4921282/11; за-явл. 21.03.1991; опубл. 30.11.1993, Бюл. № 43-44 – 4 с.: 4 ил.

11. А.с. 906909 МКИ[3] В 66 С 17/00 СССР Мостовой кран/ Еремич Г.А.; Швалов Н.А. - № 2900207/29-11; за-явл. 28.03.80; опубл. 23.02.82; Бюл. № 7. – 3 с.: 4 ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УСКОРЕНИЯ ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ ЧАСТИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ

А.Ю. Сальников
Научный руководитель ***И.К. Александров*** *д-р техн. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

По мнению большинства автомобилистов, главными требованиями предъявляемыми к автомобилю, является надёжная работа в любых дорожных условиях и комфорт. К последнему обычно относят благоприятный климат в салоне в летний и зимний период года, причём для жителей северных регионов наиболее важным является прогрев салона, быстрое оттаивание стёкол, на это может уходить от 5 до 10 минут драгоценного времени, по этому, пользуются популярностью системы автозапуска двигателя и предпусковые подогреватели. И это вполне понятно: легкий пуск двигателя в мороз, экономия топлива при прогреве, повышение комфортабельности. Повышается безопасность движения – т.к. нагретое ветровое стекло не запотевает. Экономится время, что важно для делового человека. Водитель реже простужается - можно сэкономить еще и на лекарствах.

Но у предлагаемых устройств есть и недостатки: значительная стоимость (предпусковых подогревателей более *30 тыс. руб*.), увеличение расхода топлива, при ежедневном использовании до *25%*.

Таким образом, устройство прогрева должно быть дешёвым и не расходовать лишнее топливо.

Считаем, что инженеры не используют существующие возможности двигателей внутреннего сгорания (ДВС). КПД двигателя не превышает *35%,* остальная часть отводится в виде тепла через стенки цилиндра и выпускную систему. Согласно существующим данным [1] не менее *30%* в дизельных двигателей и *40%* бензиновых энергии сгорания топлива отводится в выпускную систему в виде тепла вместе с продуктами сгорания топлива, причём значительная часть уже сразу после запуска двигателя, что можно использовать для прогрева двигателя и салона автомобиля.

При среднем часовом расходе топлива $Q = 3л/ч$ (*9-10 л/100км*) количество тепловой энергии, отводимой в выпускную систему составит:

$$W_ч = Q \times \rho \times H_U \times 0{,}3 = 3 \times 0{,}7 \times 43500 \times 0{,}3 = 27405 \text{, кДж/ч,}$$

где Q – часовой расход топлива, л/ч;

ρ – плотность бензина марки Аи-95;

H_U – удельная теплота сгорания, *кДж/кг*.

Тепловая мощность выпускных газов составит:

$$P = \frac{W_ч}{3600} = \frac{27405}{3600} = 7{,}6\,кВт$$

Исходя из расчёта следует, что в выпускную систему отводится до *7,6 кВт* тепловой мощности, конечно с условием, что детали двигателя и выпускной системы уже прогреты. Теплообменник (экономайзер) выпускных газов может забирать часть тепловой энергии и передавать её теплоносителю (охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя) [1].

Конструктивные особенности позволяют установить теплообменник, на большинстве автомобилей - это свободный участок между каталитическим нейтрализатором (КН) и дополнительным глушителем. Температура выпускных газов здесь может достигать нескольких сотен градусов, опасения вызывает КН, поглощающий тепло в первые минуты запуска двигателя.

Для определения изменения температуры выпускных газов после запуска холодного ДВС проведено исследование. В вышеупомянутый участок выпускной системы легкового автомобиля установлен датчик температуры, произведён замер температуры выпускных газов во время прогрева двигателя с интервалом 10 секунд, до момента повышения температуры охлаждающей жидкости выше 50º С.

На графике (рис. 1) показано изменение температуры после запуска холодного двигателя при температуре окружающего воздуха *+6ºС*.

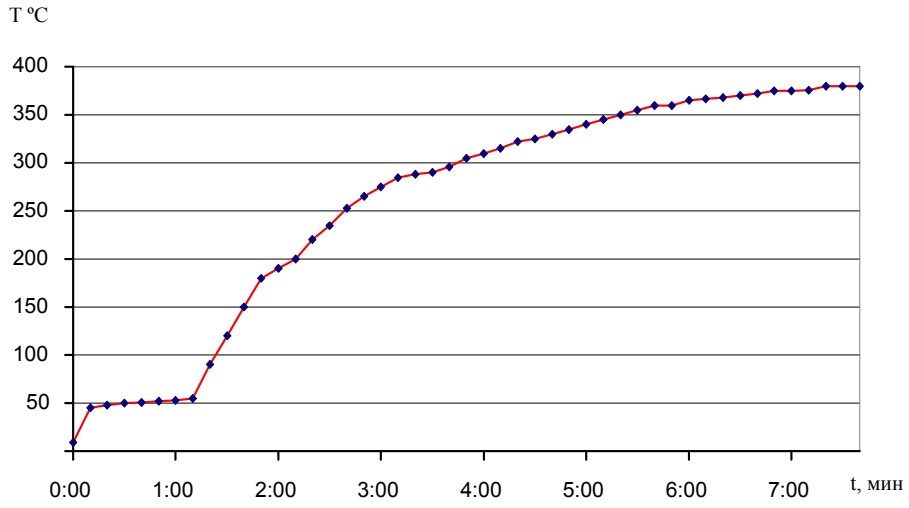


Рис. 1. Изменение температуры выпускных газов после запуска двигателя

Как видно из графика в течение первых *70 сек.* температура не превышает *50 ºС*, что может быть вызвано поглощением тепла элементами двигателя и выпускной системы. В течение следующих 3 мин. температура газов достаточно интенсивно поднималась до *300 ºС*.

Тепловая энергия выпускных газов, изменяется от *0* до *7,6кВт*, но эффективность поглощения тепла выпускных газов достаточно трудно предсказать.

При реализации подобных устройств особое внимание должно быть уделено безопасной работе. Поток выпускных газов должен нагревать охлаждающую жидкость только при прогреве двигателя, а в дальнейшем перенаправляться по обходному сечению. Решение этой проблемы требует дополнительных исследований, проведения конструкторских работ и испытаний на надёжность [2].

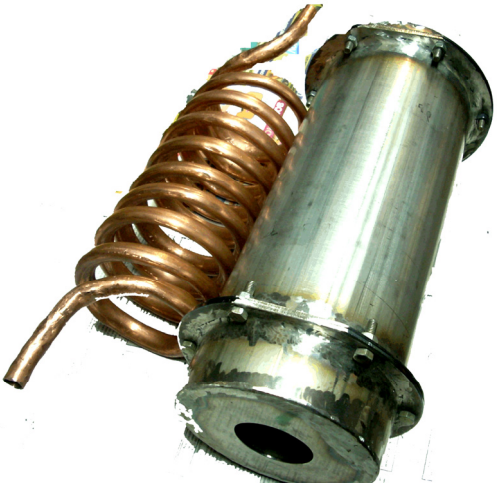


Рис. 2. Опытный образец теплообменника

Рис. 3. Эксперимент по работе теплообменника

Разработан теплообменник типа «Труба в трубе», в котором тепло передается от горячего газа к холодной жидкости. Основные элементы теплообменника (рис. 2) – корпус теплообменника из нержавеющей стали Ст 08Х18Н10 и медная трубка, по которой протекает охлаждающая жидкость.

В лабораторных условиях был проведен эксперимент, имитирующий работу устройства на автомобиле. Для этого был взят промышленный фен, настроенный на температуру 415°С и имитирующий температуру выпускной системы. К теплообменнику были подсоединены резиновые шланги, через которые циркуляционный насос производил циркуляцию жидкости в ведре, в котором находилась вода. В ведре с водой находился датчик температуры, измеряющий изменение температуры жидкости в процессе эксперимента [3].

Опытный образец для проведения эксперимента изображен на рис. 3.

Данные для эксперимента:

$V_{воды}$=2,5 л;

$T_{на\ входе}$=250°С;

$T_{на\ выходе}$=120°С;

$T_{окр.\ среды}$=5°С.

Таблица 1

Время прогрева жидкости при Т=250°С

Температура жидкости	Время прогрева
10^0C	2:10 мин
15^0C	4:25 мин
20^0C	7:00 мин
25^0C	9:20 мин
30^0C	11:40 мин
34^0C	15:00 мин

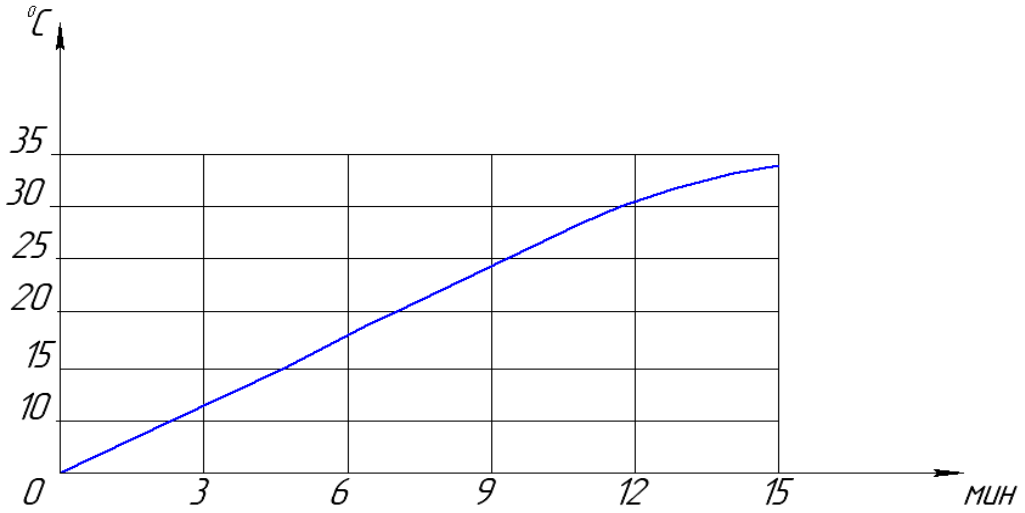


Рис. 4. График зависимости температуры прогрева от времени прогрева

$V_{воды}$=2,5 л;
$T_{на\ входе}$=415°С;
$T_{на\ выходе}$=200°С;
$T_{окр.\ среды}$=5°С.
Начало измерения с температуры жидкости 31°С.

Таблица 2

Время прогрева жидкости при Т=415°С

Температура жидкости	Время прогрева
35^0C	1:05 мин
40^0C	3:06 мин
45^0C	6:25 мин

Полученные результаты отличаются от теоретических расчетов. В ходе эксперимента происходили потери тепла, так как система была не герметична, потери 10°С за 11 мин, это сильно повлияло на конечный результат. Также мы не получали тепла от работающего двигателя. Можно сделать вывод, что при работе устройства на автомобиле показатели будут намного лучше.

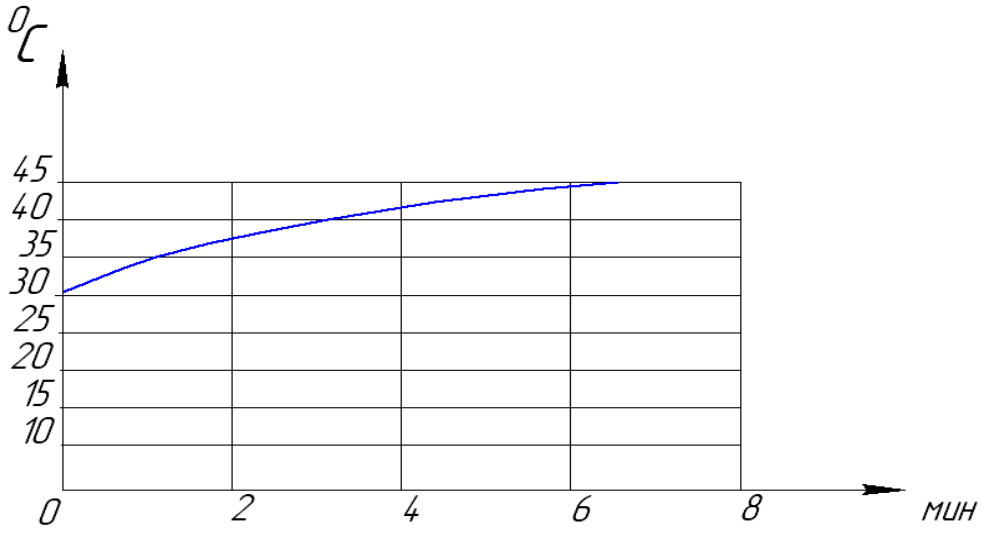


Рис. 5. График изменения температуры жидкости от 31 °С

В дальнейшем эксперименты планируется проводить на настоящем автомобиле.

Литература

1. Топливная экономичность автомобилей с бензиновым двигателями / Т.У. Асмус, К.Боргнакке, С.К. Кларк и др.; Пер. ред. Д. Хилларда, Дж.С. Спрингера; Под с англ. А.М.Васильева; Под ред. А.В.Кострова. – М.: Машиностроение, 1988. – 504 с.

2. Теплотехника: учеб. для вузов / Под ред. А.П. Баскакова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

3. Автомобильный справочник: Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТВЕРДОГО РЕЗАНИЯ В ПОДШИПНИКОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

К.В. Смирнова

Научный руководитель ***А.С. Степанов****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Подшипник – незаменимая часть почти всех без исключения вращающихся деталей различных механизмов. От миниатюрных до почти гигантских размеров, от высокоскоростных до тихоходных но максимально точных, все они исполняют одну основную задачу – обеспечивают вращение или поворот одной детали относительно другой.

Стандартной технологией изготовления колец крупногабаритных подшипников является технология токарной обработки поковки, закалки и последующего шлифования. Самой затратной операцией является операция шлифовки. Она составляет до 70% общей трудоемкости изготовления подшипника. Шлифовальная операция требует дорогостоящего оборудования, большого количества абразивов, смазывающе-охлаждающих жидкостей, необходимо утилизировать образующийся при этом экологически опасный шлифовальный шлам.

В современных условиях производства всё большую популярность набирает современная и эффективная альтернатива шлифовке – твердое точение.

Твердое точение – это токарная обработка сталей твердостью 45 - 65 HRC.

Твердое точение является новой технологией обработки металлов резанием, дающей возможность заменить точением операции шлифования закаленных деталей.

В сравнении со шлифованием твердое точение по уровню затрат ниже на 70% и характеризуется гибкостью, небольшим вспомогательным и подготовительным временем и высоким качеством обработки.

Кроме того замена шлифования твердым точением снижает трудоемкость изготовления деталей и, как следствие, увеличивает экономичность процесса обработки.

Основные преимущества твердого точения:

- Точность обработки при твердом точении не уступает точности при шлифовании.
- Съем материала при твердом точении в три раза меньше, чем при шлифовании.
- Время обработки при твердом точении в несколько раз меньше, чем при шлифовании.
- Нет необходимости в применении СОЖ.
- Возможна обработка сложнопрофильных деталей одним резцом, в то время как на шлифовальном станке такая обработка требует замены кругов и переналадки станка, либо трудоемкой правки шлифовальных кругов (рис.1):

Рис. 1. Обработка сложной поверхности фасонным шлифовальным кругом и твердым точением

- Процесс твердого точения происходит на том же станке, на котором осуществляется и обычная токарная обработка незакаленных деталей, что тоже повышает гибкость и универсальность процесса.

- Более дешевый процесс утилизации стружки по сравнению с отходами после шлифования.

Из всего многообразия современных инструментальных материалов данным требованиям удовлетворяют только материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) и режущая керамика. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Керамика существенно дешевле, но плохо воспринимает ударные нагрузки. Кубический нитрид бора менее восприимчив к ударным нагрузкам, но обладает более высокой стоимостью. Использование пластин на основе КНБ при точении заготовки с твердостью меньше 40-42 HRC приведет к разрушению пластины, поэтому использование КНБ ограничено на заготовках с переменной твердостью. Заготовки колец подшипников после тормообработки имеют твердость HRC 61…64.

Для твердого точения выбираем инструментальные пластины фирмы Секо (Швеция) (рис. 2) из кубического нитрида бора (CBN). В таблице приведены данные о пластинах и державках.

Таблица

Используемый инструмент и оснастка

Инструмент используемый на основном шпинделе			Инструмент на дополнительном шпинделе		
Наименование перехода	Используемый инструмент		Наименование перехода	Используемый инструмент	
	Державка	Пластина		Державка	Пластина
Подрезка торца предварительная	CRSNL25 25M06	RNGN 060300S-01020 CBN100	Подрезка торца предварительная	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P
Подрезка торца окончательная	CRSNL25 25M06	RNGN 060300S-01020 CBN100	Подрезка торца окончательная	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P
Расточка отверстия предварительная	S32S-CTUNR11	TNGN 110312S CBN100P	Подрезка торца опорного борта предварительная	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P
Расточка отверстия окончательная	S32S-CTUNR11	TNGN 110312S CBN100P	Подрезка торца опорного борта окончательная	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P
			Обточка диаметра опорного борта	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P
			Обточка дорожки качения предварительная	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P
			Обточка дорожки окончательная	CTFNR25 25M11	TNGN 110312S CBN100P

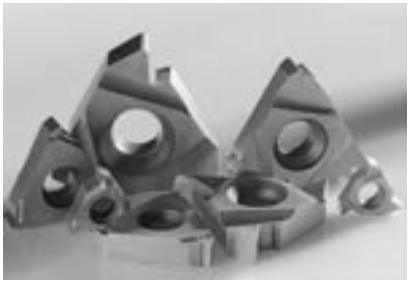


Рис. 2. Пластины фирмы Seco

Силы, возникающие во время обточки особо твердых деталей, требуют прочного гнезда под инструмент. Револьверная головка, оснащенная подвижными инструментами, значительно увеличивает гибкость станка. Беспрепятственный поток стружки необходим как крайне важный критерий для комбинированного станка. Наиболее важными факторами, определяющими возможность применения твердого точения, является станок соответствующей точности и жесткости. Твердость закаленной стали соответствует стеклу, поэтому высокие нагрузки на режущий инструмент и обрабатываемую деталь могут приводить к нестабильности всей системы СПИД (станок–приспособление–инструмент–деталь), что требует применения оборудования повышенной жесткости.

Можно выделить основные показатели, которыми должно обладать оборудование для твердого точения:

1. Высокая геометрическая точность;
2. Высокая статическая жесткость;
3. Высокая динамическая жесткость;
4. Температурная стабильность;
5. Обеспечение стабильного хода стружки.

Для твердого точения выбран станок SKT 300MS.

В условиях ЗАО «ВПЗ» были проведены работы по внедрению твердого точения закаленных колец железнодорожных буксовых подшипников 42726.02 (рис. 3). К кольцам подшипников предъявляются высокие требования по точности, поэтому было решено перевести на токарную обработку только операции предварительного шлифования, на которых снимается основной припуск. Операции окончательного шлифования, формирующие шероховатость и микрогеометрию поверхностей, оставили без изменений.

Оценить возможность внедрения технологического процесса изготовления колец 42726.02 без использования операций предварительного шлифования путем реализации следующего маршрута: термообработка – твердое точение- окончательное шлифование отверстия – тонкое шлифование дрожки качения. Для этого необходимо обеспечить при токарной обработке непостоянство высоты кольца и непостоянство высоты опорного бортика в пределах

требований конструкторского чертежа, непостоянство диаметров дорожки качения и отверстия в переделах 0,010 мм.

Была изготовлена опытная партия колец 42726.02 с использованием операции токарной обработки колец в термообработанном состоянии. Обрабатываемая деталь – заготовка кольца 42726.02 после операции термообработки, твердость HRC 61-64.

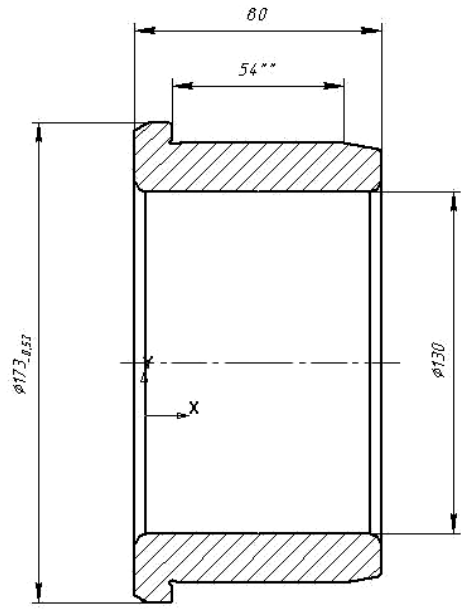


Рис. 3. Кольцо 42726.02

Реализация предложенного маршрута обработки позволила использовать одну операцию токарной обработки взамен трех шлифовальных операций. Это позволило уменьшить время обработки детали на этих операциях до 4 минут или в 2,5 раза по сравнению с существовавшей технологией.

Таким образом внедрение операции токарной обработки закаленных колец буксовых подшипников позволили снизить затраты на изготовление, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду, улучшить условия труда. В среднем твердое точение практически всегда на 35-50% экономически эффективнее шлифования.

Литература

1. Каталог «Секо» http://www.spec prom.ru/catalog/seco/handling_ holes.php

2. Лакирев С.Г. Обработка отверстий: справочник. – М.: Машиностроение, 2004. – 208 с.

3. Янош Кундрак, д.т.н., проф., Мишкольцский университет (Венгрия) Статья «Твердое точение: технологические возможности и экономическая эффективность» http://informdom.com/equipment/metall/article/1045/

4. http://www.parsek-spb.ru/2010/04/28/tvyordoe-tochenie/

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ

О.В. Смирнова
Научный руководитель ***А.С. Степанов****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Основной целью высокоскоростной обработки является существенное повышение производительности обработки за счет увеличения режимов резания. Главные отличия высокоскоростной обработки от обычной заключаются в увеличении скорости резания, увеличении подачи, уменьшения сечения стружки, сокращении до минимума температуры на режущей кромке, уменьшении усилий резания и износа инструмента.

Применение технологии высокоскоростной обработки предъявляет дополнительные требования к инструменту, станку и процессу подготовки производства. В частности, станки для высокоскоростной обработки должны обладать шпиндельными подшипниками с высокой скоростью вращения, высокой мощностью шпинделя; узлы подачи и их управление должны обеспечивать максимальную динамику линейных перемещений; сама структура станка должна быть как можно более жесткой; станок должен обеспечивать подачу смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) через шпиндель под высоким давлением или быть оснащенным системой минимальной подачи СОЖ.

Режущий инструмент является составной частью комплексной автоматизированной системы станка с ЧПУ. Тщательному выбору и подготовке инструмента для станков с ЧПУ и ГПС должно удаляться особое внимание. Это связано с высокой стоимостью этого оборудования и необходимостью достижения максимальной производительности и более высокой точности обработки. Для обеспечения автоматического цикла работы этих станков требуется более высокая степень надежности работы инструмента.

Режущий инструмент для высокоскоростных станков с ЧПУ должен удовлетворять следующим требованиям: обеспечению высоких и стабильных режущих характеристик; удовлетворительному формированию и отводу стружки; обеспечению заданных условий по точности обработки; универсальности применения для типовых обрабатываемых поверхностей различных деталей на разных моделях станков; быстросменности при переналадке на другую обрабатываемую деталь или замене затупившегося инструмента.

Применение сборного инструмента со сменными многогранными пластинами (СМП) позволяет повысить эксплуатационные качества инструмента, обеспечивает значительную экономию дефицитных режущих материалов. Вместе с тем создаются благоприятные условия для широкого применения более износо- и теплостойких режущих материалов.

Задача обеспечения надежности для высокоскоростного режущего инструмента решается созданием новых инструментальных материалов с повышенным износо- и теплостойкостью, прочностью и твердостью.

В качестве материалов для изготовления лезвийного инструмента для станков с ЧПУ используют: твердые сплавы, керамику, сверхтвердые синтетические материалы и быстрорежущие стали.

Твердые сплавы подразделяются на четыре группы: вольфрамовые, титано-вольфрамовые, титано-тантало-вольфрамовые и безвольфрамовые. Они различаются по химическому составу, физико-механическим и эксплуатационным свойствам. Основным направлением повышения работоспособности твердих сплавов является нанесение на них износостойких покрытий, повышающих стойкость инструмента по сравнению с непокрытым инструментом, применяемым в тех же областях, в 3-4 раза.

В качестве покрытий применяют в основном карбид титана толщиной 5-6 мкм, наносимый газофазным методом (CVD), и нитрид титана, наносимый плазменно-вакуумным методом (PVD) .

Керамические пластины для режущего инструментов изготавливают прессованием и спеканием из составных элементов. Белая или оксидная керамика состоит из 99 % оксида алюминия (Al2O3 на основе Si3N4 новая керамика). Высокая твердость основы и ее тугоплавкость предопределяет хорошие режущие свойства керамики, однако изгибная прочность оксидной керамики находится на низком уровне (250-350 Н/мм2). Прочность керамики увеличивают добавлением карбидов металлов, в частности карбида титана (так называемая черная керамика). При этом прочность на изгиб увеличивается до 700-750 Н/мм2.

При обработке сталей таким инструментом скорость резания 200-250 м/мин, чугунов - 150-250 м/мин.

В последние годы расширилось применение покрытий инструмента из быстрорежущей стали нитридом титана в целях повышения стойкости.

Отработаны следующие рекомендации по эксплуатации инструмента с покрытием:

- наибольшему износу должна подвергаться та поверхность инструмента, которая не перетачивается после затупления;
- ленточка износа по задней поверхности инструмента, которая не перетачивается обычно как критерий затупления;
- даже инструмент с остро заточенными зубьями следует перетачивать только по одной поверхности, в основном по передней так, чтобы на задней поверхности покрытие осталось;
- поскольку различие в стойкости покрытого и непокрытого инструментов возрастает с повышением скорости резания, следует работать на более высоких скоростях резания для повышения производительности труда и увеличения суммарного числа деталей, обработанных одним инструментом.

Требования к материалам режущих инструментов.

Режущая часть (режущий клин) инструментов при работе подвергается истиранию, тепловым воздействиям и силовым нагрузкам, осуществляя непрерывное деформирование срезаемого слоя. Эти очень тяжелые условия работы определяют требования к материалам режущей части. Пригодность подобных материалов определяется их твердостью, теплостойкостью, механической прочностью, износостойкостью, технологичностью и стоимостью.

Понятно, что внедрение одного материала (клина) в другой (заготовку) возможно лишь при преобладающей твердости первого. Из табл. 1 видно, что алмаз и кубический нитрид бора имеют наиболее высокую твердость, а твердые сплавы и минералокерамика значительно тверже закаленных инструментальных сталей. Твердость большинства конструкционных материалов ниже твердости соответствующего инструмента. Однако под воздействием высокой температуры при резании твердость многих материалов снижается и, в частности, твердость инструмента может оказаться недостаточной для осуществления резания.

Инструмент с температурой выше критической эффективно работать не будет (табл. 1). Очевидно, что эта температура определяет допустимую скорость резания.

Таблица 1

Материалы	Марка	Микро-твер-дость, МПа	Тепло-стой-кость, К	Предел прочности, МПа		Удельная вязкость, Дж/м^2*10^{-6}	Коэф-ент относитель-ной скорости резания
				на из-гиб	на сжа-ние		
Твердые сплавы	Т15К6 ВК8	27500 15700	1176 1123	1130 1570	3900 4410	2,94 5,88	4 3
Быстро-режущая сталь	Р18	13200	888	3530	3530	9,81	1
Минерало-керамика	ЦМ33 2	22500	1473	390	1470	0,98	5-7
Куби-ческий нитрид бора	Эль-бор	90700	1573	785	-	-	6-8
Алмазы	А	98700	973	290	1960	-	1,5

Высокоскоростная обработка резанием деталей из черных и цветных металлов является новой и прогрессивной технологией, которая интенсивно разрабатывается и внедряется в практику [3].

Высокоскоростным следует считать резание, при котором скорость возрастает в 10 и более раз по сравнению с уровнем, установившемся для данного обрабатываемого материала.

Уровень скоростей резания сталей и чугунов в машиностроении в настоящее время составляет 100 – 300 м/мин, а закаленных сталей на порядок ниже.

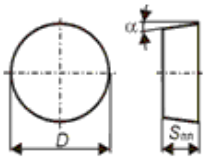
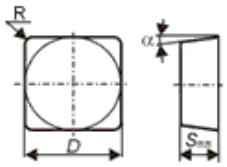
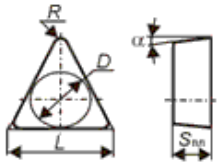
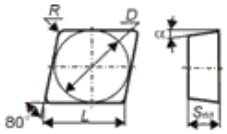
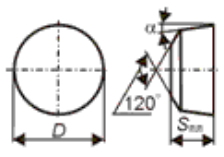
Рост скорости ограничивается теплофизическими характеристиками традиционных инструментальных материалов – твердых сплавов и быстрорежущих сталей.

Высокоскоростное резание – 500 – 5000 м/мин и более, оно возможно на базе внедрения качественно новых инструментальных материалов.

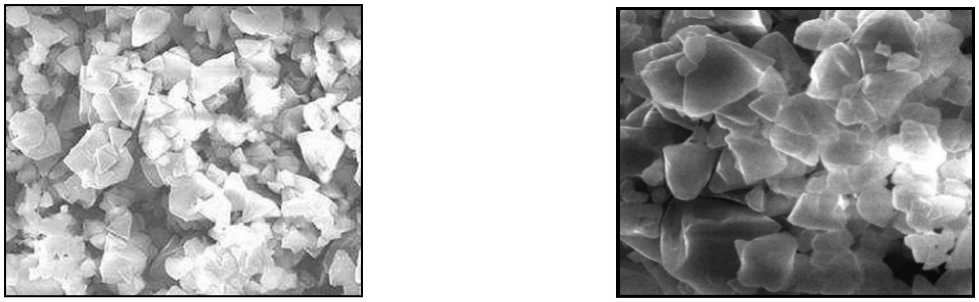
РСД – синтетические сверхтвердые материалы на основе поликристаллических алмазов.

Типоразмеры сменных многогранных неперетачиваемых пластин из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе синтетического алмаза (СА) и кубического нитрида бора (КНБ), выпускаемых ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины – в табл. 2.

Таблица 2

Обозначение	Форма пластины	D, мм	$S_{пл}$, мм	L, мм	R, мм	α, град
RNMN RBMN RCMN RPMN		4,76 5,56 6,35 7,00	2,38 3,18	–	–	0 5 7 11
		9,52 12,70	3,18 3,97; 7,97			
		15,80 19,05 25,40	4,76 7,97 5,56			
SNMN SBMN SCMN SPMN		3,97 4,76 5,56 6,35 7,00	2,38 3,18	$L = D$	0,4 0,8 1,2 1,6	0 5 7 11
		9,52	3,18; 3,97			
		12,70 15,80	4,76 5,56		0,4–3,6	
TNMN TBMN TCMN TPMN		3,97 4,76 5,56 6,35	2,38 3,18	6,88 8,24 9,23 11,00	0,4 0,8 1,2 1,6	0 5 7 11
CNMN CBMN CCMN CPMN		3,97 4,76 5,56 6,35 7,00	2,38 3,18	4,03 4,83 5,64 6,44 8,13	0,4 0,8 1,2 1,6	0 5 7 11
RBMH RCMH RPMH		4,76 5,56 6,35 7,00 9,52	3,18	–	–	5 7 11
		12,70	3,97			

Структура PCBN – кубического нитрида бора



а б

Рис. Электронно-микроскопические фотографии порошков cBN, активированных Eu (а) и Sm (б). Размер зерен не превышает 2 мкм

Основные марки минеральной керамики (Al2O3 на основе Si3N4 новая керамика) представлены в табл. 3 [1].

Таблица 3

Марки керамики		Состав	si,, Гпа	r, г/см3	HRA, не менее	Область приме-нения
Оксидная	ЦМ332	Al2O3 – 99% MgO – 1%	0,3-0,35	3,85-3,90	91	К01-К05
	ВО-13	Al2O3 – 99%	0,45-0,5	3,92-3,95	92	Р01-Р10, К01-К05
	ВШ-75	Al2O3	0,25-0,3	3,98	91-92	К01-К05
Оксикар-бидная	В-3	Al2O3 – 60% TiC – 40%	0,6	4,2	94	Р01-Р10
	ВОК-63	Al2O3 – 60% TiC – 40%	0,65-0,7	4,2-4,6	94	Р01-Р05 К01-К05
	ВОК-71	Al2O3 – 60% TiC – 40%	0,7-0,75	4,5-4,6	94	Р01-Р05 К01-К05
Оксинит-ридная	ОНТ-20 (кортинит)	Al2O3 > 60% TiN – 30%	0,64	4,3	90-92	К01-К05
Нитридная	РК-30 (силинит-Р)	Si3N4, Y2O3, TiC	0,7-0,8	3,2-3,4	94	К10-К20

Они (РСД, PCBN, Al2O3, Si3N4) применялись при высокоскоростном точении чистовом и получистовом, но уступали твердым сплавам до недавнего времени в прочностных характеристиках.

Совершенствование производства PCBN и керамики позволило расширить область применения на получистовую и черновую обработку.

Новая керамика: керамика на основе Al2O3, нитевидными монокристаллами SiC в количестве до 30 – 40% (whiskers) имеет высокую прочность на изгиб и вязкость разрушения.

Основные области применения:

РСД – точение, фрезерование сплавов на основе Al, Cu древесно-стружечных и композиционных неметаллических материалов, твердых вольфрамокобальтовых сплавов.

PCBN – чистовая и получистовая обработка серых, высокопрочных и отбеленных чугунов и закаленных сталей в условиях автоматизированного производства.

Нитрадная керамика – на основе Si3N4 – отличается высоким сопротивлением к знакопеременным нагрузкам, повышенной ударной прочностью. Обрабатывают серые чугуны с пластинчатым графитом – высокоскоростное резание, точение с ударом. Ограничение – стойкость к термоудару.

Новая армированная керамика на основе Al2O3 обладает повышенными прочностными характеристиками, рекомендуется для обработки серых чугунов, закаленных и нетермообработанных сталей [2].

Литература

1. Морачевский С.М., Сладков Д.Ю. Физико-химические свойства молекулярных соединений

2. http://sveos.msun.ru/div/kaf/tm/educate/lectures/speed.html

3. http://www.elektronik-chel.ru/met_instrument.html

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

С.В. Шалашов

Научный руководитель ***С.В. Яняк****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Литьё металлов под давлением (ЛПД) – способ изготовления отливок из сплавов, при котором сплав приобретает форму отливки, быстро заполняя пресс-форму под высоким давлением от 7 до 700 МПа. Этот способ применяется для сплавов цветных металлов (на основе цинка, алюминия, меди, магния, сплава олово-свинец) из-за их низкой температуры плавления, а также для некоторых сталей. Изделия могут быть массой от десятков граммов до десятков килограммов [1].

Преимущества:

- высокая производительность;
- высокое качество поверхности (5-8 классы чистоты для алюминиевых сплавов);
- точные размеры литого изделия (3-7 классы точности);

- минимальная потребность в механической обработке изделия.

Недостатки:

- ограниченная сложность конфигурации отливки (связанная с тем, что при отделении отливки от литейной формы могут происходить повреждения);
- ограниченная толщина отливки (расплав равномернее затвердевает, если изделие тонкое).

Имея очевидные преимущества (высокие выход годного и коэффициент использования металла, физико-механические и эксплуатационные свойства отливок), способ ЛПД не получил еще широкого распространения из-за недостаточного развития основ теории и технологии, включая роль давления на отдельных этапах формирования отливки. Величина, характер воздействия и скорость набора давления в значительной мере влияют на получение отливок повышенного качества. К числу недостаточно решенных вопросов можно отнести следующие: тепловые и силовые условия получения отливок из алюминиевых сплавов различных систем и композиционных материалов на их основе при основных схемах прессования, эффективность воздействия давления на затвердевающую отливку, кинетику уплотнения отливок из сплавов с различной степенью легирования, изменение структуры и свойств отливок как в литом состоянии, так и после термической обработки.

При получении отливок на литейных машинах с холодной камерой прессования (рис 1, а, б) необходимое количество сплава заливается в камеру прессования вручную или заливочным дозирующим устройством. Сплав из камеры прессования под давлением прессующего поршня через литниковые каналы поступает в оформляющую полость плотно закрытой формы, излишек сплава остаётся в камере прессования в виде пресс-остатка и удаляется. После затвердевания сплава форму открывают, снимают подвижные стержни, и отливка выталкивателями удаляется из формы. При получении отливок на машинах с горячей камерой прессования (рис 1, в) сплав из тигля нагревательной печи самотёком поступает в камеру прессования. После заполнения камеры прессования срабатывает автоматическое устройство (реле времени, настроенное на определённый интервал), а поршень начинает давить на жидкий сплав, который через обогреваемый мундштук и литниковую втулку под давлением поступает по литниковым каналам в оформляющую полость формы и кристаллизуется. Через определённое время, необходимое для образования отливки, срабатывает автоматическое устройство на раскрытие формы, и отливка удаляется выталкивателями. У полученных отливок обрубают (обрезают) заливы (облой), элементы литниковых систем, затем их очищают вручную или на машинах; если необходимо, производят термообработку [2].

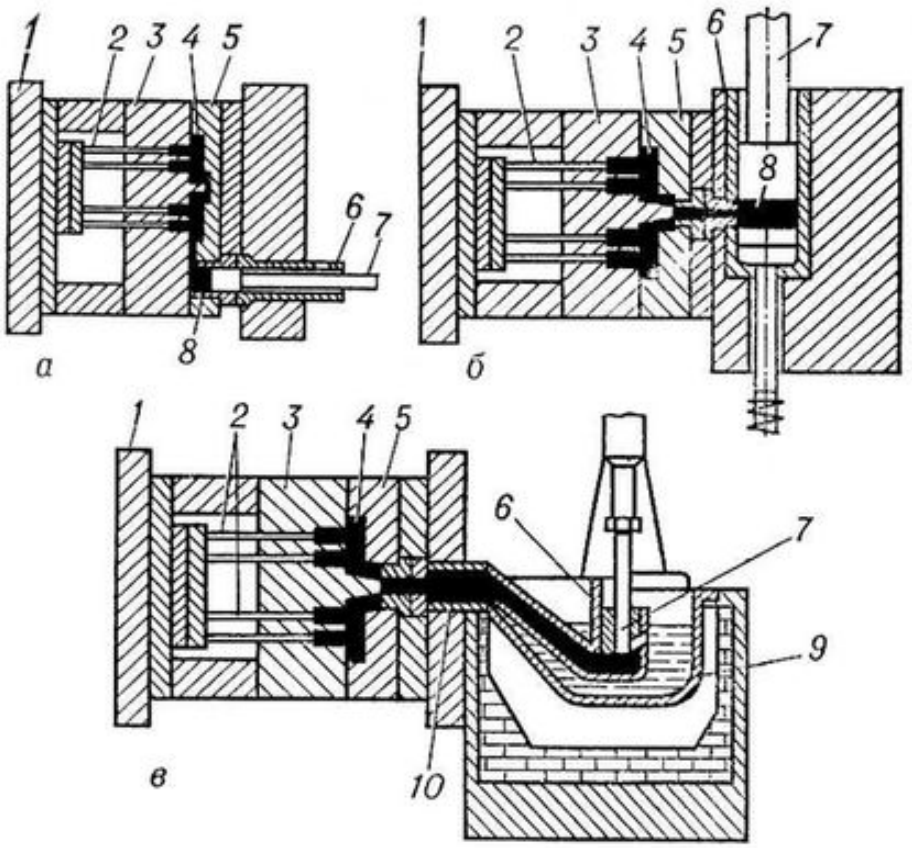


Рис. 1. Виды литейных машин

Литьем под давлением из алюминиевых сплавов изготавливают сложные по конфигурации отливки 1–3-го классов точности с толщиной стенок от 1 мм и выше, литыми отверстиями диаметром до 1,2 мм, литой наружной и внутренней резьбой с минимальным шагом 1 мм и диаметром 6 мм. Чистота поверхности таких отливок соответствует 5–8-му классам шероховатости. Предпочтение отдается машинам с горизонтальной камерой прессования.

Размеры и масса отливок ограничиваются возможностями машин литья под давлением: объемом камеры прессования, удельным давлением прессования (р) и усилием запирания (0). Площадь проекции (F) отливки, литниковых каналов и камеры прессования на подвижную плиту пресс-форма не должна превышать значений, определяемых по формуле F = 0,85 0/р.

Во избежание незаполнения форм и неслитин, толщину стенок оливок из алюминиевых сплавов назначают с учетом площади их поверхности.

Таблица 1

Площадь поверхности

Отливки, $см^2$	До 25	25-150	150-200	250-500	Св. 500
Толщина стенки, мм	1-2	1,5-3	2-4	2,5-6	3-8

Оптимальные значения уклонов для наружных поверхностей составляют 45°; для внутренних 1°. Минимальный радиус закруглений 0,5—1мм. Отверстия более 2,5мм в диаметре выполняются литьем. Отливки из алюминие-

вых сплавов, как правило, подвергают механической обработке только по посадочным поверхностям. Припуск на обработку назначается с учетом габаритов отливки и составляет от 0,3 до 1 мм.

Для изготовления пресс-форм применяют различные материалы. Части пресс-форм, соприкасающиеся с жидким металлом, изготавливают из сталей 3Х2В8, 4Х8В2, 4ХВ2С, плиты крепления и обоймы матриц – из сталей 35, 45, 50, штыри, втулки и направляющие колонки – из стали У8А.

Основными дефектами отливок, полученных литьем под давлением, являются воздушная (газовая) подкорковая пористость, обусловленная захватом воздуха при больших скоростях впуска металла в полость формы, и усадочная пористость (или раковины) в тепловых узлах. На образование этих дефектов большое влияние оказывают параметры технологии литья, скорость прессования, давление прессования, тепловой режим пресс-формы.

Скорость прессования определяет режим заполнения пресс-формы. Чем выше скорость прессования, тем с большей скоростью перемещается расплав по литниковым каналам, тем больше скорость впуска расплава в полость пресс-формы. Высокие скорости прессования способствуют лучшему заполнению тонких и удлиненных полостей. Вместе с тем они являются причиной захвата металлом воздуха и образования подкорковой пористости. При литье алюминиевых сплавов высокие скорости прессования применяют лишь при изготовлении сложных тонкостенных отливок. Большое влияние на качество отливок оказывает давление прессования. По мере повышения его увеличивается плотность отливок.

На качество отливок существенное влияние оказывают также температуры сплава и формы (рис. 2). При изготовлении толстостенных отливок несложной конфигурации заливку расплава ведут при температуре на 20–30°С ниже температуры ликвидуса. Тонкостенные отливки требуют применения расплава, перегретого выше температуры ликвидуса на 10–15°С. Для снижения величины усадочных напряжений и предотвращения образования трещин в отливках пресс-формы перед заливкой нагревают.

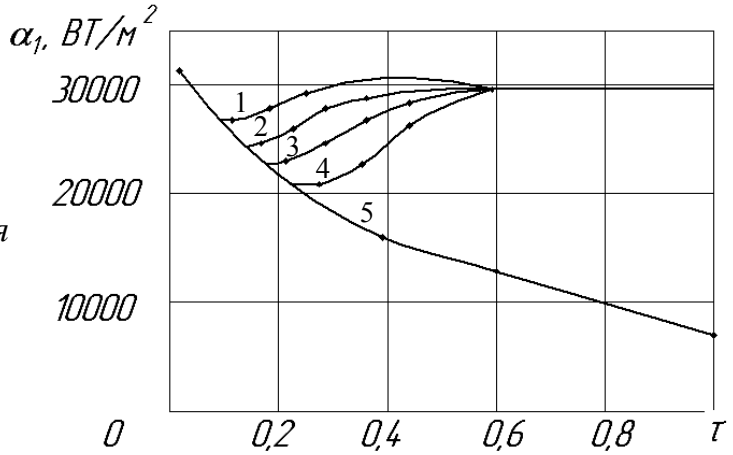


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи во время затвердевания отливок:1, 2, 3, 4 – сплавы АК18Н, АК12, АК7ч и алюминий А7 соответственно (рн=200 МПа); 5 – все сплавы (атмосферное давление)

Стабильность теплового режима обеспечивают подогревом (электрическим) или охлаждением (водяным) пресс-форм.

Для предохранения рабочей поверхности пресс-форм от налипания и эрозионного воздействия расплава, уменьшения трения при извлечении стержней и облегчения извлечения отливок пресс-формы подвергают смазке. Для этой цели используют жирные (масло с графитом или алюминиевой пудрой) или водные (растворы солей, водные препараты на основе коллоидального графита) смазки.

Существенно повышается плотность отливок из алюминиевых сплавов при литье с вакуумированием пресс-форм. Для этого пресс формы помещают в герметичный кожух, в котором создают необходимое разрежение. Хорошие результаты могут быть получены при использовании «кислородного процесса». Для этого воздух в полости пресс-формы заменяют кислородом. При больших скоростях впуска металла в полость формы, вызывающих захват расплавом кислорода, подкорковая пористость в отливках не образуется, так как весь захваченный кислород расходуется на образование мелкодисперсных оксидов алюминия, не влияющих заметно на механические свойства отливок. Такие отливки можно подвергать термической обработке.

Литература

1. http://ru.wikipedia.org/wiki
2. Беккер М. Б. Литье под давлением. – 2-е изд. – М., 1973.

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОРРЕКТИРОВКИ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Шилова
Научный руководитель ***Ю.Р. Осипов****, д-р техн. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Для современного производства характерны усложнение технологических процессов, ужесточение допустимых отклонений управляемого процесса от предписанных значений и т.д. Совершенствование методов управления в этих условиях предполагает разработку более сложных математических моделей управляемых процессов, позволяющих оптимизировать управление, а использование усложненных моделей порождает проблему задания значений характеристик и параметров модели, нужных для формирования требуемого управления. Более того, некоторые из таких параметров могут дрейфовать во времени вследствие износа или старения тех или иных устройств и механизмов, составляющих объект управления (ОУ).

Необходимость в адаптивном управлении возникает, когда математическая модель задана не полностью, например, с точностью до значений конечного набора параметров. Для линейных моделей такими параметрами могут быть коэффициенты уравнения, описывающего ОУ. В подобных ситуациях говорят о параметрической неопределенности модели.

В условиях параметрической неопределенности классические методы управления, основанные на полном знании значений всех параметров системы, обычно оказываются непригодными, и приходится эти методы дополнять теми или иными способами восстановления неизвестных значений параметров математической модели ОУ. Иногда достаточно точные оценки значений параметров можно получить из анализа входо-выходных сигналов управляемого объекта. Всякий такой способ, позволяющий с необходимой точностью восстанавливать неизвестные значения параметров, можно интерпретировать как процесс адаптации (приспособления).

Процесс термообработки эластомерных материалов является процессом с распределенными параметрами. Часто требуется контролировать только минимум либо максимум параметра. В этом случае из полученной серии значений температуры для различных точек изделия выбирают наименьшее либо наибольшее. Далее по рассчитанному значению температуры определяют значение степени вулканизации в точке. Функциональная схема устройства для определения степени вулканизации по температуре изображена на рис. 1.

Нами рассмотрены научные разработки в изучаемой области, к которым относятся патенты, а также материалы диссертационных работ. Все изученные работы можно разделить на 2 класса: системы с расчетом времени вулканизации по модели процесса и системы с расчетом времени по какому-то заранее заданному закону.

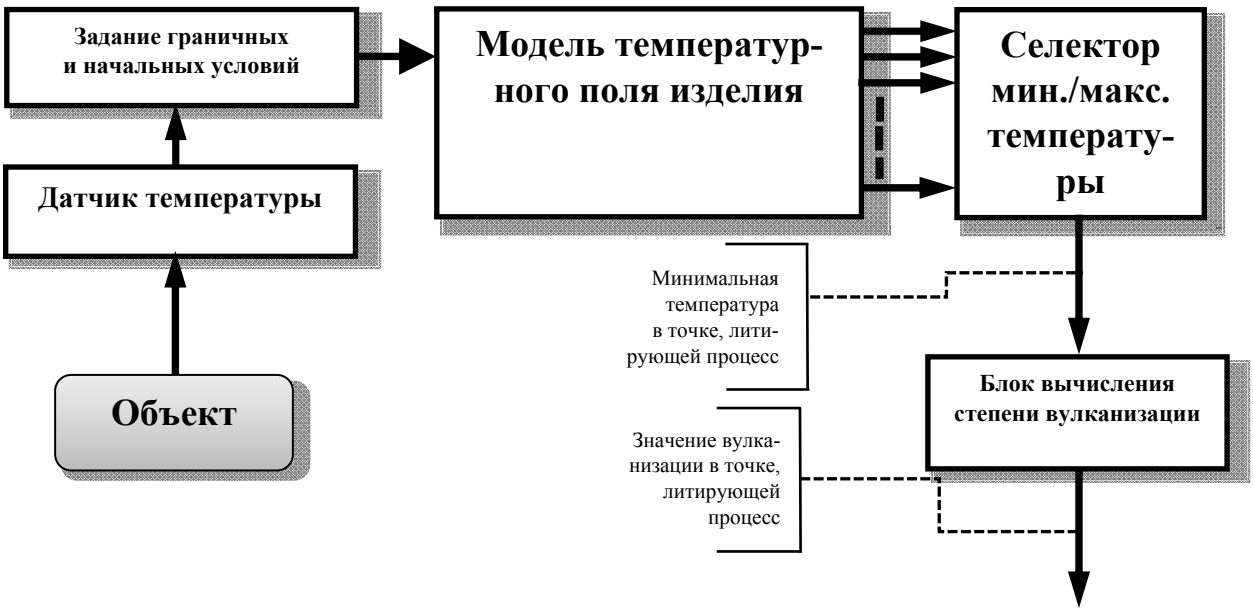


Рис. 1. Функциональная схема системы определения степени вулканизации по температуре

В работе [1] автор предлагает модернизировать существующую специализированную вычислительную машину для разработки и корректировки режимов вулканизации резиновых изделий типа «Вулкан». В систему добавлены датчики температуры, устанавливаемые на изделие; устройства записи уровней свойств, достигнутых во время процесса; сигнальные устройства и исполнительные механизмы. Изобретение обеспечивает автоматическое и одновременное с процессом вулканизации управление технологическими операциями, предусмотренными режимом вулканизации, по фактическим текущим свойствам изделия.

В работе [2] представлена функциональная схема устройства для регулирования продолжительности вулканизации резиновых изделий. Новизной в ней является то, что к сеточной модели температурного поля подключены не один, а несколько блоков определения степени вулканизации. Выходы этих блоков подключены к селектору минимального сигнала, который выбирает из них значение, лимитирующее процесс вулканизации.

В работе [3] предложено устройство для регулирования режима вулканизации изделий, с помощью которого повышают точность регулирования. В отличие от прототипа здесь включено несколько блоков, учитывающих довулканизацию изделия вне оборудования. Они позволяют избежать перевулканизации изделия, завершая процесс чуть раньше, чем изделие полностью вулканизуется. В области разработки систем управления процессами термообработки следует выделить В.Г.Пороцкого [4], В.И. Сапрыкина [5], которые в своих работах приводят описание систем адаптивного дискретного автоматического управления тепловым процессом вулканизации гуммировочных покрытий.

В патенте [6] представлена схема электронного устройства, которое служит для повышения качества продукции путем оптимизации процесса. Оптимизация производится за счет корректировки времени вулканизации по отношению к заданному эталонному значению для данного процесса в зависимости от изменения температуры. В патенте [7] представлена схема электронного устройства с использованием памяти. По сути решение устройства сходно с описанным в патенте [6]. Оно также корректирует время вулканизации по линейному закону с заранее заданным коэффициентом и имеет режим «холодного пуска», характеризующийся добавлением ко времени вулканизации некоторого заранее заданного значения. Корректировка производится по линейному закону с заранее заданным коэффициентом зависимости корректирующего значения времени вулканизации от изменения температуры. Отличительной особенностью этого устройства является контроль за температурами двух теплоносителей, и более жесткая привязка к вулканизационному оборудованию: описанная система управления контролирует не только нагреватели, но и систему загрузки/выгрузки.

Выводы. Рассмотренные существующие решения в области систем управления тепловыми процессами при вулканизации резинотехнических изделий имеют ряд недостатков, выражающихся в том, что в ряде работ разработаны неполные схемы регуляторов, а различные корректирующие цепочки; температурные поля строятся на базе математических методов, обладающих сравнительно низкой точностью для упрощенной модели процесса типа бесконечной многослойной пластины. Кроме того, эти системы предназначены для управления аппаратами периодического действия и не могут обеспечить максимально возможного качества управления и, соответственно, высокого качества готовых изделий в вулканизационном аппарате непрерывного действия.

Проведенный анализ делает актуальной разработку более точной и адекватной математической модели процесса теплообмена и синтез адаптивной системы оптимального управления процессом горячего крепления эластомерных покрытий к металлу. Для этого нами разработан радиоволновой метод контроля степени вулканизации покрытий. Как известно, диэлектрическая проницаемость - одна из основных микроскопических характеристик диэлектрика, которая связана как со свойствами атомов, молекул или ионов, входящих в состав диэлектрика, так и с его строением.

Контроль степени вулканизации с помощью микрорадиоволн основан на том, что, проходя через материал, они изменяются по амплитуде, фазе и поляризации в зависимости от свойств, строения и структуры материала.

На рис. 2. приведена схема устройства для оценки степени вулканизации резин на металлических изделиях, представляющая собой мостовую амплитудно-фазовую схему СВЧ , работающую на „отражение”.

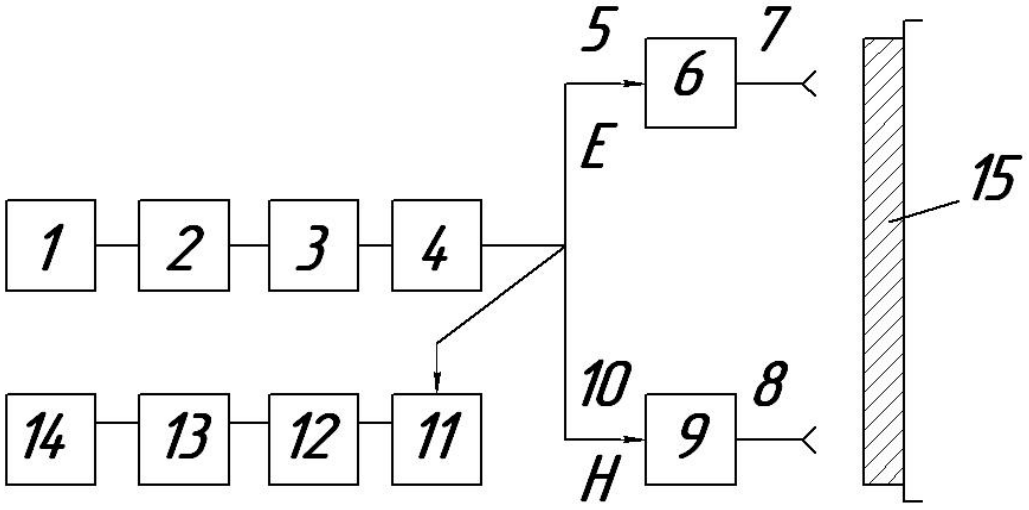


Рис. 2. Функциональная схема прибора для определения степени вулканизации покрытий по методу СВЧ:
1 - генератор СВЧ; 2 - проходная детекторная секция; 3 - ферритовый вентиль; 4, 6, 9 - трансформаторы; S, 10-боковые плечи тройника; 7, 8 – антенны; И - детектор; 12 - усилитель низкой частоты; 13 – блок сравнения и контроля; 14 - объект управления; 15 - резинометаллическое изделие

Микрорадиоволны от генератора СВЧ проходят через волноводный тракт, состоящий из проходной детекторной секции, ферритового вентиля и согласующего трехштыревого трансформатора, к плечу *E* двойного волноводного тройника. В разветвлении двойного тройника микроволновая энергия делится на две равные части, проходящие в боковые плечи двойного тройника. Волны, распространяющиеся в боковых плечах, сдвинуты по фазе на 180°. Плечи двойного тройника изогнуты так, что оба повернуты в сторону резинометаллического изделия, оканчиваются рупорными антеннами: одна установлена на участке входа, а другая – на участке выхода готового резинометаллического изделия из аппарата для вулканизации. Волны, отраженные обкладкой и металлом, улавливаются теми же антеннами и возвращаются к разветвлению двойного волноводного тройника.

Так как под антеннами находятся участки, отличающиеся диэлектрической проницаемостью, то отраженные волны будут различаться по амплитуде, а сдвиг фаз между ними будет отличаться на 180°. Такие волны пройдут и в плечо *E,* и в плечо *H* двойного тройника. На выходе детекторной секции появится сигнал низкой частоты, амплитуда которого в общем случае пропорциональна различию в свойствах участков эластомерной обкладки резинометаллического изделия, находящегося под антеннами СВЧ. Сигнал с блока низкой частоты подается на осциллограф и через интегратор на блок сравнения и контроля.

Анализ записи самописца позволяет сделать вывод о степени вулканизации обкладки контролируемого изделия. Поскольку нас интересуют, в первую очередь, физико-механические свойства изделия, а прибор фиксирует неоднородность диэлектрических свойств, необходимо его откалибровать путем отбора проб покрытий контролируемого изделия. Сравнивая результаты физико-механических испытаний проб с результатами на ленте самописца, устанавливают критерий степени вулканизации, т.е. тот максимальный сигнал разбаланса, который соответствует максимально допустимому отклонению физико-механических свойств обкладки изделия. После калибровки прибор настраивают так, чтобы сигнал, соответствующий 100-процентной вулканизации, не превышал заданного уровня. Отклонения от этих показаний указывают на отклонение от оптимального режима вулканизации.

Блок сравнения и контроля предназначен для информации об отклонениях процесса вулканизации эластомерных обкладок от заданного режима. Задача блока – определение разности двух величин, измеряемой и эталонной, и знака этой разности, или, другими словами, сравнение контролируемой величины с ее верхним и нижним допустимыми значениями. Информация об отклонениях процесса вулканизации от заданного режима подается на управляющие органы объекта управления (вулканизационного аппарата).

Блок сравнения и контроля состоит из счетчика импульсов (рис.3), который имеет 32 устойчивых состояния, и реализует операцию счета сигналов, поступающих на его вход с генератора тактовых импульсов (ГТИ).

Цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) выполняет функцию выдачи в аналоговой форме управляющих сигналов на компаратор напряжения, который сравнивает входное напряжение с пороговым и выдает логический „0” или „1” в зависимости от знака разности этих напряжений. Кодирующая матрица выдает при подаче на ее вход определенного управляющего сигнала (эталонного напряжения, соответствующего 100-процентной степени вулканизации) код, соответствующий этому сигналу. Распределитель формирует их для управления кодирующей матрицей. Блок сравнения сравнивает сигнал со счетчика импульсов и эталонный сигнал с кодирующей матрицы, а блок контроля отклонения - входной сигнал от эталонного, а затем подает его в последовательном коде на делитель, на выходе которого получаем оценку о процессе вулканизации эластомерного покрытия.

Функциональные и принципиальные схемы компаратора выполнены на операционном усилителе 1400УД56, цифроаналоговый преобразователь - на двух аналоговых микросхемах серии 284ПУ1; генератор тактовых импульсов собран на пяти микросхемах типа К155ЛА8,- счетчик реализован на интегральных микросхемах типа К155ТМ; распределитель, построенный на счетчиках с использованием декодирующей матрицы, выполнен на интегральных микросхемах серии К155ИЕ5 и К155ИЕ2, декодирующая матрица

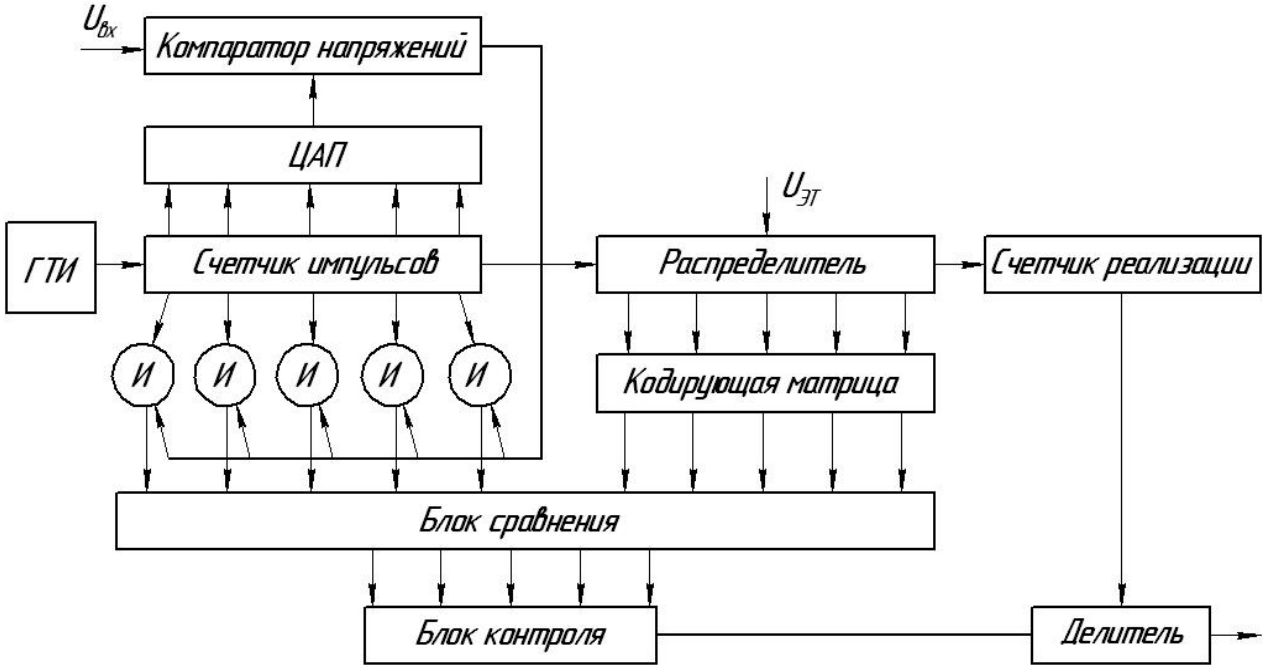


Рис. 3. Структурная схема блока сравнения и контроля

- на интегральных микросхемах серии К155ЛИ1 и К155ЛА2, кодирующая матрица - на интегральных микросхемах типа К155ЛМ, блок сравнения - на основе полных комбинационных сумматоров на интегральных микросхе-

мах типа К155ИМ3 и К155ИМ2 с использованием элементов И-НЕ серии К155ЛА11 и элементов серии НЕ серии К155ЛИ1; блок контроля отклонения, в качестве которого использован накапливающий сумматор, выполнен на основе полных комбинационных сумматоров на микросхемах К155ИМ3, регистр памяти - на микросхемах К155ИР1, делитель - на интегральных микросхемах серии К155ТМ и К155ИМ2; распределитель собран на интегральных микросхемах серии К155ИЕ4, К155ЛН1, К155ЛА1.

Литература

1. А.с. №467835 (СССР). Устройство для корректировки режимов вулканизации изделий сложной конфигурации // П.Ф. Баденков, Э.И. Бойнагров, Н.С. Квасов, Л.М. Кеперша, А.И. Лукомская, Н.А. Новоселова. Заявлено 06.01.72.

2. А.с. 852622 (СССР). Устройство для регулирования продолжительности вулканизации резиновых изделий // К.И. Диденко, В.Г. Воронов, Б.Т. Сытник и др.-Опубл. В Б.И., 1981, № 29.

3. А.с. №839730 (СССР). Устройство для регулирования режима вулканизации изделий // А.И. Лукомская, В.Г. Пороцкий, Б.Т. Сытник, Б.С. Левченко, Г.И. Загарий. Заявлено 18.10.79.

4. Пороцкий, В.Г. Разработка методов оптимизации и автоматической корректировки режимов вулканизации покрышек: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. / В.Г. Пороцкий / Научно-исследовательский ордена Ленина институт шинной промышленности. – М., 1984. – 154с.

5. Сапрыкин, В.И. Разработка методов и средств мат. и физ. моделирования кинетики неизотермической вулканизации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.12. / В.И. Сапрыкин / НИИ шинной пром-ти. – М., 1984. – 25 с.

6. А.с. №1621007 (СССР). Устройство для управления тепловым режимом вулканизации изделий // Г.Г. Воробьев, В.И. Сапрыкин, Н.Г. Сидоров, В.И. Муратов, А.А. Павловский, И.Е. Яковлев. Заявлено 01.08.88.

7. А.с. №1647538 (СССР). Устройство для управления тепловым процессом вулканизации изделий // Г.Г. Воробьев, В.И. Муратов, А.А. Павловский, И.Е. Яковлев, Н.Г. Сидоров, В.Г. Пороцкий, В.В. Васильев, В.И. Сапрыкин. Заявлено 05.01.89.

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ ТОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТЕКОЛ

С.А. Ярушкин
Научный руководитель ***О.Н. Пикалев****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Наклейка цветных пленок на стекла автомобилей (далее – тонирование стекол) получила широкое распространение среди водителей. Благодаря тонированию стекол салон автомобиля в солнечную погоду меньше греется и медленнее выцветает, так как тонировка препятствует проникновению в салон ультрафиолетовых лучей и лучей видимого спектра. Многим нравится вид тонированного автомобиля, а так же то, что за тонированными стеклами не видно водителя и пассажиров. Покрытие ветрового стекла солнцезащитной полосой благоприятно сказывается на безопасности дорожного движения при управлении транспортным средством в солнечную погоду, особенно, когда солнце светит в глаза водителю.

В России действует ГОСТ 5727-88 «Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия». Пункт 2.2.4. данного ГОСТ гласит: «Светопропускание стекол, обеспечивающих видимость для водителя, должно быть не менее:

- 75% - для ветровых стекол;
- 70% - для стекол, не являющихся ветровыми, входящих в нормативное поле обзора П, определяющее переднюю обзорность.

Светопропускание прочих неветровых стекол не нормируется».

Светопропускную способность автомобильных стекол измеряют в соответствии с ГОСТ 27902-88 «Стекло безопасное для автомобилей, тракторов и самоходных машин. Определение оптических свойств» специальными приборами – тауметрами, которые состоят из источника света, оптической системы, диафрагмы, приемника и измерительного прибора. Источник и приемник при проведении испытаний располагают перпендикулярно измеряемому стеклу (рис. 1).

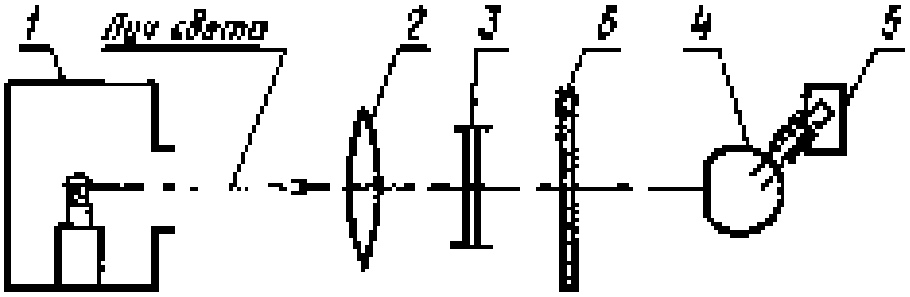


Рис. 1. Измерение светопропускной способности стекла:
1 – источник света; 2 – оптическая система; 3 – диафрагма;
4 – приемник; 5 – измерительный прибор; 6 – стекло

Таким образом, требования, предъявляемые к светопропускной способности ветрового и передних боковых стекол, разрешают покрывать их практически прозрачными пленками. На сегодняшний день существуют пленки со светопропускной способностью свыше 70, наиболее популярные - это Llumar AIR 75 SR HPR и AIR 80 SR HPR. Высокий уровень светопропускной способности достигается за счет отсутствия в пленках затемняющих красителей. Эти пленки являются атермальными, т.е. обладают свойствами теплового отражения. Через них хорошо видно салон автомобиля, водителя и пассажиров. Однако, как показывают проведенные нами исследования мнений водителей, более 29% желают, чтобы пленка на передних стеклах затемняла салон, защищала от теплового и светового воздействия солнечных лучей и делала водителя менее заметным снаружи автомобиля.

Традиционно, тонировочную пленку делают из нескольких слоев полимера, которые прокатывают при определенных температурных режимах, после чего они образуют равномерную гомогенную основу. Между слоями добавляют различные красители и добавки в зависимости от того, какими свойствами должна обладать пленка. Также применяют более простой метод, сущность которого заключается в том, что на полимерную основу равномерным слоем наносятся в несколько слоев различные покрытия (клей, красители, защитные добавки и т.д.).

Мы предлагаем пленку для тонирования ветрового и передних стекол автомобиля с новой структурой. Предлагаемая пленка будет:

- соответствовать требованиям ГОСТ 5727-88;
- обладать защитой от лучей видимого спектра;
- обладать защитой от ультрафиолетового излучения.

Предполагается установить уровень светопропускной способности в пределах 75-80. Необходимая светопропускная способность пленки будет достигаться не за счет отсутствия красителей, а за счет своей инновационной структуры. Схема структуры (рис. 2) состоит в том, что на прозрачную полимерную основу необходимо нанести пористое затемняющее покрытие, форма

пор должна обеспечивать прохождение света в плоскости, перпендикулярной плоскости стекла.

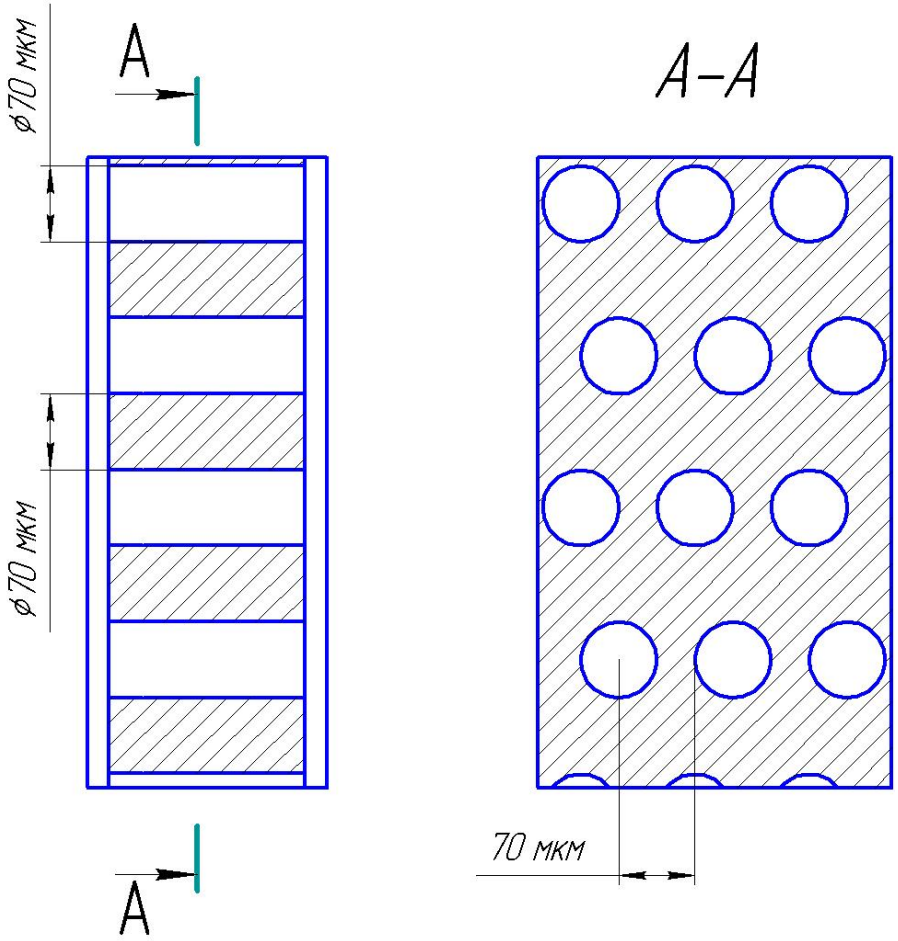


Рис. 2. Структура затемняющего покрытия

Однако размер пор должен быть таким, чтобы человеческий глаз их не различал, т.е. чтобы пленка казалась равномерной. На расстоянии наилучшего зрения, принятого равным 25 см, расстояние между различаемыми точками равно 0,073 мм при остроте зрения 100%, соответственно диаметр неокрашенных пор и расстояние между ними должны быть менее 0,07 мм, чтобы визуально пленка казалось однородной и не искажала изображение.

Это обеспечит необходимую пропускную способность при проведении испытаний по ГОСТ 27902-88, и в то же время необходимые потребительские свойства – препятствие проникновению света в салон и т.д. Необходимо отметить, что на большинстве автомобилей ветровые и передние боковые стекла установлены не вертикально, что при использовании предлагаемой пленки сделает водителя менее видимым со стороны других участников дорожного движения, а именно этого и желают около трети опрошенных водителей. Таким образом, мы получим пленку, которая будет соответствовать действующим стандартам, с одной стороны, и желаниям потребителей, с другой.

Секция «СТРОИТЕЛЬСТВО»

ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВ

С.В. Данилов
Научный руководитель ***И.Н. Старишко****, канд. тех. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик служит долговечность мостовых сооружений. Тем не менее сроки службы отдельных конструктивных элементов и мостов в целом в настоящее время не регламентируется никакими нормативными документами. Поэтому о сроках службы пролетных строений мостов из различных материалов и различных конструктивных форм можно судить по результатам исследований, проводимых научно-исследовательскими организациями и мостостроительными станциями, занимающимися их испытанием.

Многолетние исследования мостов с большими пролетами показывают, что наиболее быстро выходят из строя предварительно напряжённые железобетонные мосты рамно-консольной и рамно-подвесной системы, получившие широкой распространение в нашей стране в 60-е годы прошлого столетия в наибольшей степени отвечающие технологии их возведения методом навесной сборки и перекрывающие пролёты 60-150 м. Срок их службы, в том числе и бывшего моста 800-летия г. Вологды, до капитального ремонта или замены оценен 20-30-ю годами. Для балочных нарезных и балочно-консольных систем срок службы несколько больше – до 40-60 лет. Причём такое резкое снижение долговечности рамно-консольной и рамно-подвесной системы мостов связано не столько с особенностями самого материала - железобетона, сколько с конструктивными и технологическими особенностями сооружений.

Установлено, что снижение долговечности упомянутых выше систем предварительно напряженных железобетонных пролётных строений связано в основном с крайне неблагоприятными условиями работы высокопрочной арматуры, которая расположена непосредственно под дорожным покрытием и подвергается воздействию влаги, солей, проникающих из атмосферы и с поверхности проезжей части и вызывающих коррозию различных видов. Предпринятое в последние годы размещение предварительно напряжённой арматуры в закрытых каналах с последующим инъектированием цементным раствором не исключает коррозии. Выполненные усталостные испытания образцов высокопрочной проволоки диаметром 5 мм, изъятых из высокопрочных пучков арматуры, расположенных под тротуарными блоками рамно-подвесных мостов Ленинградской области, показали, что усталостный ресурс

предварительно напряжённой арматуры близок к исчерпанию после 20 лет эксплуатации. Временное сопротивление высокопрочной арматурной проволоки диаметром 5 мм под действием агрессивной среды снизилась за этот же период с 1500 МПа до 1000 МПа.

В процессе обследования железобетонного моста рамно-подвесной системы в г. Санкт-Петербурга было установлено, что диаметр высокопрочной проволоки одного из вскрытых арматурных пучков вследствие коррозии уменьшился с 5 до 2 мм. Среднее уменьшение площади сечения пучков достигло 18-20%.

Кроме того на эксплуатационные показатели железобетонных пролётных строений больших пролётов существенное влияние оказывают деформации ползучести бетона. В мостах консольных систем, вследствие ползучести бетона, в местах расположения шарниров наблюдаются переломы профиля проезжей части. Угол излома при этом во многих мостах после истечения 20 лет эксплуатации значительно превышает угол, образуемый действием временной нагрузки, в том числе это происходило и в демонтированном мосту 800-летия г. Вологды.

Мосты, пришедшие в 70-х годах прошлого столетия на смену консольным мостам неразрезных систем и получившие преимущественное распространение при перекрытии пролётов от 60 до 150 м, обладают лучшими качествами. Но у них вследствие ползучести бетона проезжая часть имеет хотя и плавное, но значительное искривление продольного профиля в срединах пролётов и на опорах.

В пролётных строениях, запроектированных по статически-неопределимой схеме, деформации ползучести бетона приводят к перераспределению усилий в конструкциях. Это, как правило, вызывает дополнительный расход материалов и усложняет конструкцию.

Многочисленные исследования показали, что наиболее уязвимым местом железобетонных пролётных строений является проезжая часть. Проезжая часть выполняет удовлетворительно свои функции в течение 5-8, максимум 15-ти лет. Многочисленные дефекты проезжей (особенно необеспеченность водоотвода, дефекты покрытия, нарушения гидроизоляции, расстройство деформационных швов) создают неблагоприятные условия для несущих элементов пролётных строений, вызывают интенсивную коррозию бетона и стальной арматуры, что приводит к скорому выходу их из строя. Перечисленные дефекты также относятся и к балочным пролётным строениям мостов.

Если к настоящему времени в основном решены вопросы рационального проектирования и изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций, то вопросы проектирования долговечной конструкции проезжей части и вопросы защиты бетона и арматуры (особенно высокопрочной) несущих элементов от всех видов коррозии не решены.

Поэтому на настоящий момент железобетонные пролётные строения больших пролётов в среднем менее долговечны, чем металлические.

Что касается металлических пролётных строений, то опыт эксплуатации и данные исследований дают ориентировочные сроки службы в 70-90 лет. Для наиболее перспективных конструкций металлических автодорожных мостов проблема долговечности сводится в основном к выносливости соединений и эффективной защите стали от коррозии, что во многих случаях решается удовлетворительно.

Сталежелезобетонные пролётные строения занимают по срокам службы промежуточное положение. Железобетонная плита имеет перечисленные выше недостатки и, как следствие, пониженную долговечность, но влияние её дефектов на металлические главные балки значительно меньше.

Кроме долговечности другой важной эксплуатационной характеристикой является ремонтопригодность конструкции, включающая для пролётных строений мостов и возможность замены вышедших из строя элементов, простоту демонтажа балок или увеличение их несущей способности, возможность уширения для повышения пропускной способности, а также возможность доступа ко всем частям конструкций для проведения текущих осмотров и ремонтов.

Если эффективные способы уширения железобетонных мостов с малыми и средними пролётами к настоящему времени достаточно разработаны, то для больших пролётов отсутствие эффективных разработок по их уширению связано со многими проблемами.

Ни один из существующих и перспективных типов поперечных сечений железобетонных пролётных строений с большими пролётами не позволяет относительно просто уширить проезжую часть, что заставляет проектировать такие мосты на далёкую перспективу и приводит, естественно, к неоправданному увеличению стоимости.

С точки зрения современной технической диагностики и ликвидации дефектов немаловажное значение имеет и удобство доступа ко всем частям конструкции. Учитывая явное отставание в организации содержания автомобильно-дорожных мостов по сравнению с железнодорожными, важное значение имеет устройство в автодорожных мостах с металлическими пролетными строениями больших пролётов смонтированных приспособлений в виде ходов и тележек.

В железобетонных пролетных строениях смотровые приспособления практически не устанавливаются, что приводит к меньшей приспособленности железобетонных пролётных строений больших пролётов для наружного осмотра.

Таким образом, если конструктивно-технологические и отчасти архитектурные качества металлических пролетных строений не всегда лучшие по

сравнению с железобетонными, то преимущество в эксплуатационных качествах металлических пролётных строений больших пролётов очевидно.

В эксплуатируемых мостах встречаются опоры различного типа, в том числе стоечные. Иногда во время строительства или в процессе эксплуатации мостов в стойках промежуточных опор образуются вертикальные трещины различного раскрытия из-за разрушения структуры бетона вследствие влияния процессов замораживания и оттаивания, коррозии бетона и рабочей арматуры и т.д. Следствием таких повреждений является снижение несущей способности и долговечности опор мостов. Это чаще касается стоек опор составного поперечного сечения, которые имеют оболочку, заполненную каким-либо материалом. К таким стойкам относятся в первую очередь стойки опор из центрифугированных свай – оболочек диаметром 0,6 – 1,6 м с заполнением внутренней полости бетоном. Однако центрифугированный железобетон заводского изготовления представляет собой разные материалы с неодинаковыми физико-механическими характеристиками. При этом в некоторых из стоек сразу после окончания строительства возникают вертикальные трещины с раскрытием 2-3 мм и более. Выяснение причин и процесса образования трещин и повреждений является важным моментом при проектировании опор мостов для предотвращения возможного их образования, а если они уже появились в процессе эксплуатации, необходимо разрабатывать правильный, технически обоснованный метод ремонта.

На кафедре «Автомобильные дороги» ВоГТУ 2-й год подряд в соответствии с программой НИРС работает кружок «Проблемы строительства, реконструкции и ремонта мостов», получено ряд патентов по данному направлению, а также имеется возможность заключения договоров с проектами и мостостроительными организациями на предмет разработки мероприятий по устранению многих из вышеизложенных дефектов, возникших с течением времени в эксплуатируемых мостах и других инженерных сооружениях.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТЫКА ПЛИТА-КОЛОННА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Ю. Зимин

Научный руководитель ***Н.М. Дементьев****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В науке и технике постоянно приходится сталкиваться с проблемой расчета систем, имеющих простую и сложную геометрическую конфигурацию. Компьютеры позволяют выполнять такие расчеты при помощи приближенных численных методов. Метод конечных элементов (МКЭ) является одним из

них. В последние десятилетия он занял ведущее положение и получил широкое применение

Метод конечных элементов является приближенным методом, используемым в компьютерных программах для моделирования строительных конструкций. Суть метода следует из его названия. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов). Решение состоит в отыскании из бесконечного множества функций такой, которая удовлетворяет уравнениям задачи. Рассматривается некоторое семейство функций, определяемых конечным числом параметров. Как правило, среди таких функций нет точного решения задачи. Однако соответствующим подбором параметров можно попытаться приближенно удовлетворить уравнениям задачи и тем самым построить ее приближенное решение. Такой общий подход характерен для многих приближенных методов [1].

Современный расчетный программный комплекс допускает почти произвольную комбинацию конечных элементов самых разнообразных типов, размерностей, размеров и геометрической формы, а также с различными числовыми характеристиками жесткости[2].

В настоящее время отсутствует единая методика моделирования сопряжений элементов различной размерности (стержневые и пластинчатые элементы, объемные и стержневые и т.д.), учитывающая теоретические разработки последних лет, а изучению вопросов практической реализации новых теоретических разработок при помощи численного моделирования уделяется мало внимания. В итоге при расчёте зданий и сооружений инженеры на местах вынуждены использовать новые доступные мощные инструменты расчета конструкций на свой страх и риск, не имея в настоящее время единого подхода в моделировании сопряжения элементов разной размерности, при этом точность многих подходов и решений остаётся неизвестной [3]. К подобным проблемам можно отнести и моделирование сопряжения узла стыка «плита-колонна».

В представленной работе рассматриваются и анализируются различные варианты моделирования соединения «плита-колонна» в современных расчетных программных комплексах.

В качестве примера рассмотрим плоскую монолитную железобетонную плиту, опертую по углам и середине плиты на колонны. Сопряжение плиты и колонны – жесткое. За рассматриваемый участок выберем центральную колонну с различными вариантами моделирования стыка «плита-колонна».

При пространственном расчете монолитных каркасов с безбалочными перекрытиями на основе метода конечных элементов колонны каркаса обычно моделируют стержневыми элементами, а плиты перекрытий и стены – пластинчатыми элементами (элементами плоской оболочки). При конечно-элементном анализе таких моделей точность расчета существенно зависит от

качества конечно-элементной сетки пластинчатых элементов, которыми моделируют плиты перекрытий. На результаты расчета большое влияние оказывают сингулярности, особенно в местах опирания плит на колонны и несущие стены, что приводит к затруднению оценки реального напряжения состояния этих зон. Для смягчения влияния сингулярностей в программных комплексах реализованы способы моделирования узла сопряжения «плита-колонна», которые могут быть применены автоматически. Одним из способов является моделирование стыка «плита-колонна» таким образом, что перемещения узлов плиты, расположенных в пределах поперечного сечения колонны, кинематически связаны по закону движения абсолютно твердого тела (т.е. фактически используется гипотеза о недеформируемых поперечных сечениях колонн) (рис. 1); в другом случае жесткость стержневого элемента, моделирующего колонну, передается не в один узел сопряжения с пластинчатыми элементами плиты, а во все узлы плиты в пределах поперечного сечения колонны (рис. 2) [4].

Рассматриваемые узлы сопряжения

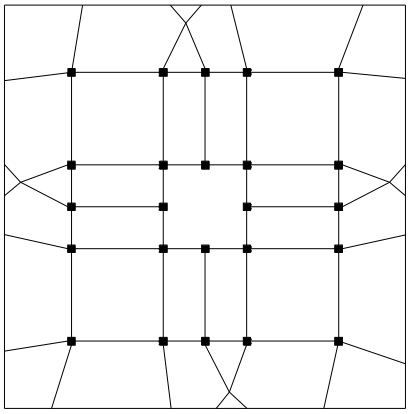


Рис. 1

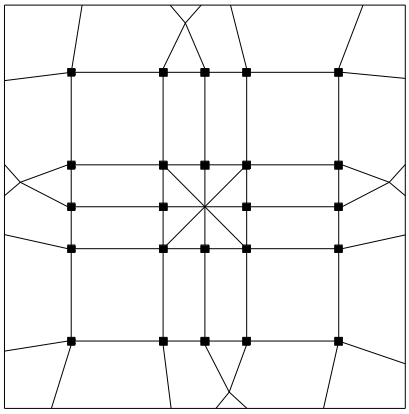


Рис. 2

В качестве примера в таблице приведены результаты линейно-упругого расчета поперечных сил и изгибающих моментов в надопорной зоне плиты перекрытия здания, расчет выполнен В.Н. Симбиркиным и С.О. Курнавиной в программном комплексе Stark ES и приведен в [4].

Таблица

Модель сопряжения плиты с колонной	Шаг КЭ-сетки плиты, м	Усилия в надколонной зоне плиты			
		В узле сопряжения со стержневым элементом колонны		Суммарные вдоль грани колонны (в=50 см)	
		M_n,кНм/м	Q_n,кН/м	M, кНм	Q, кН
1. Абсолютно твердое тело	2.0	0	0	-14.9	14.3
	0.5	0	0	-30.9	33.7
2. Распределение жесткости колонны	2.0	-93.7	46.8	-32.6	36.5
	0.5	-80.1	102.7	-35.0	43.3
3. Без дополнительных условий	2.0	-140.1	215.4	-31.4	117.4
	0.5	-126.4	198.4	-32.7	127.4

Исходя из полученных данных видно, что результаты расчета усилий в надколонной зоне плиты различаются достаточно сильно при использовании конечно-элементных сеток различной плотности и при использовании различных способов моделирования стыка «плита-колонна». И если для осредненных изгибающих моментов, действующих вдоль границы сечения колонны, различия не столь велики, то для поперечных сил они могут увеличиваться в несколько раз. Это означает, что применение различных моделей приведет к примерно одному и тому же требуемому количеству продольной арматуры в плите, но к разным величинам интенсивности поперечной арматуры. Без применения дополнительных условий в моделях сопряжений плиты с колоннами значения поперечных сил, вследствие эффекта сингулярности, значительно превышают реальные значения. Анализ результатов показывает, что ввиду большой вычислительной погрешности вычисления поперечных сил в МКЭ, более точным способом определения количества поперечной арматуры, устанавливаемой в опорных зонах плит, будет выполнение расчета плит на продавливание колоннами или пилонами.

Литература

1. Розин Л.А. Метод конечных элементов / Соросовский образовательный журнал. – Том 6. – № 4. – 2000. – С. 120-121.

2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / Ошибки и ловушки при стыке элементов различной размерности. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.

3. Ватин Н.И., Иванов А.Д. Сопряжение колонны и безребристой плиты перекрытия монолитного железобетонного каркасного здания/Постановка задач работы. – СПб., 2006. – С. 16.

4. Симбиркин В.Н., Курнавина С.О. Статический и динамический расчет железобетонных монолитных каркасов зданий с помощью программного комплекса STARK ES: учебное пособие / Под. ред. Назарова Ю.П. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», ООО «Еврософт», 2007. – 158 с.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЖАТОЙ ТРУБОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Т.А. Львова
Научный руководитель ***Ж.В. Кошелева****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

В настоящее время для возведения каркасов высотных зданий в России, Японии, Китае, Франции и других станах получил распространение такой вид монолитных железобетонных конструкций, как трубобетон. Данные конструкции не являются новейшим изобретением. Еще в 1932 году профессор А. А. Гвоздев впервые в мире опубликовал работу по методике расчета трубобетона как конструкции.

Трубобетонный элемент является комплексной конструкцией, состоящей из стальной трубы и бетонного ядра, работающих совместно. При изготовлении трубобетонных элементов используются круглые цилиндрические или призматические трубы из стального проката или сварные.

Применение в практике строительства элементов из трубобетона влечет за собой необходимость методик определения технического состояния и оценки эксплуатационной надежности такого вида конструкций.

Рассмотрим задачу расчета эксплуатационной надежности трубобетонной колонны. В качестве одного из примеров центрально сжатых колонн на рисунке представлена промежуточная колонна многоэтажного здания.

Для расчета надежности колонны, как и для любой другой конструкции или ее элемента необходима математическая модель предельного состояния. Условие прочности для такого элемента по теории предельного состояния можно записать в виде (формула Гвоздева А.А.) [1].

$$N \le mR_{пр}A_{в} + \alpha\sigma_{T}A_{T}\,, \qquad (1)$$

где m=1,2 – коэффициент упрочнения бетона в трубе; α=2 – коэффициент эффективности обоймы; $A_{в}$ и A_{T} - площади поперечного сечения соответственно бетона и трубы; $R_{пр}$ - прочность бетона при осевом сжатии (призменная прочность бетона); σ_{T} - предел текучести материала трубы.

Однако, определение прочности $R_{пр}$ и площади $A_{в}$ бетонного ядра на практике представляет достаточно сложную задачу.

Вместо критерия прочности можно использовать критерий предельной деформации стальной оболочки и бетона

$$\varepsilon_{s\max} \le \varepsilon_{s\,пред}\,, \qquad (2)$$

$$\varepsilon_{b\max} \le \varepsilon_{b\,пред}, \qquad (3)$$

где $\varepsilon_{s\max}$ и $\varepsilon_{b\max}$ - максимальные значения деформаций соответственно в стальной трубе и в бетонном ядре, определяемые экспериментально в результате обследования; $\varepsilon_{s\,пред}$ и $\varepsilon_{b\,пред}$ - предельные значения деформаций.

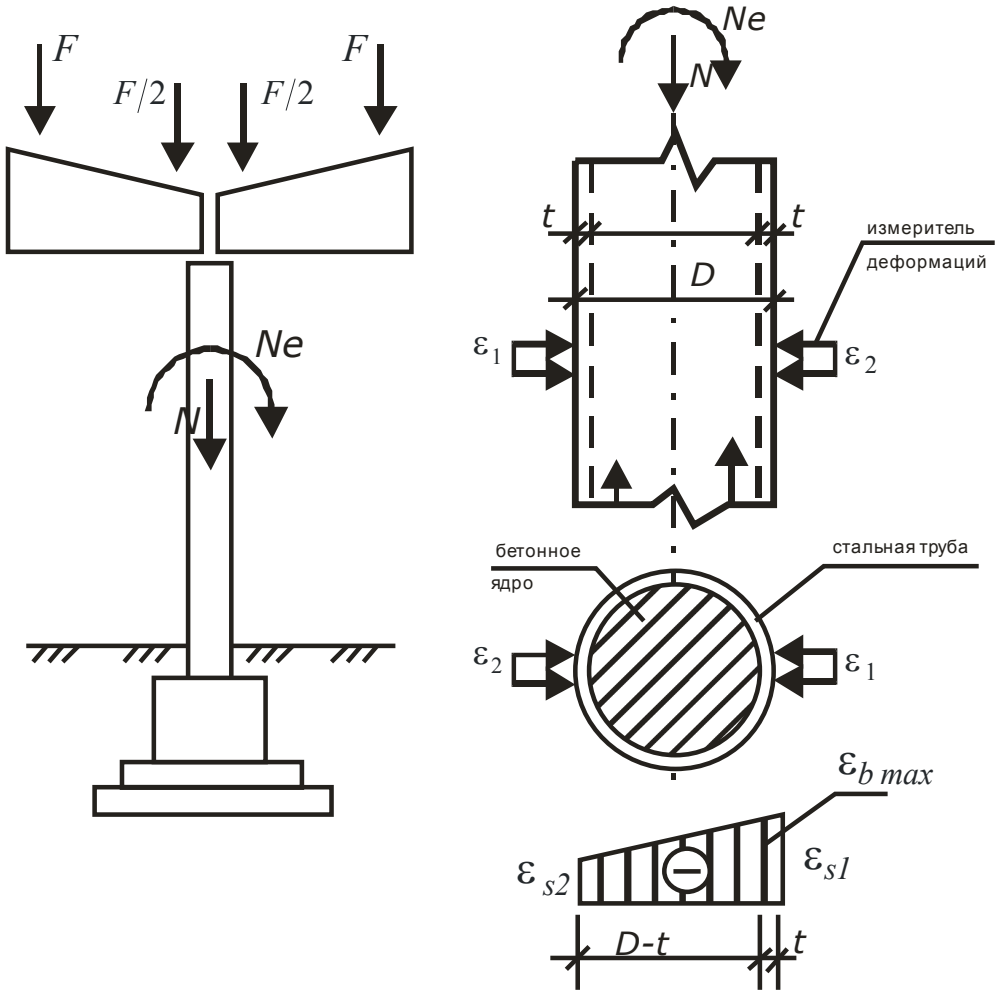


Рис. Сжатая колонна (со случайным эксцентриситетом)

Для оценки надежности колонны по условию (2) необходимо определить с помощью испытаний значение $\varepsilon_{s\max}$ прямым измерением. Предварительно необходимо полностью разгрузить колонну гидравлическими домкратами. Последнее не всегда возможно и зависит от конструктивного решения сопряжения колонны с элементами перекрытия или с фундаментом. Этот вопрос требует специального описания в конкретных условиях задачи и выходит за рамки исследуемой проблемы о методике расчета надежности колонны на стадии эксплуатации.

Деформации $\varepsilon_{s\max}$ измеряются с помощью волоконно-оптических датчиков деформаций, прикрепленных к поверхности стальной оболочки в определенных местах, при временной разгрузке колонны (перед установкой

средств измерения деформаций) и последующей нагрузке в течение некоторого времени существующей постоянной и временной нагрузкой. Учитывая принцип Сен-Венана, согласно которому особенности приложения внешних сил к растянутому или сжатому стержню проявляются, как правило, на расстояниях, не превышающих характерных размеров поперечного сечения стержня, волоконно-оптические датчики деформаций устанавливаются на расстояниях порядка 3D (D – диаметр колонны) от поверхности перекрытий.

Учитывая сложность операции по разгрузке и технологические процессы здания или сооружения, информация о деформациях $\widetilde{\varepsilon}_{s\max}$ будет неполной, следовательно, ее придется принять нечеткой случайной величиной с функцией распределения возможностей (ФРВоз) [2].

$$\pi_{\widetilde{\varepsilon}_{s\max}}(x) = \exp\left\{-\left[(x-a_s)/b_s\right]^2\right\}, \tag{4}$$

где $a_s = 0{,}5\left(\max(\varepsilon_{s\max}) + \min(\varepsilon_{s\max})\right.$,

$b_s = 0{,}5\left(\max(\varepsilon_{s\max}) - \min(\varepsilon_{s\max})\right)\Big/\sqrt{-\ln\alpha}$, $\alpha \in [0,1]$.

Значением уровня риска α задаются [2].

Значение $\varepsilon_{s\,пред}$ определяем по формуле $\varepsilon_{s\,пред} = R_y/E_s$, где R_y и E_s - соответственно предел текучести и модуль упругости стальной оболочки (детерминированная величина).

Надежность колонны по критерию предельной деформации стальной оболочки определяют

$$P = \sup_{a_s \le \varepsilon_{s\,пред}} \pi(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } a_s \le \varepsilon_{s\,пред} \\ \pi\left(\varepsilon_{s\,пред}\right), & \text{если } a_s > \varepsilon_{s\,пред} \end{cases}, \tag{5}$$

где 1 – характеризует возможность безотказной работы R, а $\pi(\varepsilon_{s\,пред})$ представляет собой возможность отказа Q.

Для оценки надежности колонны по условию (3) необходимо знать значение $\varepsilon_{b\max}$. Воспользуемся результатами инструментального определения деформаций на поверхности стальной оболочки, найденными ранее. В соответствии с рисунком.

$$\varepsilon_{b\max} = \varepsilon_{s2} + \frac{(D-t)\cdot(\varepsilon_{s1}-\varepsilon_{s2})}{D} = \frac{(D-t)\varepsilon_{s1} + t\cdot\varepsilon_{s2}}{D} \tag{6}$$

Учитывая ограниченность информации о деформациях ε_{s1} и ε_{s2}, информация об $\widetilde{\varepsilon}_{b\max}$ будет также неполной, следовательно, принимаем её нечеткой случайной величиной с ФРВоз [2].

$$\pi_{\widetilde{\varepsilon}_{b\max}}(x) = \exp\left\{-\left[(x-a_b)/b_b\right]^2\right\}, \tag{7}$$

где $a_b = 0{,}5\left(\max(\varepsilon_{b\max}) + \min(\varepsilon_{b\max})\right.$,

$b_b = 0{,}5\left(\max(\varepsilon_{b\max}) - \min(\varepsilon_{b\max})\right) / \sqrt{-\ln\alpha}$, $\alpha \in [0{,}1]$.

По [3] при непродолжительном действии нагрузки при трехлинейной диаграмме сжимающих напряжений $\varepsilon_{b\text{пред}} = 0{,}0035$ (детерминированная величина).

Надежность колонны по критерию предельной деформации бетонного ядра определяют

$$P = \sup_{a_b \le \varepsilon_{b\text{пред}}} \pi(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } a_b \le \varepsilon_{b\text{пред}} \\ \pi\left(\varepsilon_{b\text{пред}}\right), & \text{если } a_b > \varepsilon_{b\text{пред}} \end{cases}, \qquad (8)$$

где 1 – характеризует возможность безотказной работы R, а $\pi(\varepsilon_{b\,\text{пред}})$ представляет собой возможность отказа Q.

Несущую способность конструкции можно описать несколькими моделями предельного состояния, или как в нашем случае, критериями предельных деформаций, тогда отказ рассматриваемого конструктивного элемента может произойти в результате отказа по одному из критериев деформации. В рассматриваемом примере отказ произойдет при превышении деформациями предельных значений либо в стальной оболочке, либо в бетонном ядре. Такая система в понятиях теории надежности является последовательной. В этом случае с учетом всех характеристик надежности элементов системы $[R_i, N_i]$, надежность самой системы будет характеризоваться интервалом $[R_{\min}, N_{\min} = 1 - Q_{\max}]$.

Литература

1. Гвоздев А.А. Определение величины разрушающей нагрузки для статически неопределимых систем // Проект и стандарт. – 1934. - №8.

2. Уткин В.С., Уткин Л.В. Определение надежности строительных конструкций: учебное пособие. –2-е изд., перераб. - Вологда: ВоПИ, 2000. – 175 с.

3. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры / ГУП «НИИЖБ» Госстроя России. – Введ. 25.12.03. –М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 53с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Д.А. Молева
Научный руководитель ***М.Ю. Белозор****, канд. техн. наук, доцент*
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

Современные металлические дымовые трубы проектируют из отдельных элементов или царг, представляющих собой отрезки цилиндрической или конической формы, выполненные из листовой стали сварными, различной длины, ширины и толщины стенки, что зависит от высоты трубы, ее технологического назначения, количества и параметров эвакуируемых газов, а также методов монтажа и наличия монтажных механизмов.

Для крепления царг между собой предусматривают фланцевые соединения на болтах, которые выполняют функции как монтажного крепления, так и основного [1].

Промышленные трубы эксплуатируются в достаточно тяжелых условиях при сложном напряженном состоянии. На протяжении периода эксплуатации металлические дымовые трубы испытывают большое количество разнообразных воздействий:

1) силовые (собственный вес конструкций, ветровое давление, эксплуатационные силовые факторы);

2) динамические (от порывов и пульсации ветрового давления и усилий, вызванных собственными колебаниями конструкций);

3) температурно-силовые (от эвакуируемых ими газов, от солнечной радиации, суточных колебаний температур, климатических изменений и другое);

4) коррозионные (от атмосферных явлений и воздействия дымовых газов).

Все описанные выше факторы неблагоприятно сказываются на эксплуатационной долговечности сооружений данного типа и способствуют накоплению усталостных дефектов и повреждений, способных привести к выходу из строя, как отдельных конструктивных элементов, так и всего сооружения в целом.

Наибольший вклад в напряженно деформированное состояние (НДС) стволов дымовых труб вносит ветровое воздействие (статическое и динамическое), колебания (собственные и вынужденные под действием нагрузки) и вес конструкции [2].

Данная работа рассматривает вопросы повышения эксплуатационных характеристик металлических конструкций дымовых труб за счет применения высокопрочных сталей, с учетом особенностей работы конструкции.

Материалы для металлических дымовых труб выбирают на основе норм проектирования стальных конструкций, расчетов на прочность и соответствующего технико-экономического анализа. В этом анализе в обязательном порядке необходимо учитывать, что качественные показатели материала, на-

ряду с другими факторами, оказывают существенное влияние не только на надежность сооружения и первоначальную стоимость его строительства, но и, что особенно важно, на последующие затраты во время эксплуатации. При этом следует иметь ввиду, что затраты, связанные с преждевременным износом сооружения, включают в себя не только стоимость проведения капитального ремонта, но и в ряде случаев огромные убытки от вынужденной полной или частичной остановки производственного процесса [3].

В настоящем проекте рассматривается дымовая труба высотой 80м с переменным кольцевым сечением по высоте диаметром нижней части 3,5м, верхней части 2,744м. Труба состоит из 9 отправочных марок. Материал конструкций согласно КМ – сталь марки С255, труба эксплуатируется при температуре отводимых газов до $300^{o}C$.

Для изготовления царг стальных газоотводящих стволов в отечественном трубостроении обычно применяют либо сталь ВСт3сп5, либо низколегированные стали типа 09Г2С. Малоуглеродистые стали типа ВСт3сп5 не являются коррозионно стойкими, поэтому не могут применяться без эффективной защиты. При высокотемпературном сухом режиме работы сооружения малоуглеродистые стали целесообразно применять при температуре отводимых газов не превышающей $300^{o}C$, поскольку выше этой температуры протекает заметная газовая коррозия, особенно резко увеличивающаяся при температуре 500 ^{o}C и выше [2].

Легированные стали для цилиндрической части трубы применяют в тех условиях, где требуется высокая стойкость против коррозии и для работы при высоких температурах (выше $550^{o}C$) [2]. Применение высокопрочных сталей для ствола рассматриваемой дымовой трубы является нецелесообразным, т.к. приводит к значительному увеличению стоимости конструкции. Поэтому наиболее оптимальным вариантом с точки зрения экономии средств и надежности конструкции является замена наиболее нагруженных частей конструкции высокопрочной сталью. Таким образом, малоуглеродистая сталь марки ВСт3сп5 является в настоящее время основным конструкционным материалом для газоотводящих стволов дымовых труб.

Встает вопрос о применении высокопрочной стали для фланцевого соединения, т.к. в данном соединении возникают высокие местные напряжения вследствие колебаний трубы при ветровых нагрузках. С этой целью было изучено напряженно деформированное состояние ствола трубы при действии нагрузок.

В сечении трубы при изгибе от ветровой нагрузки в уровне фланца возникают усилия N, M и Q. Фланцевое соединение должно их воспринять. Поперечное усилие воспринимается за счёт трения фланцем. Растягивающие усилия от момента воспринимают болты фланцевого соединения работающими на растяжение. Отсюда следует, что основными требованиями, предъявляемыми к фланцевым соединениям металлических дымовых труб являются: исключение возможности расслоения металла, механические свойства на осе-

вое растяжение, ударная вязкость при комнатной и отрицательной (до -60^{0}С) температурах, твердость основного металла и металла шва, коррозионная стойкость, а также следует применять сталь с относительным сужением >=25.

На Череповецком заводе металлоконструкций были проведены производственные исследования механических характеристик сталей 15ХСНД, 10ХСНД, 16Г2АФ, 06Г2Б. Металл был подвержен следующим испытаниям: на растяжение в направлении толщины для определения относительного сужения после разрыва (ГОСТ 28870-90); на растяжение для определения относительного удлинения (ГОСТ 1497-84); на ударную вязкость (ГОСТ 9454-78); на твердость (ГОСТ-9012-59); на изгиб сварных швов (ГОСТ-6996-66).

В таблице 1 представлены основные механические характеристики исследуемых сталей.

Таблица 1

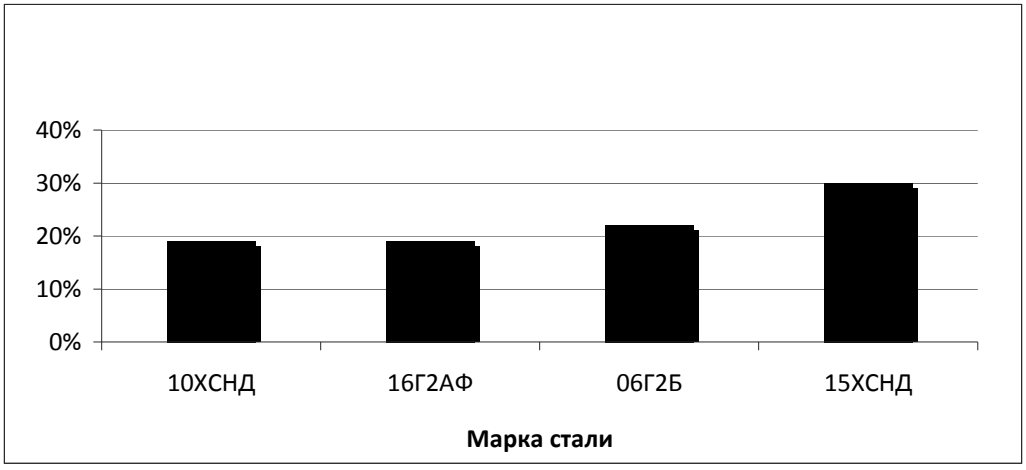
Марка стали	Класс прочности	Толщина металла	σ_T, МПа	σ_B, МПа	δ, %	КС, Дж/см^2 - 40^{0}С
15ХСНД	390	30	400	555	30	30
10ХСНД	390	30	390	510	19	39
16Г2АФ	440	32	440	590	19	39
06Г2Б	440	8…50	440	-	22	43

Основными характеристиками для расчета строительных металлоконструкций являются предел текучести, относительное удлинение и ударная вязкость [4]. В связи с этим, данные характеристики были выбраны в качестве основных критериев сравнения рассматриваемых марок сталей.

Как видно из таблицы 1, наибольшей прочностью обладают стали 16Г2АФ и 06Г2Б.

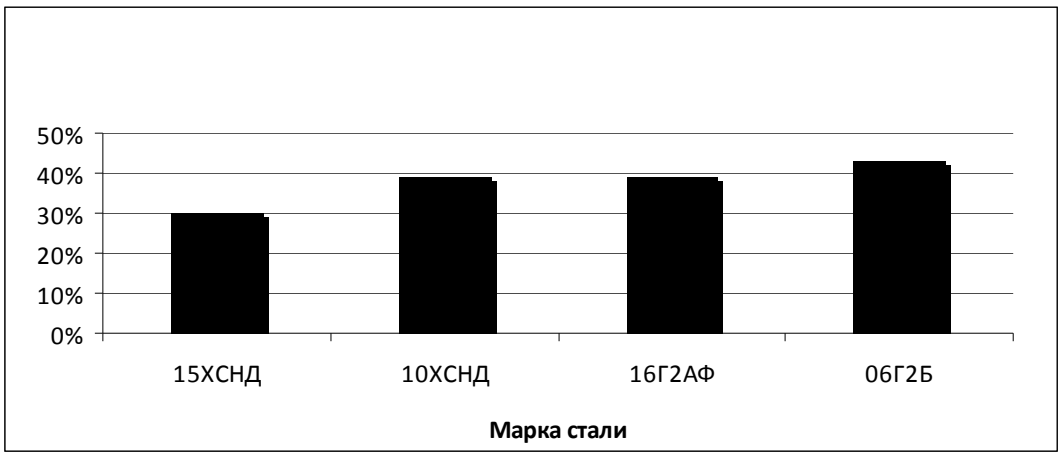
При расчете и проектировании металлических конструкций наряду с прочностными характеристиками большое значение имеют пластичность и вязкость используемого металла.

На гистограмме 1 изображено распределение относительного удлинения по возрастанию.



Гистограмма 1. Распределение относительного удлинения по возрастанию

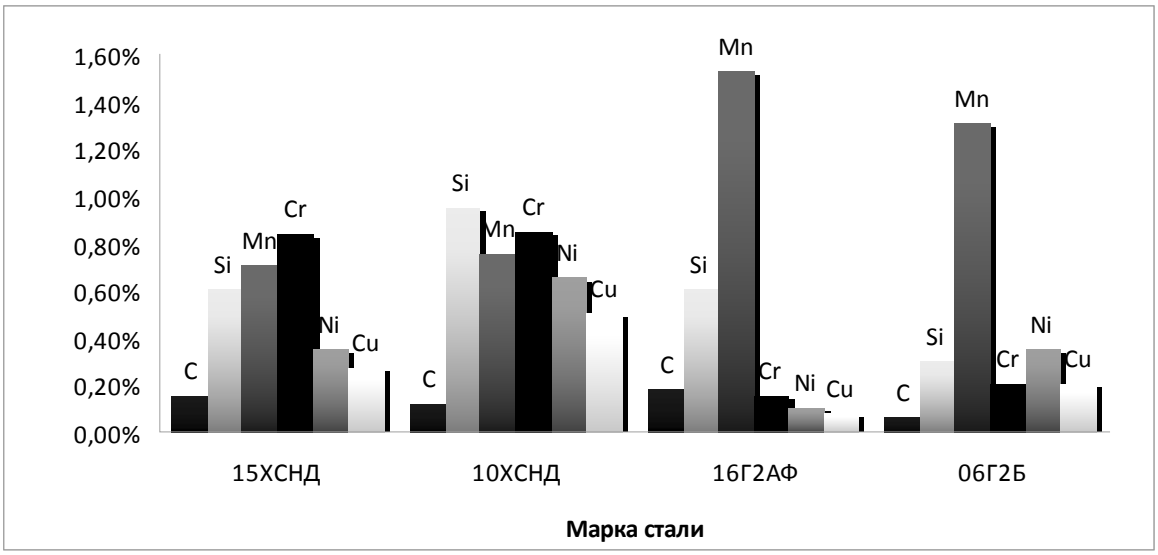
На гистограмме 2 изображено распределение ударной вязкости по возрастанию.



Гистограмма 2. Распределение ударной вязкости по возрастанию

Как видно из гистограмм, наибольшей пластичностью обладают стали 15ХСНД и 06Г2Б, наибольшей ударной вязкостью обладают стали 06Г2Б и 16Г2АФ, 10ХСНД.

На гистограмме 3 отображен химический состав исследуемых сталей



Гистограмма 3. Химический состав сталей, %

Из диаграммы видно, что сталь марки 06Г2Б содержит в 2 раза меньше углерода, чем остальные, что обуславливает высокие значения пластичности и ударной вязкости. Стали 06Г2Б и 16Г2АФ отличаются высоким содержанием марганца по сравнению с остальными сталями, что влияет на рост прочностных характеристик [4].

Для долговечности фланцевых соединений большое значение имеет коррозионная стойкость стали. Введение в сталь небольшого количества (доли процента) хрома, никеля и меди повышает их коррозионную стойкость. Из

гистограммы видно, что сталь марки 10ХСНД содержит наибольшее значение этих элементов по сравнению с остальными сталями.

В таблице 2 представлено содержание серы в сталях, %.

Таблица 2

Марка стали	Содержание серы, %
15ХСНД	0,03
10ХСНД	0,03
16Г2АФ	0,02
06Г2Б	0,01

Сера является вредной примесью. Сера и её соединения при комнатных и пониженных температурах способствует снижению ударной вязкости стали. Также сера снижает пластичность – δ, ψ%. Сернистые включения ухудшают свариваемость и коррозионную стойкость. Из таблицы видно, что наименьшие значения серы содержится в стали 06Г2Б.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Экономно легированная сталь повышенной прочности и хладостойкости 06Г2Б для металлоконструкций выгодно отличается от сталей, обычно применяемых в отечественных металлоконструкциях. Неоспоримым преимуществом стали 06Г2Б является низкое содержание примесей. За счет этого снижается склонность к образованию горячих трещин при сварке, повышается коррозионная стойкость и хладостойкость.

Сталь 06Г2Б является новой и ее производство освоено лишь на двух предприятиях: ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» и ОАО «Металлургический комбинат им. Ильича». Металл применялся для строительства некоторых ответственных сооружений, в том числе при строительстве моста через вход в Гавань в г. Киеве [5].

В связи с тем, что сталь является новой, оценить ее работоспособность в реальных условиях пока сложно. Также сталь является дорогостоящей, т.к в своем составе содержит дорогостоящие легирующие элементы, такие как ниобий, молибден, ванадий.

Таким образом несмотря на высокие механические характеристики сталь 06Г2Б не получила широкого распространения в силу дороговизны и недоступности.

2. Сталь марки 16Г2АФ. Результаты анализа свидетельствуют о большом запасе пластичности стали 16Г2АФ и об ее способности сопротивляться разрушению при больших сосредоточенных пластических деформациях. Однако имеются сведения, что для сварных конструкций, изготовленных из стали 16Г2АФ, был отмечен ряд нарушений нормальной эксплуатации вследствие их низкой сопротивляемости хрупким разрушениям [3]. Таким образом сталь марки 16Г2АФ рекомендуется применять для металлоконструкций каркасов промышленных зданий (фермы, колонны и т.п.).

3. Стали марок 10ХСНД и 15ХСНД (ОАО «Северсталь») имеют предел текучести меньше чем остальные рассматриваемые стали, но они имеют высокие характеристики пластичности и вязкости, что весьма важно при работе в условиях действия динамических и знакопеременных нагрузок. Сталь 10ХСНД имеет высокие характеристики ударной вязкости, что позволяет ей сопротивляться хрупкому разрушению. Поэтому конструкции из этой стали могут работать при температуре до -70°С. Таким образом сталь 10ХСНД является наиболее перспективной для изготовления фланцевых соединений дымовых труб, к которым предъявляются требования повышенной прочности, коррозионной стойкости, малочувствительности к концентраторам напряжений, требование низкой температуры перехода в хрупкое состояние. Данная сталь имеет меньшую стоимость по сравнению с вышеперечисленными сталями, что является положительным моментом при обосновании выбора материала для изготовления металлических конструкций. Конструкции из стали 10ХСНД могут эксплуатироваться при температурах от -70 до +450°С.

Литература

1. Ельнин А.М. Дымовые трубы. Теория и практика конструирования и сооружения / А.М. Ельнин; под ред. С.В. Сатьянова. - М.: Стройиздат, 2001.- 296 с.

2. Солодарь М.Б. Металлические конструкции вытяжных башен / М.Б. Солодарь, М.В. Кузнецова, Ю.С. Плишкин. - Л.: Стройиздат, 1975.-186 с.

3. Коренев Б.Г. Динамический расчет зданий и сооружений / Б.Г. Коренев, И.М. Рабинович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1984.- 303 с.

4. Гладштейн Л.И. Высокопрочная строительная сталь / Л.И. Гладштейн, Д.А. Литвиненко. - М.: Металлургия, 1972.- 240 с.

5. Ковтуненко В.А, Герасименко А.М., Гоцуляк А.А. Выбор стали для ответственных сварных строительных конструкций // Автоматическая сварка.- 2006.- № 11.

РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

А.О. Тихомиров, Н.С. Бусыгин
Научный руководитель ***Т.В. Туева****, старший преподаватель*
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

Целью научно-исследовательской работы является разработка технологии производства керамического кирпича на основе месторождений глин Вологодской области и вторичных продуктов производства ОАО «Северсталь».

Для выполнения заданной цели необходимо провести анализ месторождений глин Вологодской области, изучить свойства техногенных добавок и их влияние на свойства керамического кирпича.

На территории Вологодской области существует множество залежей различных типов глин и суглинков.

Различают следующие типы глин:

1. Глины огнеупорные и тугоплавкие.

К огнеупорным относятся глины, температура плавления которых колеблется от 1580 до 1750˚С, к тугоплавким – от 1350 до 1580˚С. Еще до революции на территории Вытегорского района огнеупорные глины добывались кустарным способом для изготовления фаянсовой посуды. В 30-е годы прошлого столетия были разведаны 3 небольших месторождения: Патровское, Житненское, Сперовское.

Все огнеупорные глины Вологодской области залегают среди отложений нижнего отдела каменноугольной системы. В Андомском районе по реке Андоме, начиная от деревни Желвачево (в 25 км от пристани Сорочье Поле), вверх по реке расположены месторождения, которые ранее разрабатывались. Главными местами эксплуатации являлись деревни Семеново, Кнорово, Пашково, Дорофеево. Глина залегает на глубине 6-8 м. Цвет глин серый и черный. В настоящее время считается возможным возобновление добычи огнеупорных и тугоплавких глин с целью удовлетворения потребностей промышленности Вологодской области.

2. Глины легкоплавкие.

К легкоплавким относятся глины с температурой плавления ниже 1350˚С. Их используют в производстве керамических изделий (кирпича, керамических камней, черепицы, керамзита, дренажных труб), керамзитового песка и гравия, цемента. В 60-70-е годы в Вологодской области кирпичными заводами разрабатывались 26 месторождений. Практически в каждом районе был свой кирпичный завод, удовлетворяющий потребности в кирпиче. К концу 80-х годов потребность в кирпиче сократилась и загруженными остались только 7 заводов, а к в 1999 году – всего 3.

В настоящее время в пределах Вологодской области разведано 83 месторождения легкоплавких глин. На балансовом учете состоят 40 месторождений. Размеры их по запасам составляют от 10 тысяч до 1 млн. кубометров. Наиболее крупными считаются месторождения: Волкуша (Сокольский район), Грязовецкое (Грязовецкий район), Кубеноозерское, Кипеловское, Диковское, Вологодское (Вологодский район).

3. Красящие глины.

В качестве естественного минерального сырья для получения сухих красок (пигментов) широко используются красящие глины. На территории Вологодской области добыча естественных минеральных красок велась с 18-го века. Месторождения красочных глин приурочены частично к девонским и пермским, но главным образом к каменноугольным отложениям. В Вытегре действовал завод сухих малярных красок, который прекратил свое существование в связи с истощением запасов глин.

В настоящее время в Вытегорском районе разведано 6 месторождений красящих глин: Андомское, Кленовское, Вид-Ручейское, Житненское, Тагажемское, Сперовское. Балансовые запасы составляют 138,7 тыс. тонн. Залежи красящих глин невелики по площади. Глубина залегания от 2 до 10 метров. Глины представлены в основном желтыми, красными и фиолетовыми разновидностями.

На Кленовском месторождении в 1994 году были начаты горно-подготовительные работы. Отобранные пробы прошли лабораторные испытания на заводе художественных красок в Санкт-Петербурге. Содержание красящих составляющих позволяет применять это сырье в качестве исходного в лакокрасочной промышленности, в частности, для производства клеевых и масляных красок (охра, мумия).

Кроме того, глины принято еще и разделять не только по свойствам и характеристикам, но и по области применения.

Для производства кирпича обычно применяются низкосортные глины и суглинки, свободные от примеси известняка, достаточно пластичные. Месторождения их встречаются почти повсеместно.

Кирпичные глины Вологодской области принадлежат главным образом к четвертичным наносам (отложения ленточных глин приледниковых озер, покровные суглинки, дельтовые выносы озерных притоков, пойменные наносы рек и делювиальные образования, смытые с верхних и отложенные в нижних частях склонов). С 1930 по 1940 гг. в Вологодском районе разведано 7 месторождений.

Черепичные глины однородны, тонкозернисты, без примеси песка и извести. При обжиге они должны давать плотный черепок, не пропускающий воды. В нашей области пока известны только два пункта, где встречены глины данного сорта: в Ковжинском районе на реке Ковже ниже Александровского шлюза и в Белозерском районе у дер. Алексино.

Битуминозные глины содержат примеси углеродистых соединений, главным образом углеводородов и продуктов их окисления. Единственный выход подобных глин отмечен на станции Харовской. Возраст глин относится к верхнепермскому периоду. Они могут быть использованы для получения асфальта и других вяжущих органических веществ.

Для оценки запасов глин, их зернового и химического состава были выбраны наиболее крупные месторождения глиняного сырья, зарегистрированные в реестре Вологодской области месторождений. В таблице 1 приведены основные районы залегания глиняных месторождений Волго-Балтийской системы в пределах Вологодской области.

Таблица 1

Запасы глинистого сырья в районе Волго-Балтийской системы в пределах Вологодской области

Название района	Ед. изм	Месторождения	
		На балансе	Перспективные участки
Череповецкий	млн.м^3	0,59	-
Кадуйский	млн.м^3	0,87	-
Шекснинский	млн.м^3	18,1	-
Кирилловский	млн.м^3	2,74	-
Белозерский	млн.м^3	5,8	29,6
Вашкинский	млн.м^3	7,63	-
Вытегорский	млн.м^3	15,64	979,5
Итого:	млн.м^3	51,4	1009,1

Кроме мощности месторождения немаловажным фактором для устройства завода по производству керамического кирпича является химический и зерновой состав глины. Химический состав приведённых месторождений приведён в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав месторождений Волго-Балтийской системы в пределах Вологодской области

№ объекта	Наименование объекта	Район расположения месторождений	Химический состав глин, %				
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
1	Верховьевское	Череповецкий	68.56 - 72.69	13.7 - 17.07	–	1.25 - 2.15	0.61 - 1.26
2	Мелехинское	Кадуйский	59.9 - 66.6	12.38 - 15.86	4.02 - 5.29	2.7 - 5.15	2.75 - 3.42
3	Речная Сосновка	Шекснинский	65.39 - 75.8	10.21 - 13.82	3.8 - 6.77	1,53 - 3,88	1.51 - 2.54
4	Чебсарское	Шекснинский	68.3 - 72.9	11.6 - 14.8	6 - 6.4	2 - 3	1.3 - 1.7
5	Зайцевское	Шекснинский	42.6 - 59.13	13.7 - 17.07	1.5 - 1.7	1.25 - 2.15	0.61 - 1.26
6	Роица	Шекснинский	60.8 - 65.4	12.5 - 13.1	4.2 - 4.6	1.85 - 1.94	0.57 - 0.83
7	Пришекснинское	Шекснинский	70.34 - 74.8	13.3 - 14.05	3.83 - 4.98	1.42 - 1.71	1.39 - 1.92
8	Уч-к Ферапонтово	Кирилловский	53.7 - 60.46	13.8 - 18.5	6.2 - 8.8	2.7 - 5.6	1.9 - 3.7

Среди перспективных участков месторождений глины для производства керамического кирпича выделяются запасы Шекснинского района, где расположены пласты легкоплавких глин, пригодных для изготовления кирпича марок М100-150. Именно поэтому для дальнейших исследований и подбора состава керамического кирпича предполагается использовать сырье месторождения Речная Сосновка.

В 1931 году были обнаружены очень крупные месторождения обыкновенных кирпичных и гончарных глин в Речнососновском сельсовете Пришекснинского района.

Глины залегают в 8-10 км от ст. Шексна, в 55 км от Череповца, в 0,5-2 км от р. Шексна на левом берегу. На подвергнутой бурению площади в 700 га было установлено залегание глин сплошным массивом на площади в 650 га. Из 107 скважин, заложенных на этой площади, только 6 не прошли глин, 12 закончены на песке, а 89 скважин остановились на глине при максимальной проходке до 7-ми метров. В естественных обнажениях мощность пласта доходит до 25 м. Настилающий слой 0,2-1,9 м. Общая мощность залегания глин выражается ориентировочно около 30 млн. кубометров.

Качество глин оказалось выше, чем в современной пойме р. Шексны. Это были глины, не отложившиеся в результате весеннего разлива р. Шексны, они озерного, более древнего происхождения. Глина не имеет никаких включений камня, без содержания известняка, пласт глины очень большой мощности и залегает сразу за почвой. Данная глина подходит для производства всех видов керамического кирпича, черепицы и тонкостенных изделий, однако не пригодна для производства гончарных образцов.

Глины месторождения Речная Сосновка были выбраны для дальнейших исследований в связи с хорошим качеством глин, близким расположением месторождения к г. Череповцу и большим запасом глин, база которых может выдержать завод любой мощности в течение длительного периода.

Одной из главных задач современного производства является расширение сырьевой базы для производства керамического кирпича. Помимо природных источников сырья в Вологодской области имеются техногенные вторичные сырьевые ресурсы. Большим объёмом и разнообразием вторичных ресурсов выделяется город Череповец.

Добавление вторичных сырьевых ресурсов позволяет снизить расход глины при производстве керамического кирпича. В качестве добавок к глине рекомендуется использовать: доменный гранулированный шлак, золу ТЭЦ и углеотходы.

Гранулированный доменный шлак представляет собой алюмосиликатный материал в аморфном состоянии, прошедший термическую обработку. Его применение при производстве керамического кирпича ведёт к снижению энергоёмкости, а также способствует решению одной из главных проблем – получение требуемой прочности.

Одним из видов местного сырья для производства строительных материалов являются золы тепловых электростанций, так как они содержат мельчайшие частицы, обладающие пуццолановыми свойствами. Количество получаемой золы последнее время чрезвычайно возросло в связи с увеличением мощности электростанций и необходимостью сжигания низкокалорийного топлива. В России ежегодно получают около 50 млн. тонн золошлаковых отходов. Золы ТЭЦ представляют собой минеральные отходы сжигания различных видов каменного угля, сланцев и торфа.

Химический состав зол ТЭЦ представлен в основном кремнезёмом, глинозёмом и оксидом кальция. Помимо этого в состав зол входят оксиды железа, магния, титана, щёлочи, серного ангидрида.

Источником образования углеотходов на углеобогатительных фабриках являются операции подготовки рядовых углей и сами обогатительные процессы. В составе минеральной части отходов углеобогащения преобладают аргиллиты. Основная масса аргиллитов представлена глинистыми минералами – гидрослюда, каолинит и частично хлорид. Содержание глинистых минералов в отходах углеобогащения в среднем составляет 66,2% .

Среди других пород в отходах углеобогащения присутствуют алевроиты, песчаники и карбонаты. Породы углеобогащения Череповецкой углеобогатительной фабрики относят к кислому сырью. Наиболее освоенная область переработки углеотходов – производство стеновых керамических материалов и лёгких заполнителей бетона.

В настоящее время большое количество залежей глиняного сырья не реализовано в производстве. Всего несколько десятилетий назад в Вологодской области действовало крупное и кустарное производство кирпича и глиняных образцов из различных сортов глины. Сейчас из всех найденных залежей глины используются малая их часть.

При создании новых предприятий и технологий по производству керамического кирпича, черепицы и других керамических изделий существует возможность реализовать заложенные в недрах нашей области ресурсы. Применение техногенного сырья позволяет снизить стоимость керамических материалов.

Керамический кирпич является уникальным строительным материалом, который сочетает в себе долговечность, экологичность, высокую огнестойкость. Основное достоинство этого материала – прочность.

Высокая прочность обуславливает возможность выгодного использования керамического кирпича во всех стадиях строительства загородного дома – начиная с закладки фундамента, и заканчивая возведением несущих стен и межкомнатных перегородок.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПК «SCAD OFFICE»

В.Н. Угловский
Научный руководитель ***И.С. Казакова****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Учет пространственной работы каркаса часто позволяет снизить расход стали и других материалов. Целесообразность этого устанавливается в каждом отдельном случае исходя из конкретных условий - размеров сооружения, его конструктивной схемы, характера воздействия внешних нагрузок и других факторов. Также учет пространственной работы каркаса оказывает свое определенное влияние на определение коэффициента расчетной длины μ для колонн поперечных рам зданий.

В целом, в большинстве случаев при проектировании поперечные рамы здания рассчитываются как отдельно стоящие плоские рамы, а такие факторы как, например, наличие жесткого диска покрытия, перекрытия, системы связей, распорок, и т.д. просто не учитываются, хотя благодаря им происходит перераспределение всех нагрузок, действующих на каркас здания.

Существует два типа расчетных систем поперечных рам каркасов: раскрепленные (несвободные) и не раскрепленные (свободные)[1]. Систему следует считать несвободной, если конструкция раскрепления не менее чем в 5 раз уменьшает горизонтальные перемещения системы. В [1] приведены формулы для определения коэффициентов расчетной длины μ для колонн свободных и несвободных рам, которые могут отличаться в 2 раза. Учесть пространственную работу каркаса можно, доказав, что система будет несвободной. Для этого необходимо проанализировать линейные горизонтальные перемещениям верхних точек колонн от нормативных нагрузок при расчете по плоской и пространственной схемам.

В работе рассмотрено 2 конструктивные схемы зданий, а именно многопролетное двухэтажное и однопролетное одноэтажное. Расчет ведется при помощи сертифицированного программного комплекса «SCAD Office» версии 11.3. Поперечные схемы рам представлены на рис. 1 и 2. Для обеих схем расчет коэффициента μ выполняется по [1] как для свободных рам.

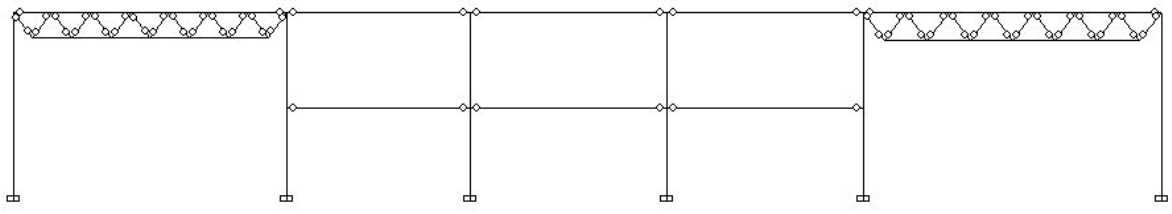


Рис. 1. Расчётная схема № 1 многопролетного двухэтажного здания

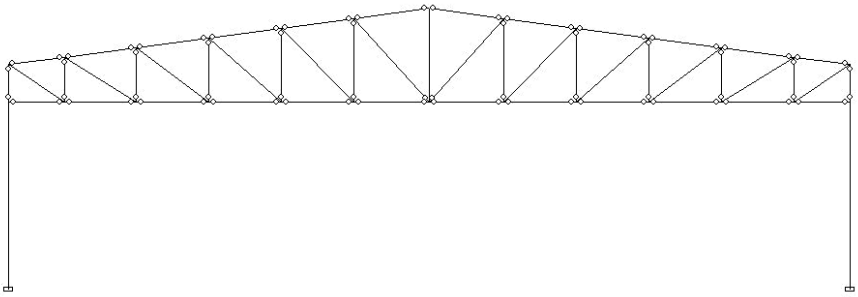


Рис. 2. Расчётная схема №2 однопролетного одноэтажного здания

Здание со схемой №1 представляет собой каркас, несущими конструкциями которого являются стальные колонны и балки из двутавров и фермы из ЗГСП, перекрытие второго этажа из монолитного железобетона, покрытие из профлиста по прогонам.

Анализ результатов расчета каркаса здания по плоской схеме на действующие нагрузки (собственный вес, снеговую, ветровую и временную эксплуатационную) показал, что наибольшие горизонтальные перемещения верхних точек колонн наблюдаются от действия ветровых нагрузок. Они составляют: максимальные – 14,12мм, а минимальные – 13,57мм.

Поэтапный учет пространственной работы каркаса сводился к введению в расчет прогонов, связей, перекрытий, покрытий и т.д. Последовательное введение и фиксирование результатов проводилось с целью определения влияния каждого компонента раскрепления на работу каркаса в целом. Конструкциями раскрепления, которые учитывались в работе для здания по схеме №1, являлись горизонтальные и вертикальные связи по фермам, продольные связи по колоннам, железобетонное перекрытие второго этажа (жестко закрепленное с ригелями), лестницы в торцах здания, прогоны и покрытие из профилированного листа (профилированный лист крепится к прогонам жестко путем крепления саморезами в каждую волну). Окончательная пространственная расчетная схема здания приведена на рис. 3.

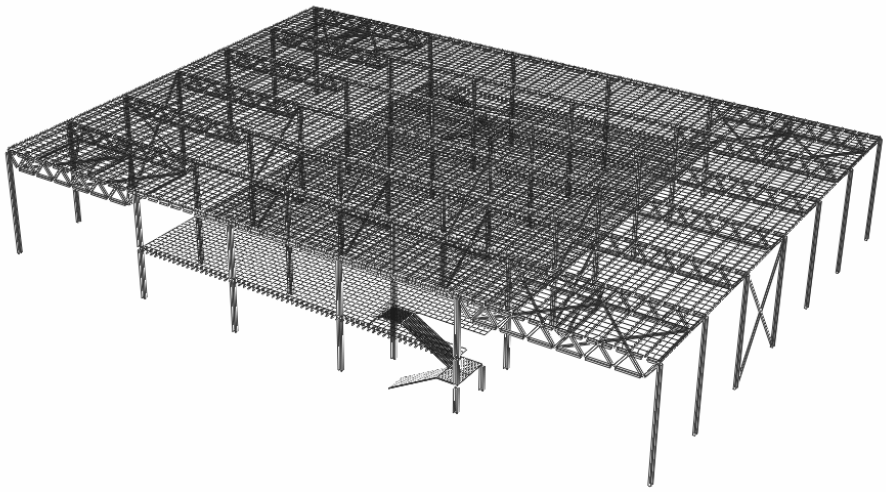


Рис. 3. Пространственная расчетная схема № 1

Полученные результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Учет влияния факторов	Горизонтальные перемещения колонн, мм	
	Max	Min
1. Прогоны и вертикальные связи по колоннам	14.12	13.57
2. Прогоны, вертикальные связи по колоннам, верт. и горизонт. связи по фермам	14.12	13.57
3. Прогоны, вертикальные связи по колоннам, верт. и горизонт. связи по фермам и лестницы в торцах здания	14.63	5.74
4. Прогоны, вертикальные связи по колоннам, верт. и горизонт. связи по фермам, лестницы в торцах здания и монолитное железобетонное перекрытие второго этажа	3.97	3.22
5. Прогоны, вертикальные связи по колоннам, верт. и горизонт. связи по фермам, лестницы в торцах здания, монолитное железобетонное перекрытие второго этажа и профилированный лист, жестко закрепленный с прогонами.	2.81	2.59

На основании полученных результатов расчета поперечных рам по плоской и пространственной схемам установлено, что рассчитываемую поперечную раму можно считать несвободной, так как горизонтальные перемещения верхних точек колонн уменьшились более чем в 5 раз, и соответственно, определение коэффициента расчетной длины μ необходимо производить по [1] как для несвободных рам.

Здание по схеме № 2 представляет собой каркас, несущими конструкциями которого являются стальные колонны из труб квадратного профиля и фермы из спаренных уголков, покрытие выполнено из профилированного листа по прогонам. Пролет здания 18м, шаг колонн 3м. Приложив к плоской схеме все действующие нагрузки - ветровую, снеговую, собственный вес, получили максимальное значение горизонтального перемещения верхних точек колонн 8.1мм. Конструкциями раскрепления, которые учитываются в работе для здания по схеме №2, являются горизонтальные и вертикальные связи по фермам, продольные связи по колоннам, прогоны и покрытие из профилированного листа, а также поперечные вертикальные связи между колоннами с шагом 39м. Данное здание было рассмотрено в 2-х вариантах: короткое, длиной 39м, и длинное-117м. Окончательная пространственная схема приведена на рис. 4.

Результаты по обоим вариантам получились схожие, поэтому выводы отразим только по варианту № 1(здание длиной 39м).

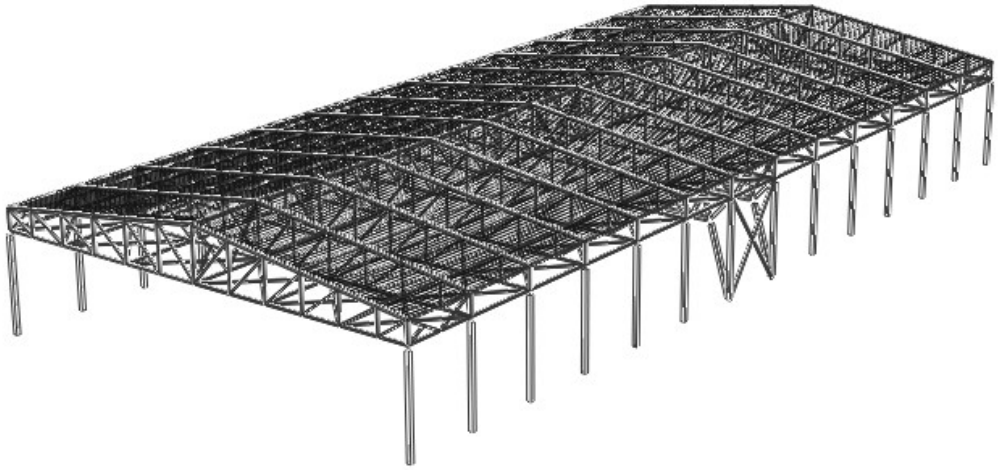


Рис. 4. Пространственная расчетная схема № 2

Результаты расчета сведены в таблицу 2 .

Таблица 2

Учет влияния факторов	Максимальные горизонтальные перемещения колонн, мм
1. Прогоны и распорки	8,09
2. Прогоны, распорки, продольные связи по колоннам и вертикальные и горизонтальные связи по фермам	7,48
3. Прогоны, распорки, продольные связи по колоннам, вертикальные и горизонтальные связи по фермам и профилированный настил	7,35
4. Прогоны, распорки, продольные связи по колоннам, вертикальные и горизонтальные связи по фермам, профилированный настил и поперечные вертикальные связи между колоннами в середине здания	1,01

Следует отметить, что при исключении из пространственной работы жестко закрепленного профилированного листа максимальное горизонтальное перемещение колонн увеличивается до 2,4 мм. Это говорит о том, что при вводе поперечных связей между колоннами, профлист оказывает существенное влияние на работу каркаса в целом, однако он не оказывает практически никакого влияния, когда поперечные связи отсутствуют.

На основании полученных результатов по расчету здания по схеме №2 можно сделать вывод, что поперечная рама будет несвободной, так как горизонтальные перемещения верхних точек колонн уменьшились более чем в 5 раз, и соответственно определение коэффициента расчетной длины μ будет производиться по [1] как для несвободных рам.

При увеличении расстояния между вертикальными связями по колоннам до 50 м максимальные горизонтальные перемещения верхних узлов колонн при расчете по плоской схеме менее, чем в 5 раз превышают перемеще-

ния верхних узлов колонн при расчете по пространственной схеме. В этом случае поперечные рамы нельзя рассматривать как несвободные.

При расчете поперечных рам как несвободных коэффициент μ уменьшается по сравнению с расчетом рам как свободных, что в дальнейшем приводит к уменьшению сечения колонн и, соответственно, к уменьшению их материалоемкости. Однако не каждую поперечную раму при расчете можно рассматривать как несвободную, поэтому на стадии проектирования необходимо проводить детальный анализ всего здания в целом. Благодаря существующим на сегодняшний день технологиям, а именно различным расчетным программам и комплексам программ, данный анализ становится относительно легко реализуемым.

Литература

1. СП 16.13330.2011.Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 20.05.2011. – М: ГУП ЦПП, 2011. – 172 с.

2. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD // В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А.А. Маляренко, М.А. Мики. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 592 с.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСЕЧЕННОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Е.А. Шепелина

Научный руководитель ***В.С. Уткин****, д-р техн. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Закон Российской Федерации №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в котором предписываются минимально необходимые требования по обеспечению безопасности строительных конструкций, вступил в силу 1 июля 2010 года.

Особую значимость в безопасности зданий и сооружений представляют требования механической безопасности. По этим требованиям строительные конструкции и основания зданий должны обладать той прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений в результате:

1) разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей;

2) разрушения всего здания, сооружения или их частей;

3) деформации недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения и геологических массивов прилегающей территории;

4) повреждения части здания или сооружения, сетей или систем инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности.

В развитие Закона №384-ФЗ был разработан стандарт "ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования". В стандарте указывается, что вероятностно-статистические методы рекомендуется применять для обоснования нормативных и расчетных характеристик материалов и оснований, нагрузок и коэффициентов сочетаний. Использование указанных методов допускается при наличии достаточных данных об изменчивости основных параметров в случае, если количество (длина ряда) данных позволяет проводить их статистический анализ (в частности, эти данные должны быть однородными и статистически независимыми). К сожалению, на практике часто оказывается так, что информация оказывается недостаточной. В этом случае применение вероятностостатистических методов недопустимо.

В связи с этим нами проводятся разработки методик для расчетов оснований фундаментов по двум критериям: по прочности грунта и по осадке фундамента. В этом смысле основание является сложной механической системой, состоящей из 2 элементов (критерии прочности и критерии осадки), отказ одного из которых приводит к отказу всей системы.

С точки зрения структуры, основание представляет собой послойную систему, в которой надежность определяется как вероятность безотказной работы по формуле:

$$P_c = P_1 \cdot P_2. \quad (1)$$

Значит, для оценки надежности всего основания необходимо знать: P_1 – вероятность безотказной работы по критерию прочности грунта основания и P_2 – вероятность безотказной работы по критерию осадке фундамента.

Для расчета надежности грунтового основания по критерию его прочности нами предлагается новый подход к расчету надежности оснований фундаментов, основанный на усеченном интервальном законе распределения вероятностей [1], в частности для характеристики случайной величины $\tilde{R} = \tilde{q}$.

В графическом виде усеченное интервальное распределение имеет вид, показанный на рис. 1.

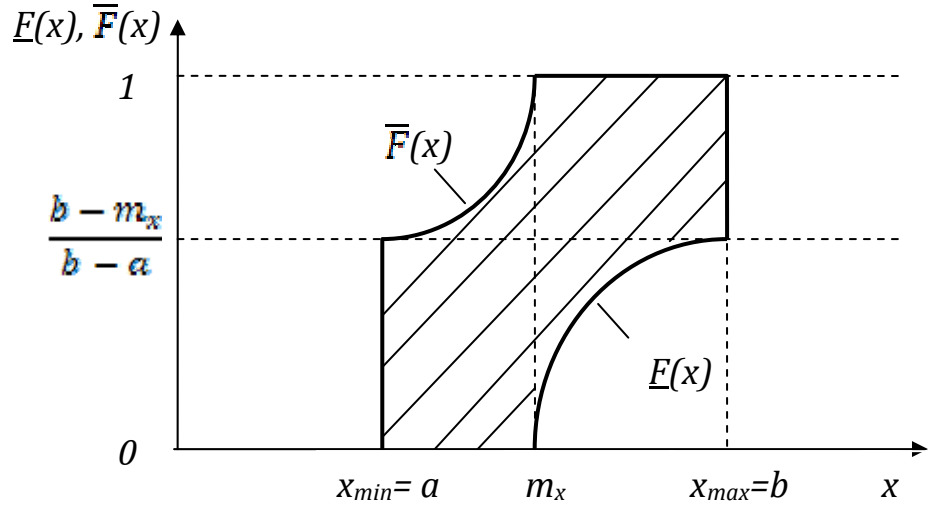


Рис. 1. Множество функций распределения F(x), ограниченное границами, где m_x – среднее значение, $\overline{F}(x)$ и $\underline{F}(x)$ – соответственно верхняя и нижняя функция распределения случайной величины X

1 случай. Математическая модель предельного состояния, учитывающая изменчивость нагрузки на грунт основания, имеет вид:

$$\tilde{R} \leq R_{пр}, \tag{2}$$

где $\tilde{R}$ – случайная величина – давление на грунт основания от фундамента;

$R_{пр}$ – предельное значение давления на грунт, в данный момент равного расчетному сопротивлению, определяемому по известной формуле (СП 50-101-2004):

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k}\left[M_\gamma k_z b\gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + +\left(M_q - 1\right)d_b\gamma'_{II} + M_c c_{II}\right]. \tag{3}$$

Значения параметров в (3) определяются по СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений» в зависимости от вида грунта основания и других факторов.

Пример 1. Пусть известно значение $R_{пр} = 29Н/см^2$. $\tilde{R}$ – случайная величина с точными значениями границ $a = R_{min} = q_{min} = 20Н/см^2$, $b = R_{max} = q_{max} = 30Н/см^2$, $R_{ср} = m_x = 25Н/см^2$.

Надежность основания фундамента по критерию прочности грунта будет характеризоваться интервалом $\left[\underline{F}(R), \overline{F}(R)\right]$.

Для рассматриваемой задачи из рис. 1 видно, что при заданных исходных данных имеем

$$\overline{F}(R) = 1. \tag{4}$$

Значение $\underline{F}(R)$ найдем по (3) при $x=R_{пр}$.

$$\underline{F}(R) = \frac{R_{пр} - m_x}{R_{пр} - a} = \frac{29-25}{29-20} = \frac{4}{9} = 0{,}445. \tag{5}$$

Надежность основания характеризуется интервалом [0,445;1]. Истинное значение надежности неизвестно, но оно находится внутри полученного интервала.

Полностью методика изложена в статье «Расчет надежности оснований фундаментов многоэтажных зданий при ограниченной (неполной) информации о параметрах математической модели предельного состояния», которая представлена для публикации в журнал «Строительная механика и расчет сооружений»№6.

Задачу можно решить вероятностно-статистическим методом, используя для $\tilde{R}$ функцию равномерного распределения [2] в виде $F(x) = \frac{x-a}{b-a}$ и представленную на рис. 2.

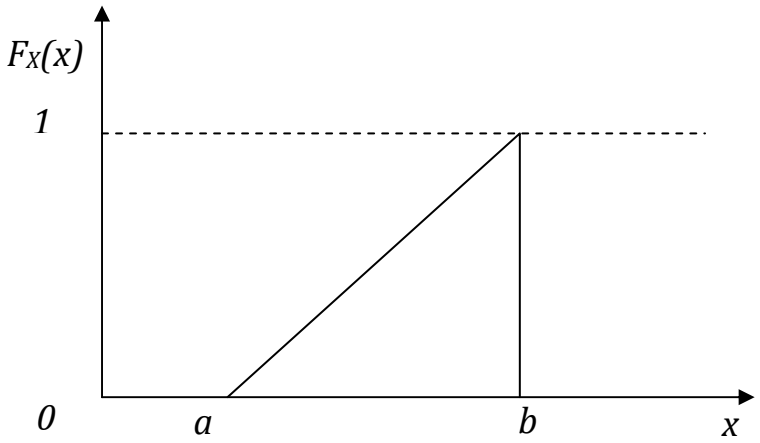


Рис. 2. Равномерное распределение случайной величины x

При $x = R_{пр} = 29Н/см^2$, $a = 20Н/см^2$ и $b = 30Н/см^2$ имеем вероятность безотказной работы основания фундамента:

$$P = \frac{29-20}{30-20} = 0{,}9. \qquad (6)$$

Такой подход привлекателен тем, что даже при крайне ограниченной информации о нагрузке $\tilde{R}$ имеем однозначное «уверенное» значение вероятности безотказной работы основания, удобное для принятия решения о возможности (невозможности) эксплуатировать здание по надежности основания. Однако, эта привлекательность ошибочна, так как нагрузка на грунт основания практически изменяется неравномерно, что и может привести к непоправимым последствиям. Более осторожный результат получаем по усеченному интервальному распределению. На основании более осторожного результата с учетом ответственности сооружения можно принять более объективное решение о возможности (невозможности) его эксплуатировании по критерию неразрушимости.

2 случай. Нами рассмотрен также вариант, при котором математическая модель предельного состояния учитывает изменчивость не только нагрузки, но и характеристики грунта вид:

$$\tilde{R} \leq \tilde{R}_{\text{пр}}, \tag{7}$$

где $\tilde{R}$ – давление фундамента на грунт основания, которое, в силу ограниченности информации, как будет показано ниже, будем описывать усеченным интервальным распределением [1];

$\tilde{R}_{\text{гр}}$ – предельное сопротивление грунта основания, определяемое по формуле (3).

$$\underline{P} = \int_{m_X}^{b_X} \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_Y} e^{-\frac{(x-m_Y)^2}{2\cdot S_Y^2}} \cdot \frac{b_X - m_X}{b_X - x} dx + \int_{b_X}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_Y} e^{-\frac{(x-m_Y)^2}{2\cdot S_Y^2}} dx; \tag{8}$$

$$\overline{P} = \int_{a}^{m_X} \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_Y} e^{-\frac{(x-m_Y)^2}{2\cdot S_Y^2}} \cdot \frac{x - m_X}{x - a_X} dx + \int_{m_X}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_Y} e^{-\frac{(x-m_Y)^2}{2\cdot S_Y^2}} dx.$$

Для наглядности решения на рис.3 приведено графическое изображение функций при $m_Y > m_X$.

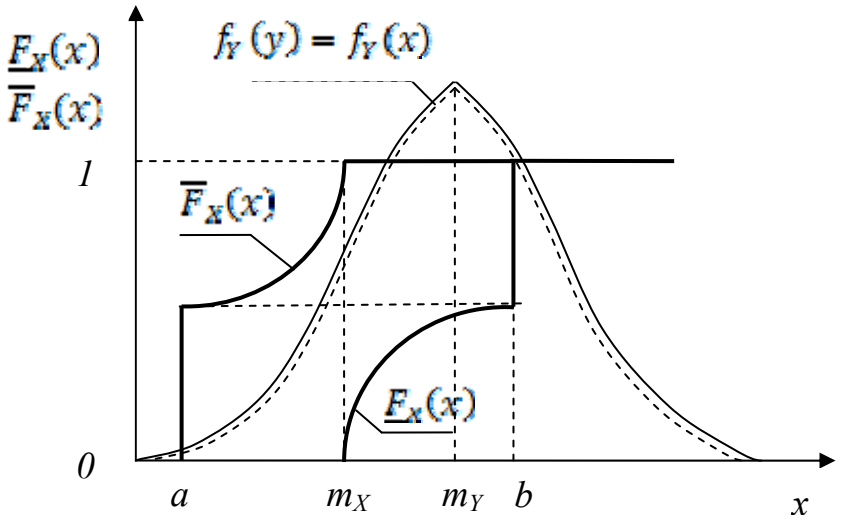


Рис. 3 Функции $\underline{F}_X(x)$, $\overline{F}_X(x)$, $f_Y(x)$

Пример 2. Пусть известны значения $a = q_{min} = 20\ Н/см^2$, $b = q_{max} = 30\ Н/см^2$, $m_X = 25\ Н/см^2$, $m_Y = 29\ Н/см^2$, $S_Y = 3\ Н/см^2$. Функции распределения известны для $X = \tilde{R}$, это $\underline{F}(x)$ и $\overline{F}(x)$, и для $Y = \tilde{R}_{\text{гр}}$, это нормальные распределения $f(y)$.

По формуле (8) найдем:

$$\overline{P} = \int_{20}^{25} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} \cdot \frac{x-25}{30-x} dx + \int_{25}^{\infty} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} dx = 0{,}892;$$

$$\underline{P} = \int_{25}^{30} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} \cdot \frac{x-25}{x-20} dx + \int_{30}^{\infty} \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-29)^2}{2\cdot 3^2}} dx = 0{,}552.$$

Надежность будет характеризоваться интервалом [0,552;0,892].

В наши планы входит разработка частной методики для оценки надежности основания фундаментов по второму критерию, с применением расчетной модели:

$$\tilde{S} \le S_{пр}, \qquad (9)$$

где $\tilde{S}$ – осадка фундамента (случайная величина), значение которой получают измерениями;

$S_{пр}$ – предельно допустимая осадка фундамента (детерминированная величина), установленная нормами.

Выводы:

1. Представлены новые модели для расчета надежности, как мер механической безопасности оснований, фундаментов и здания в целом, как механической системы.

2. Данная методика может найти применение в других конструкциях несущих элементов с ограниченной информацией о них.

Литература

1. Уткин, В.С. Расчет надежности деталей машин с использованием неравенств Чебышева / В.С. Уткин, Л.В. Уткин // Вестник машиностроения. – 2012. – № 1. – С. 7-10.

2. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Пер. с англ. / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Изд-во «Мир», 1980. – 512 с.

3. Кузнецов, В.П. Интервальные статические модели/ В.П. Кузнецов. – М.: Радио и связь, 1991. – 544 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТРЕЩИНОЙ

Е.А. Ширикова
Научный руководитель ***Л.И. Булгакова****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Проблемами современного градостроительства является реконструкция и ремонт существующей застройки, а также способы увеличения сроков ее эксплуатации на стадиях строительства. Дерево как строительный материал всегда находило широкое применение при возведении зданий и сооружений в виде несущих и ограждающих конструкций. Срок эксплуатации значительной части несущих деревянных конструкций превышает рекомендованный технической литературой – 50÷60 лет [1, 2].

При эксплуатации имеются примеры как быстрого разрушения конструкций из древесины, так и безаварийной их эксплуатации на протяжении нескольких веков. Причины этого хорошо изучены - если конструкции эксплуатируются без нарушения их целостности, заданная несущая способность сохраняется в течение всего периода эксплуатации. В противном случае несущая способность уменьшается из-за возникающих в них повреждений, в основном механического (трещин) и биологического (гниение) характера. Поэтому сохранение конструкцией первоначальной свойств, заданных ей при изготовлении, является одним из главных фактором, влияющим на изменение их несущей способности.

Повреждения конструкций, возникающие при неправильной эксплуатации, изучены многими учеными (Г.Г. Карлсен, А.Д. Ломакин, И.М. Гуськов,С.Б. Турковский, Н.И. Тузов, Г.А. Цвигман и др). Основными повреждениями, возникшими в процессе эксплуатации конструкций, являются поражение дереворазрушающими грибами и трещины. Однако оценка влияния повреждений на эксплуатационные характеристики конструкций, как правило, носила качественный характер. Причем повреждения рассматривались на относительно ограниченном количестве конструкций. Практически отсутствуют работы, рассматривающие основные закономерности появления повреждений, и, что особенно важно, не устанавливается количественная взаимосвязь между повреждениями и изменением из-за их наличия несущей способности конструкции. Соответственно, отсутствуют конкретные рекомендации по предупреждению появления повреждений и устранению их отрицательного влияния на конструкции в процессе их эксплуатации.

Целью работы является исследование несущей способности длительно эксплуатируемых деревянных конструкций с учетом возникших в них повреждений и уточнение их расчета.

Дли достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать состояние деревянных конструкций с различными повреждениями, возникшими в процессе эксплуатации;

- определить снижение несущей способности от вида повреждения;

- разработать методику расчета деревянных конструкций с повреждениями;

- разработать предложения по предупреждению возникновения повреждений и восстановлению несущей способности деревянных конструкции в процессе эксплуатации.

Обследование эксплуатируемых конструкций является основным способом изучения повреждений и причин их появления. Изучению возникающего в процессе эксплуатации дефектного состояния посвящены работы Бойко М.Д., Варфоломеева Ю.А., Гуськова И.Н., Ковальчука Л.М., Цвингман Г.А. и др. В большинстве работ отмечается недостаточный учет в нормативной и рекомендательной литературе их особенностей, специфики появления и развития повреждений. Показателем целостности материалов являются трещины, кармашки, проросты. Характеристики трещин приняты по ГОСТ.

Расчет деревянных балок с горизонтальными трещинами рассматривал И.Н. Квасников, основываясь на теории хрупкого разрушения балки при скалывании. Сравнение экспериментальных и теоретических данных дали расхождение до 62%, что говорит о недопустимости применения данного способа учета трещин. А.Р. Ржаницын, П.Ф. Плешков, В.С. Форсов, В.М. Коченов предлагают методы расчета составных стержней на связях. Данные приближенные методы имеют хорошую сходимость результатов, но только достаточно большого количества связей сдвига. В работах Б.Н. Ягнюка рассмотрена методика расчета изгибаемых балок с отверстиями, в которой используется теория линейно-упругого расчета. Рассмотренный метод позволяет произвести расчет только по касательным напряжениям, но не может оценить изменение несущей способности конструкции. Теоретические и экспериментальные исследования в этой области проводились М.М. Гаппоевым, который использовал критерии механики разрушения. В настоящее время получил распространение метод конечных элементов (МКЭ), на основании которого можно выполнить расчет составного стержня с дискретными связями. Преимущество метода конечных элементов состоит в возможности применения любой конфигурации элемента и геометрии трещины.

В настоящее время отсутствует методика расчета деревянных конструкций с трещинами.

По имеющимся экспериментальным данным в литературных источниках можно оценить встречаемость трещин в основных деревянных конструкциях.

Балки чердачных и междуэтажных перекрытий

Процент междуэтажного и чердачного перекрытий с трещинами, составляет соответственно 80% и 81%.

Стропильные конструкции

Встречаемость конструкций с трещинами составляет 50%. В период эксплуатации 100…50 лет встречаемость поврежденных конструкций составляет 69,4%. Это соответственно в 1,7 и 1,9 раз больше, чем при сроке эксплуатации 50…100 и 150…200 лет (рис. 1).

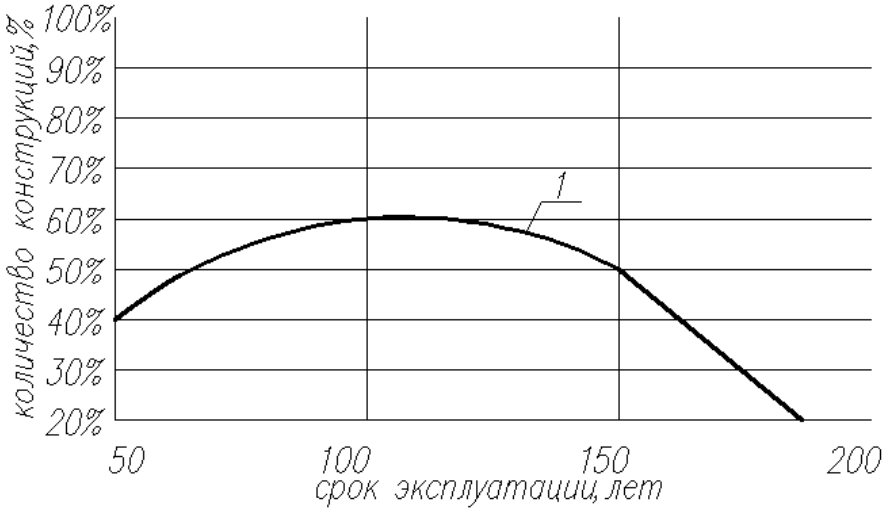


Рис. 1. Количество стропильных конструкций с трещинами

Встречаемость потрескавшихся элементов стропильных конструкций с различным напряженным состоянием отличается в 1,1-1,4 раза, за исключением поврежденных растянутых элементов в период эксплуатации 50…100 лет, встречаемость которых в 2,2 раза больше, чем изгибаемых и сжатых. Это можно объяснить использованием менее качественного материала при изготовлении растянутых элементов в последнее время.

В период эксплуатации 100…150 лет встречаемость поврежденных изгибаемых элементов соответственно в 1,4 и 1,1 раза больше, чем растянутых и сжатых.

Анализ результатов обследований показывает что:

1. Встречаемость балок с торцевыми трещинами составляет 97…100%. Максимальное количество поврежденных балок с вертикальным расположением трещин по сечению -43%, а с горизонтальным и наклонным расположением в 2,2 и 1,1 раза меньше. Встречаемость балок с глубиной трещин 0,25…0,5 В составляет 0,88-100%. Наиболее вероятная ширина раскрытия трещин 1,1…2см-до 49%, что в 1,1-2,4 раза больше ширины раскрытия до 1см и 2,1…3см.

Встречаемость поврежденных балок с вертикальными и наклонными трещинами на всей их длине наибольшая и составляет 76 и 93%. При горизонтальном расположении трещин максимальное количество поврежденных балок с длиной трещин 1/5…4/5 L -62%, что в 2,2 и 1,8 раз больше, чем с длиной трещин до 1/5 L и L.

2. Встречаемость балок с торцевыми трещинами составляет 92…100%, в зависимости от расположения трещин на сечении.

Встречаемость в потрескавшихся балках с вертикальными трещинами составляет 52%, что в 3,2 и 1,7 раз больше, чем с горизонтальными и наклонными.

Встречаемость поврежденных балок с глубиной вертикальных, горизонтальных и наклонной трещин 0,25…0,5 В (высоты или ширины сечения) составляет соответственно 94,88,93%, а с глубиной до 0,25 В-6,12 и 7%.

Встречаемость поврежденных балок с шириной раскрытия вертикальных, горизонтальных и наклонных трещин 1,1…2см составляет соответственно 43;40 и 48%. Для балок с вертикальными трещинами это соответственно в 4,9, 1,1 и 4,9 раза больше, чем с шириной раскрытия до 0,5 см., 0,6…1см и 2,1…3см.

Встречаемость поврежденных балок с длиной вертикальных, горизонтальных и наклонных трещин, равной длине конструкции L составляет соответственно 75;48 и 89%. Для балок с горизонтальными трещинами это в 6 и 1,1 раз больше, чем с длиной до 1/5 L и 1/5…4/5 L

3. Встречаемость поврежденных конструкций с торцевыми трещинами составляет 96…99%, в зависимости от расположения трещин на сечении.

Встречаемость в потрескавшихся конструкций с горизонтальными трещинами составляет 47%, что в 12 и 3 раз больше, чем с вертикальными и наклонными.

Встречаемость конструкций с глубиной вертикальных и наклонной трещин 0,25…0,5В составляет соответственно 67 и 75%, а с глубиной горизонтальных трещин до 0,25 В-0,5В 0,51…0,75В и 0,76…В - соответственно 25,72,2 и 1%.

Встречаемость поврежденных конструкций с шириной раскрытия вертикальных и наклонных трещин 1,1…2 см составляет соответственно 35 и 41%. Для конструкций с вертикальными трещинами это соответственно в 1,4, 1,2 и 4,5 раза больше, чем с шириной раскрытия до 0,5 см., 0,6…1см и 2,1…3см.

Встречаемость конструкций с шириной раскрытия горизонтальных трещин 0,6…1см составляет 42%, что соответственно 69,64 и 76%. Для конструкций с горизонтальными трещинами это в 11 и 2,3 раз больше, чем с длиной до 1/5L и 1/5…4/5 L

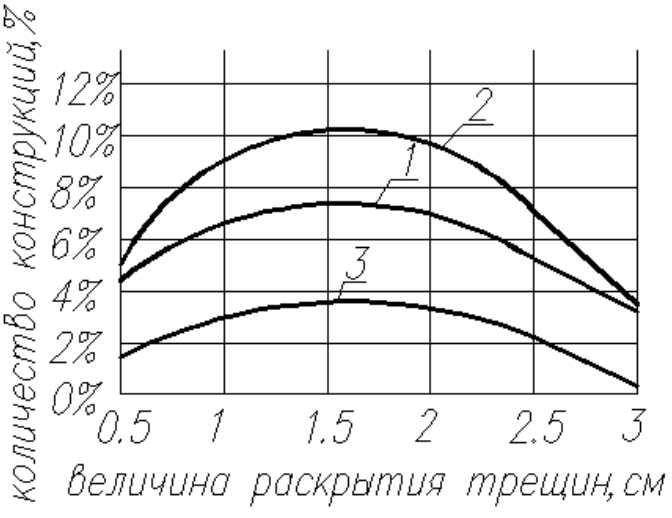


Рис. 2. Количество стропильных конструкций с трещинами:
1-вертикальные трещины;
2- горизонтальные трещины;
3- наклонные, винтовые и др.

По проведенному анализу можно получить аппроксимирующие кривые, приведенные в таблице.

Таблица

Встречаемость стропильных конструкций с различными параметрами трещин

Расположение трещины на сечении конструкции	Размеры трещины	Аппроксиметрирующая кривая	r
Вертикальное	Ширина раскрытия	$N=-1.4*10^{-3}b^3-6.9*10^{-3}b^2+5.38*10^{-2}b$	0.909
	Длина	$N=8.33*10^{-2}l^{-1.3102}$	0.738
Горизонтальное	Ширина раскрытия	$N=-8.5*10^{-3}b^3+3.01*10^{-2}b^2+1.9*10^{-2}b$	0.953
	Длина	$N=0.1126l^{-1.3615}$	0.825
Наклонное, винтовое и др.	Ширина раскрытия	$N=-3.5*10^{-3}b^3+1.36*10^{-2}b^2+2.4*10^{-3}b$	0.988
	Длина	$N=4.26*10^{-2}l^{-1.7702}$	0.874

Примечание: N-количество конструкций, %; b-ширина раскрытия трещины, см; l-длина трещины; r-коэффициент корреляции.

В результате проведенных исследований установлено, что:

Встречаемость поврежденных конструкций с трещинами составляет более 47%, что требует расчета деревянных конструкций с учетом повреждений и разработки предложений по предупреждению повреждений.

Литература

1. ВСН 58-88(р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования. – Введ. 1989-01-06. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 25 с.

2. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Введ. 2011-01-01. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2010. – 61 с.

Секция «ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ ЧС ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА»

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА

К.В. Аксенчик
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

Тепловлажностная обработка (ТВО) является одним из распространенных методов ускоренного твердения бетона, наряду с использованием химических добавок и быстротвердеющих цементов. Тепловые способы основаны на увеличении скорости реакций взаимодействия вяжущих веществ с водой при повышении температуры. В производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций ТВО является наиболее энергоемкой и длительной стадией и преимущественно осуществляется в пропарочных камерах.

Известны экспериментальные, экспериментально-расчетные и расчетно-экспериментальные способы назначения режимов ТВО бетона. Большие работы на пути к созданию этих способов были сделаны Л.Я. Волосяном, А.Д. Дмитровичем, И.Б. Заседателевым, Л.А. Малининой, Н.Б. Марьямовым и др. исследователями.

В настоящее время режимы обработки назначаются по нормативным рекомендациям с обязательной экспериментальной проверкой и уточнением параметров режимов или экспериментально-расчетными способами, которые характеризуются значительными расходами и трудозатратами на постановку экспериментов.

Однако наиболее перспективными с точки зрения сокращения расходов и трудоемкости являются расчетно-экспериментальные способы. В приложении к автоклавной обработке ячеистых бетонов такой способ разработан Е.И. Шмитько и А.А. Фединым [1], для электротепловой обработки, – С.В. Федосовым, А.М. Соколовым [2], для ТВО в ямных пропарочных камерах М.С. Бибиком, В.В. Бабицким [3]. Первые два способа не применимы к ТВО в пропарочных камерах, ввиду различия механизмов процессов тепло- и массообмена (ТМО). Третий способ разработан для назначения энергосберегающих термосных режимов обработки бетона и учитывает только конструктивные процессы в бетоне при его ТВО (рост прочности) без учета деструктивных факторов (перепадов температуры и влагосодержания), которые приводят к появлению напряженного состояния и, как следствие, ухудшению качества бетона.

В связи с этим разработка комплексной расчетно-экспериментальной методики назначения режимов ТВО бетона в пропарочных камерах с учетом конструктивных процессов и деструктивных факторов является актуальной.

Целью данной работы было исследование процессов ТМО и напряженного состояния в бетоне, подвергаемом ТВО в пропарочной камере в паровоздушной среде (ПВС), и разработка на этой основе комплексной методики расчета тепловых режимов обработки.

Ставились следующие задачи исследования:

1. Разработать математические модели процессов ТМО и напряженного состояния бетона при его ТВО в пропарочной камере в ПВС и алгоритмы их реализации.

2. Выполнить экспериментальные исследования процессов ТМО в бетоне, твердеющем в условиях ТВО.

3. Определить влияние параметров процесса ТВО на перепады температуры и влагосодержания в бетоне, выявить закономерности совместного влияния перепадов на напряженное состояние в бетоне.

4. Разработать комплексную методику назначения режимов ТВО с учетом напряженного состояния бетона.

В работе использованы методы: математическое моделирование, системный анализ, численные расчеты и эксперимент.

Разработаны математические модели процессов ТМО, протекающих в бетоне при его ТВО в пропарочных камерах в ПВС. В моделях в отличие от известных учтены одновременно: источник теплоты и сток влаги в процессе твердения цемента, несимметричные граничные условия конвективного ТМО с изменением во времени коэффициентов тепло- и влагоотдачи, зависимость коэффициента теплопроводности от средней температуры и влагосодержания.

Математическое описание процессов теплообмена представлено дифференциальным уравнением теплопроводности в одномерной постановке, имеющем вид

$$\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = a\left(\overline{T},\overline{U}\right)\frac{\partial^2 T(x,\tau)}{\partial x^2} + \frac{Ц}{c\rho}\frac{\partial Q(\tau)}{\partial \tau}, \qquad (1)$$

начальным и граничными условиями

$$T(x,0) = T_0 = const,\ при\ 0 \le x \le H, \qquad (2)$$

$$-\lambda\left(\overline{T},\overline{U}\right)\left.\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x}\right|_{x=0} = \alpha(\tau)\Big|_{x=0}\left[T(x,\tau)\Big|_{x=0} - T_{CP}(\tau)\right], \qquad (3)$$

$$-\lambda\left(\overline{T},\overline{U}\right)\left.\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x}\right|_{x=H} = \alpha(\tau)\Big|_{x=H}\left[T(x,\tau)\Big|_{x=H} - T_{CP}(\tau)\right], \qquad (4)$$

где T – температура, К; x – текущая координата, м; τ – время, с; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с; H – толщина, м; $\overline{T}$, $T_{CP}(\tau)$ – средняя по

сечению температура и температура ПВС в момент времени τ соответственно, К; $\bar{U}$ – среднее по сечению влагосодержание бетона, кг/кг; $Q(\tau)$ – текущее тепловыделение цемента, Дж/кг; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м^3; T_0 – начальная температура бетона, К; $\alpha(\tau)$ – коэффициент теплоотдачи в зависимости от времени, Вт/(м^2·К),

Математическое описание процессов массообмена представлено дифференциальным уравнением диффузии в одномерной постановке, имеющем вид

$$\frac{\partial U(x,\tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U(x,\tau)}{\partial x^2} - \frac{КЦ}{\rho}\frac{\partial Q(\tau)}{\partial \tau}, \qquad (7)$$

начальным и граничными условиями

$$U(x,0) = U_0 = B/(Ц + П + Щ) = const, \; при \; 0 \le x \le H, \qquad (8)$$

$$a_m \rho \left.\frac{\partial U(x,\tau)}{\partial x}\right|_{x=0} = \frac{\alpha'(\tau)\varphi(\tau)}{100}\left[\rho_{в.п}\left(T_{CP}(\tau)\right) - \rho_{в.п}\left(T(x,\tau)\big|_{x=0}\right)\right], \qquad (9)$$

$$\left.\frac{\partial U(x,\tau)}{\partial x}\right|_{x=H} = 0, \qquad (10)$$

где U – влагосодержание, кг/кг; a_m – коэффициент диффузии жидкой влаги в бетоне, м^2/с; U_0 – начальное влагосодержание бетона, кг/кг; $Ц$, $П$, $Щ$, B – удельные расходы цемента, песка, щебня и воды соответственно, кг/м^3; $\alpha'(\tau)$ – коэффициент влагоотдачи в зависимости от времени, м/с; φ – относительная влажность, доли ед.

На значение влагосодержания бетона как капиллярно-пористого тела введено ограничение $U_{\min} \le U \le U_{\max}$. В качестве минимального влагосодержания использована равновесная влажность бетона.

Разработана математическая модель напряженного состояния бетона в процессе его ТВО в пропарочной камере в ПВС, отличающаяся от известных тем, что позволяет рассчитывать суммарные напряжения, вызываемые изменениями температуры и влагосодержания. Математическое описание напряженного состояния бетона состоит из уравнений:

$$\sigma^{сум}(x,\tau) = \sigma^t(x,\tau) + \sigma^U(x,\tau), \qquad (11)$$

$$\begin{cases} \tau^t_{xy}(\tau) = \tau^t_{xz}(\tau) = \tau^t_{yz}(\tau) = \sigma^t_x(\tau) = 0 \\ \sigma^t_y(\tau) = \sigma^t_z(\tau) = \sigma^t(\tau) = \dfrac{\alpha_t E(\tau)}{1-\nu}\left[T(x,\tau) - \bar{T}(\tau)\right] \end{cases}, \qquad (12)$$

$$\begin{cases} \tau^U_{xy}(\tau) = \tau^U_{xz}(\tau) = \tau^U_{yz}(\tau) = \sigma^U_x(\tau) = 0 \\ \sigma^U_y(\tau) = \sigma^U_z(\tau) = \sigma^U(\tau) = \dfrac{\beta E(\tau)}{1-\nu}\dfrac{U(x,\tau) - \bar{U}(\tau)}{1+\beta U(x,0)} \end{cases}, \qquad (13)$$

где $\sigma^t(x,\tau)$, $\sigma^U(x,\tau)$, $\sigma^{сум}(x,\tau)$ – нормальное температурное, влажностное и суммарное напряжение соответственно, МПа; $\tau^t(\tau)$, $\tau^U(\tau)$ – касательное температурное и влажностное напряжение соответственно, МПа; α_t – коэффициент линейного расширения, °С$^{-1}$; $E(\tau)$ – модуль упругости, Н/м^2; β – коэффициент линейной усадки или набухания, (мм/мм)/(кг/кг);

Разработаны алгоритмы численной реализации методом конечных разностей математических моделей процессов ТМО и напряженного состояния в виде программы в системе Mathcad. Для решения применялся метод прогонки.

Получены экспериментальные данные по распределению температуры и среднего влагосодержания в бетоне в процессе его ТВО по различным режимам, по коэффициенту теплопроводности бетона в зависимости от плотности и влагосодержания и коэффициенту диффузии жидкой воды для бетона на шлаковом щебне.

Коэффициент теплопроводности исследуемого бетона, составы которого указаны в таблице, определялся по ГОСТ 7076–99 на приборе ИТСМ–1 методом неограниченного плоского слоя на образцах, прошедших ТВО режиму 2+4+6+4 при температуре изотермической выдержки 80 °С во влажном и сухом состоянии. Результаты исследований представлены на рис. 1 (а, б).

Таблица

Составы бетонной смеси

Номер состава	Расход компонентов					
	кг/м^3				дм^3/м^3	
	Цемент	Щебень фр. 5–10	Щебень фр. 10–20	Песок	Вода	Реламикс Т–2
1	320	572	475	626	155	5,5
2	350	623	522	685	170	6,5

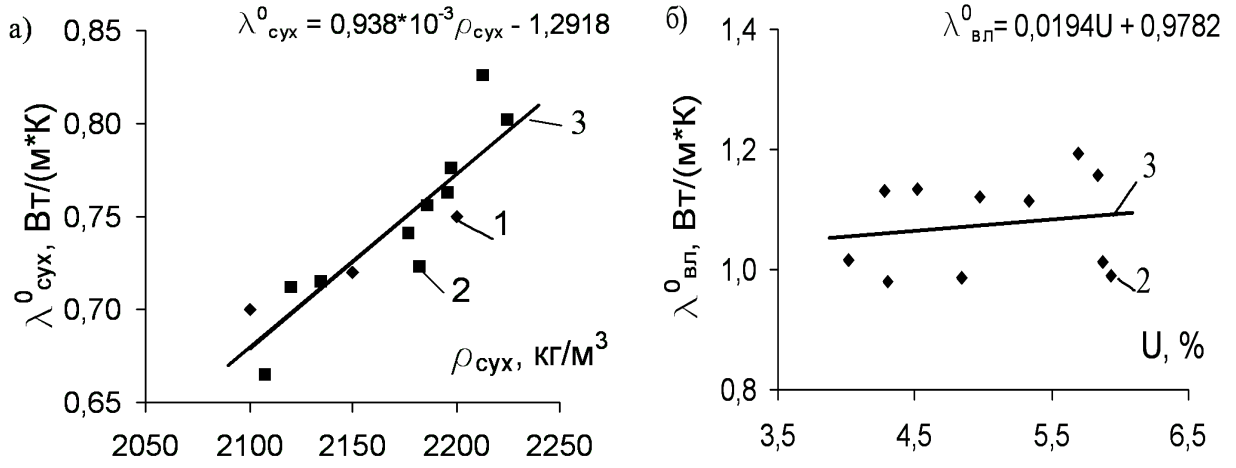


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности бетона на шлаковом щебне от плотности сухого бетона при 0 °С (а) и влагосодержания (б) по данным: 1 – В.С. Грызлова; 2 – автора; 3 – расчета

Полученные зависимости использованы для численных расчетов с помощью математической модели теплообмена. Максимальное влагосодержание определялось экспериментально по ГОСТ 12730.3–78. Результаты представлены на рис. 2.

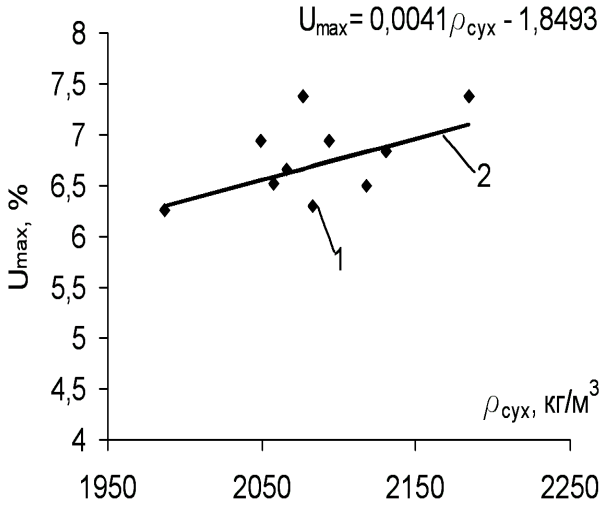


Рис. 2. Зависимость максимального влагосодержания от плотности сухого бетона: 1 – эксперимент; 2 – расчет

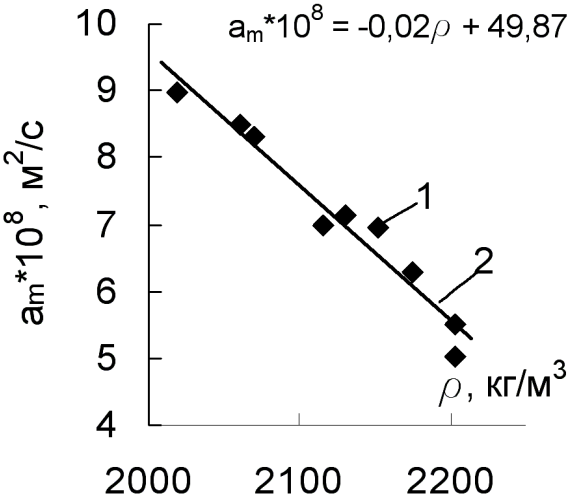


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузии жидкой воды для бетона на шлаковом щебне от влагосодержания: 1 – эксперимент; 2 – расчет

Исследования температурных полей выполнялось на лабораторной экспериментальной установке на образцах в форме куба с ребром 10 см и промышленных образцах в форме блока с размерами 59×39×26 см.

С помощью установки исследованы температурные поля в изотермических и термосных режимах с различными скоростями подъема и снижения температуры ПВС (рис. 4) и определены максимальные перепады температур при различных скоростях подъема и снижения температуры.

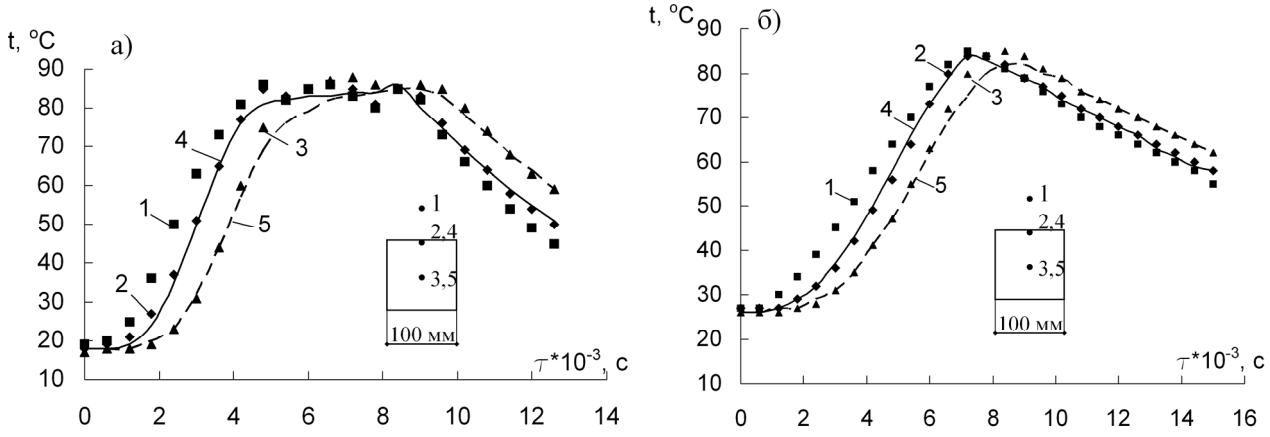


Рис. 4. Динамика температуры среды (1) и температуры в лабораторном образце (2–5) для изотермического (а) и термосного режимов (б): 1–3 – эксперимент; 4, 5 – расчет

Из рис. 4 видно хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных, при этом расхождение не превышает ±10%, следовательно, модель можно считать адекватной.

Исследование динамики среднего влагосодержания в процессе ТВО проводилось на лабораторной экспериментальной установке весовым методом. Результаты исследований для бетона состава 1 (табл.) представлены на рис. 5.

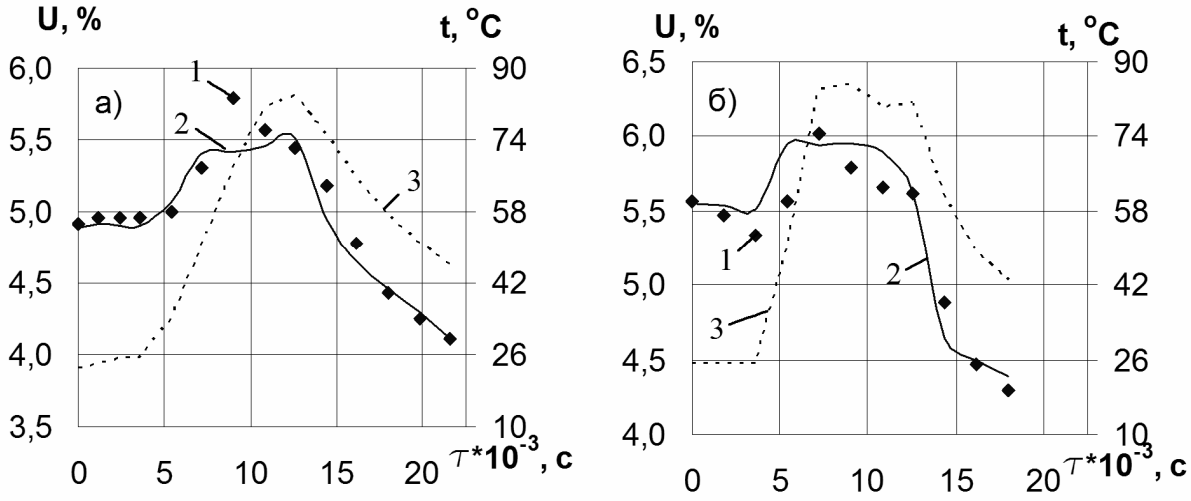


Рис. 5. Динамика среднего влагосодержания U образца (1 – эксперимент; 2 – расчет) и температуры среды t (3) в процессе ТВО по режиму: а – термосному; б – изотермическому

Сравнение экспериментальных и расчётных данных (рис. 5) показало, что расхождение между ними не превышает ±7 %, что находится в пределах погрешности средств измерения (10 %).

Для бетона на шлаковом щебне на основе экспериментальных данных по динамике влагосодержания методом подстановки значения коэффициента диффузии жидкой воды в бетоне в уравнения математической модели массообмена и минимизации погрешности расчета определена зависимость коэффициента диффузии от плотности сухого бетона (рис. 3). Представленная на рис. 3 зависимость использована для численных расчетов с использованием модели массообмена.

Определены параметры процесса ТВО, оказывающие наибольшее влияние на перепады температуры и влагосодержания, установлены характерные области и моменты времени, в которых возникают максимальные напряжения при совместном влиянии перепадов.

Разработана комплексная методика назначения режимов ТВО с учетом напряженного состояния бетона, основанная на определении в характерные моменты времени ТВО в характерных сечениях плиты температуры и влагосодержания и приложении их к расчету напряженного состояния. Методика отличается от известных тем, что: кроме влияния температуры на напряжен-

ное состояние бетона учитывается еще и влажностный фактор; учитываются не только конструктивные (набор прочности), но и деструктивные (напряжения) факторы, влияющие на ТВО бетонов. Блок–схема алгоритма методики показана на рис. 6.

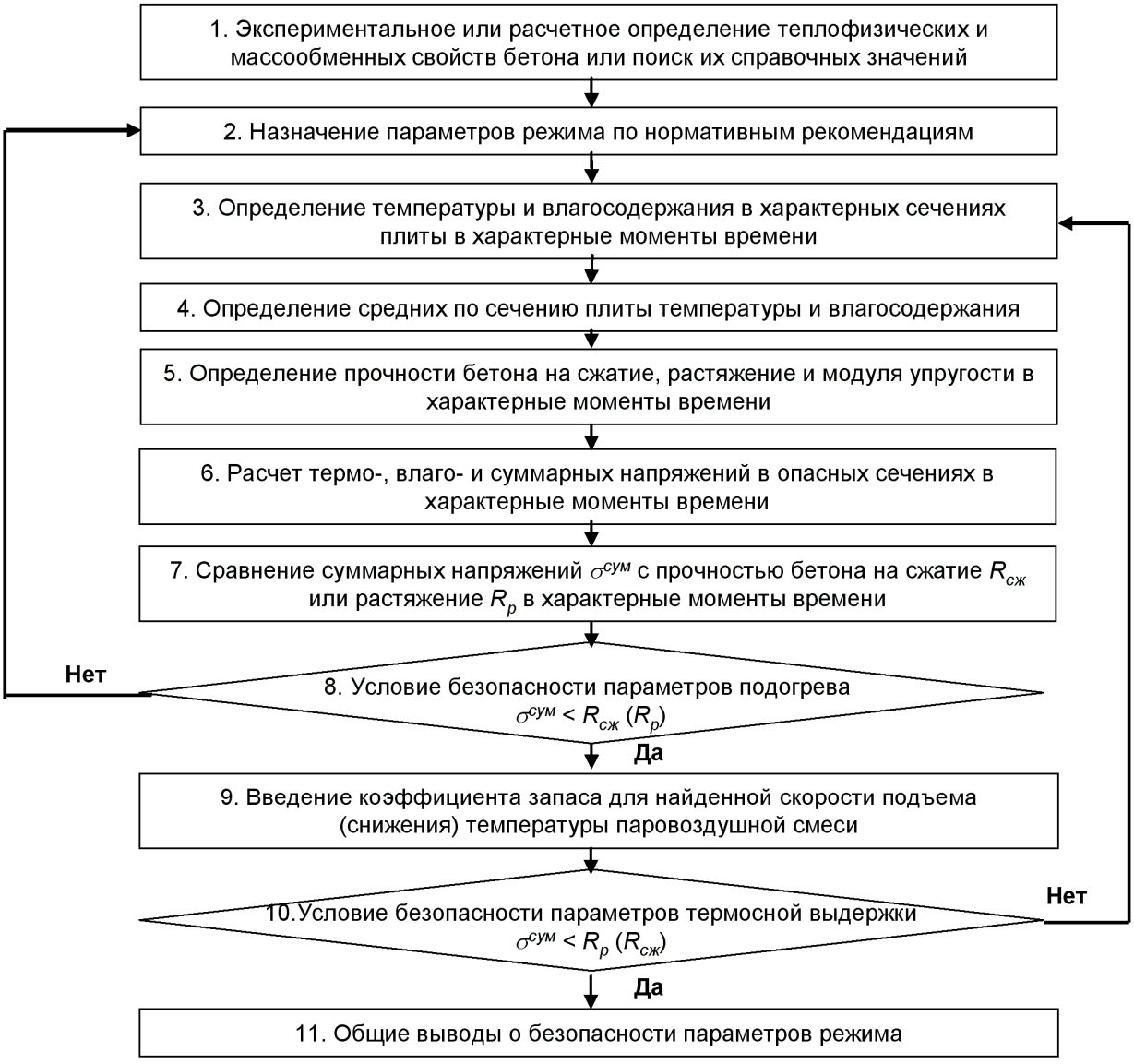


Рис. 6. Блок–схема алгоритма использования комплексной методики расчета режимов ТВО бетона

Практическая значимость исследования состоит в том, что предложенная комплексная методика может использоваться при проектировании тепловых режимов ТВО бетона в пропарочных камерах с ПВС (ямных, вертикальных). Расчет по предлагаемой методике сокращает трудозатраты и снижает расходы на постановку проверочных экспериментов. Основные результаты работы могут быть рекомендованы к применению в проектных организациях, занимающихся разработкой и совершенствованием режимов ТВО, и внедрению в учебный процесс.

Литература

1. Шмитько, Е.И. О влиянии режимов тепловой обработки на напряженное состояние и качество макроструктуры ячеистого бетона в изделиях [Текст] / Е.И. Шмитько // Строительные материалы. – 1993. – № 9,10. – С. 26–28.

2. Федосов, С.В. Методика расчета предельных температурных градиентов в железобетонных изделиях в процессе электротепловой обработки [Текст] / С.В. Федосов, В.И. Бобылев, А.М. Ибрагимов, А.М. Соколов // Строительные материалы. – 2011. – № 3. – С. 44–46.

3. Бибик, М.С. Расчет энергосберегающих режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий [Текст] / М.С. Бибик, В.В. Бабицкий // Керамика: наука и жизнь. – 2009. – № 3. – С. 17–26.

УТИЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

М.В. Девочкин

Научный руководитель ***Е.А. Лебедева****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В настоящее время проблема рационального использования водных ресурсов является весьма актуальной для предприятий химической, нефтехимической промышленности, а также для предприятий цветной металлургии. Немаловажным направлением является повторное использование отработанной воды в производственных процессах. В структуре многих промышленных предприятий имеются серно-кислотные цеха различной мощности, наличие которых в одних случаях вызвано необходимостью в утилизации серосодержащих газов, в других – необходимостью в производстве серной кислоты для продажи или для собственных нужд. Серно-кислотное производство (СКП) относится к числу водоемких, т.к. в нём вода служит сырьем для выпуска конечного продукта – серной кислоты. Полная или частичная замена технической воды в производстве серной кислоты на промышленный сток позволит уменьшить объемы потребления свежей воды из поверхностных источников и минимизировать количество сбрасываемых сточных вод.

Объект исследования

В качестве экспериментальной площадки для разработки технического решения по организации системы с повторным использованием очищенных стоков в серно-кислотном производстве было выбрано одно из химических предприятий России, специализирующееся на выпуске фосфорных удобрений. Предприятие имеет собственные очистные сооружения, на которых применяются традиционные методы механической и физико-химической очистки. Ла-

бораторией предприятия ведётся постоянный контроль за составом производственного стока. Некоторые из этих данных представлены в таблице 1.

На выбранном предприятии действует свой серно-кислотный цех. Вся продукция выпускается в виде технической серной кислоты первого сорта ГОСТ 2184-77 [1]. Почти вся производимая кислота расходуется на собственные нужды – разложение фосфатного сырья, и лишь незначительная часть идёт на продажу. Водопотребление серно-кислотного цеха достигает 50% от технического водопотребления всего предприятия. Вся техническая вода поступает в сушильно-абсорбционное отделение (САО), где она расходуется на образование и разбавление серной кислоты. В качестве технической воды используется охлаждающая вода водооборотного цикла предприятия. Подпитка водооборотного цикла производится свежей речной водой.

Таблица 1

Состав и свойства общего стока химического предприятия

Наименование показателя	Единица измерения	Требования ПДК	Результаты измерений 2003 – 2008 гг.		
			Min	Max	Среднее
Железо	мг/дм^3	0,4	0,1	0,9	0,4
Марганец (Mn^{2+})	мг/дм^3	0,01	0,230	1,300	0,506
Медь (Cu^{2+})	мг/дм^3	0,001	0,002	0,006	0,003
Мышьяк	мг/дм3	0,05	0,002	0,030	0,009
Натрий (Na^+)	мг/дм^3	120	160	284	200
Свинец	мг/дм^3	0,006	0,0001	0,0016	0,0005
Сухой остаток	мг/дм^3	-	1273	1815	1488

Оценка эффективности

На данный момент отсутствуют четкие требования к технической воде производства серной кислоты различных марок. В одних случаях используется свежая речная вода из общезаводского коллектора. В других – на производство серной кислоты идет охлаждающая вода из водооборотного цикла, имеющая совершенно другое назначение и соответствующий химический состав. Часто для производства технической серной кислоты 1 и 2 сортов ГОСТ 2184-77 используется вода необоснованно высокого качества: промышленный конденсат, продувочные воды котлов или химочищенная вода, идущая на приготовление питательной воды энергетических котлов.

Для разработки требований к технической воде СКП был применен следующий подход. На основании существующих требований к серной кислоте [1, 2], расчетным путем были найдены максимально допустимые концентрации примесей в технической воде. Следует отметить, что не все контролируемые показатели качества серной кислоты зависят от состава технической воды. Например, образование окислов азота происходит на стадии обжига серосодержащего сырья за счет окисления атмосферного азота. На прозрачность и цветность продукционной кислоты также могут оказывать влияние примеси,

поступающие с воздухом на стадии осушки. На величину содержания железа в продукте также влияет величина коррозионного износа оборудования [3].

Расчет производили по формуле (1).

$$C_{прим} = \frac{\omega_{прим} \cdot \rho_{воды} \cdot M(H_2SO_4)}{M(H_2O) \cdot \omega(H_2SO_4) + M(H_2SO_4) \cdot 100\% - M(H_2SO_4) \cdot \omega(H_2SO_4)}, \quad (1)$$

где $C_{прим}$ - концентрация примеси в технической воде, г/дм^3;

$\rho_{воды}$ - плотность технической воды, г/дм^3;

$\omega_{прим}$ - массовая доля примесей в серной кислоте (по требованиям ГОСТ 2184-77, ГОСТ 667-63), %;

$\omega(H_2SO_4)$ - массовая доля серной кислоты в растворе продукционной кислоты, %;

$M(H_2SO_4)$ - молярная масса серной кислоты, г/моль;

$M(H_2O)$ - молярная масса серной кислоты, г/моль.

Определение допустимого содержания ионов Na^+ в технической воде.

Проанализировав состав сточных вод выбранного предприятия, можем предположить, что сухой остаток после прокаливания пробы серной кислоты преимущественно состоит из сульфата натрия. На основании этого можно рассчитать максимальное содержание ионов Na^+ в технической воде.

$$Na_2SO_4 \rightleftarrows 2Na^+ + SO_4^{2-}$$

$$C_{Na^+} = \frac{C_{ост} \cdot 2 \cdot 23}{M(Na_2SO_4)}, \quad (2)$$

где C_{Na^+} – максимальная концентрация ионов натрия в технической воде, г/дм^3;

$C_{ост}$ - сухой остаток в технической воде, г/дм^3;

$M(Na_2SO_4)$ - молярная масса сульфата натрия.

Таблица 2

Расчетные требования к технической воде СКП

Наименование показателя	Единица измерения	Марка выпускаемой серной кислоты			
		ГОСТ 2184-77		ГОСТ 667-73	
		улучшенная	1 сорт	Высший сорт	1 сорт
Железо	мг/дм^3	н.б. 245	н.б. 817	н.б. 204	н.б. 408
Марганец (Mn^{2+})	мг/дм^3	не норм.	не норм.	н.б. 2,042	н.б. 4,083
Медь (Cu^{2+})	мг/дм^3	не норм.	не норм.	н.б. 20,4	н.б. 20,4
Мышьяк	мг/дм3	н.б. 3,267	не норм.	н.б. 2,042	н.б. 3,267
Натрий (Na^+)	мг/дм^3	н.б. 265	н.б. 662	н.б. 265	н.б. 397
Свинец	мг/дм^3	н.б. 40,8	не норм.	уточнять	уточнять
Сухой остаток	мг/дм^3	н.б. 817	н.б. 2042	н.б. 817	н.б. 1225
Окисляемость перманганатная	мгO_2/дм^3	уточнять	уточнять	н.б. 10	н.б. 15,5
Тяжелые мет. в пересч. на Pb	мг/дм^3			н.б. 408	н.б. 408

Содержание сухого остатка в технической воде рассчитываем по формуле (1). Следует отметить, что состав сухого остатка после прокаливания серной кислоты и состав сухого остатка после выпаривания пробы технической воды будет несколько отличаться. Численное значение сухого остатка воды будет больше, чем значение сухого остатка после прокаливания пробы кислоты, т.к. в процессе абсорбции триоксида серы и разбавления серной кислоты водой из технической воды удаляется ион Ca^{2+} и хлорид-ион:

$$Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow CaSO_4 \downarrow$$

$$Cl^- + H^+ \rightarrow HCl \uparrow$$

Данные расчётов представлены в таблице 2.

На рис. 1-6 в графическом виде представлено сравнение между показателями производственного стока химического предприятия и расчетными показателями технической воды, идущей на выпуск серной кислоты различных марок.

На рис. 2–6 видим, что максимальное зафиксированное значение по содержанию железа, мышьяка, марганца, меди и свинца в общем стоке предприятия значительно ниже максимально допустимого содержания соответствующей примеси в технической воде, идущей на производство серной кислоты всех марок [1, 2].

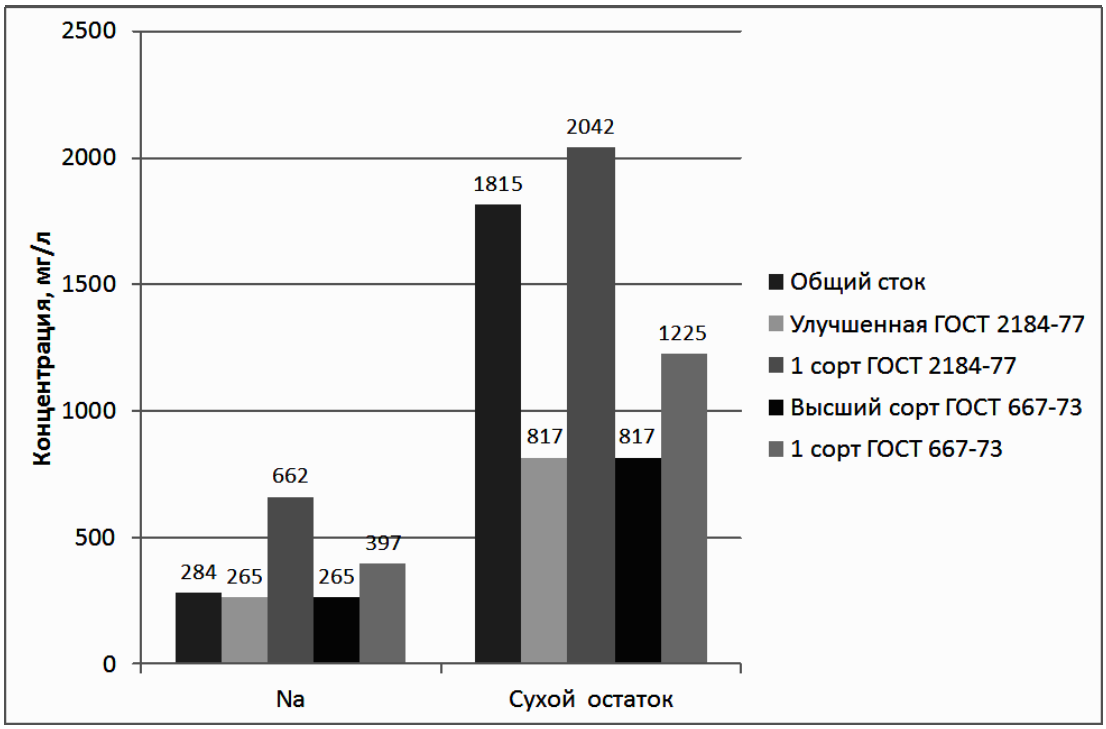


Рис. 1. Содержание натрия и сухого остатка в производственном стоке и в технической воде СКП

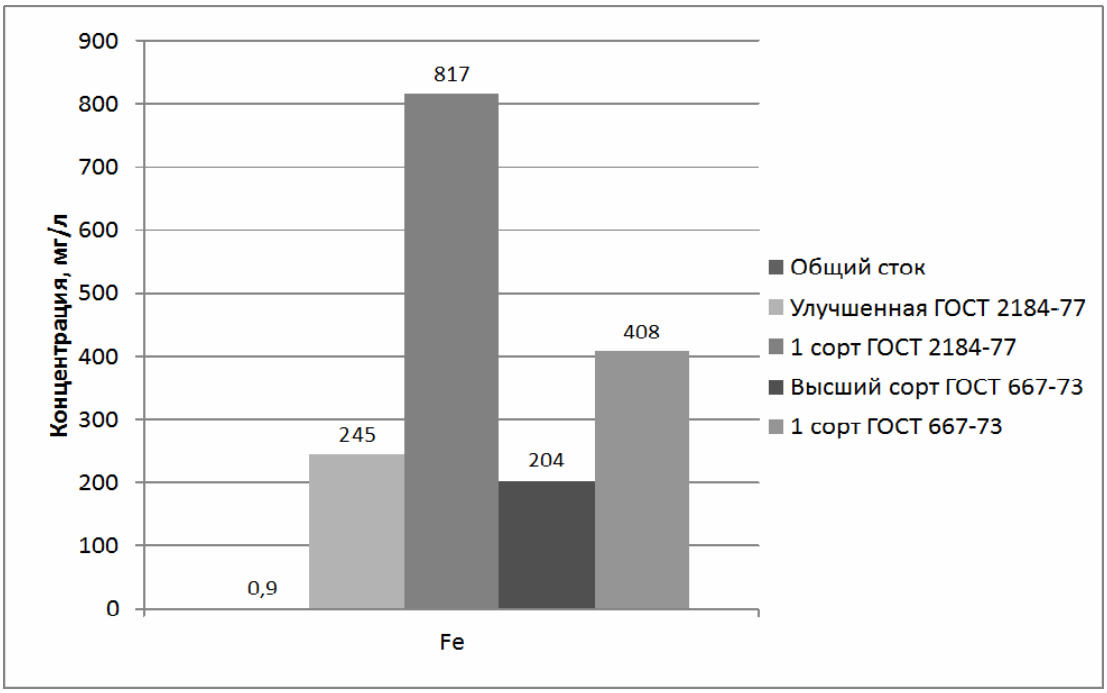


Рис. 2. Содержание железа в производственном стоке и в технической воде СКП

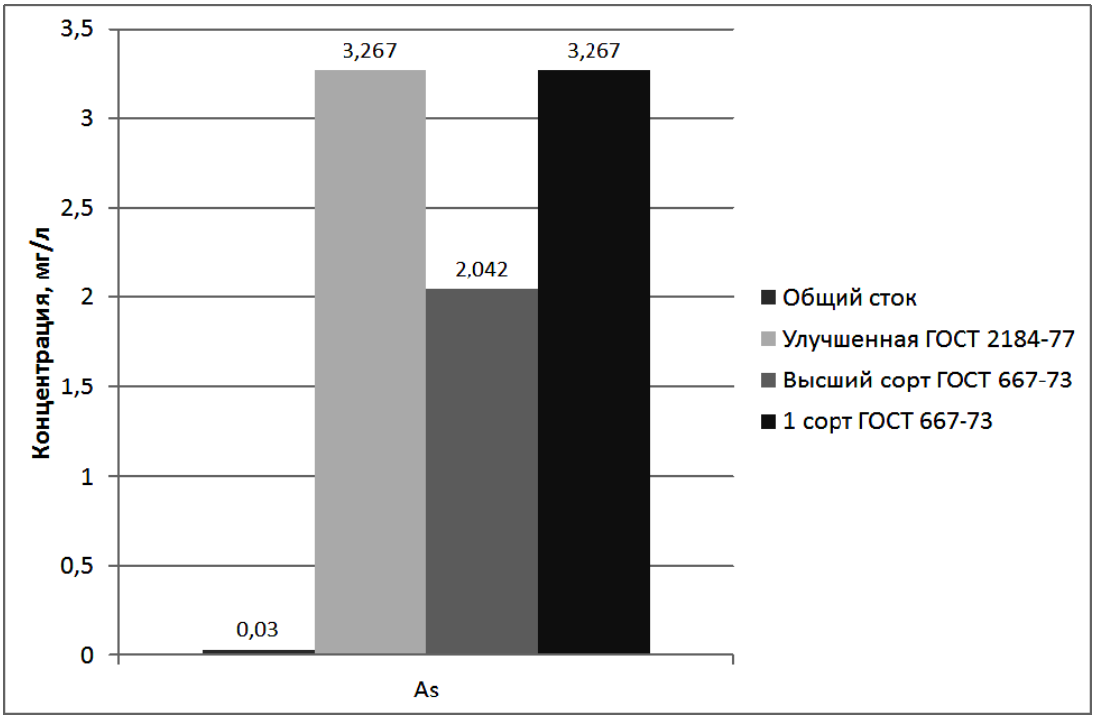


Рис. 3. Содержание мышьяка в производственном стоке и в технической воде СКП

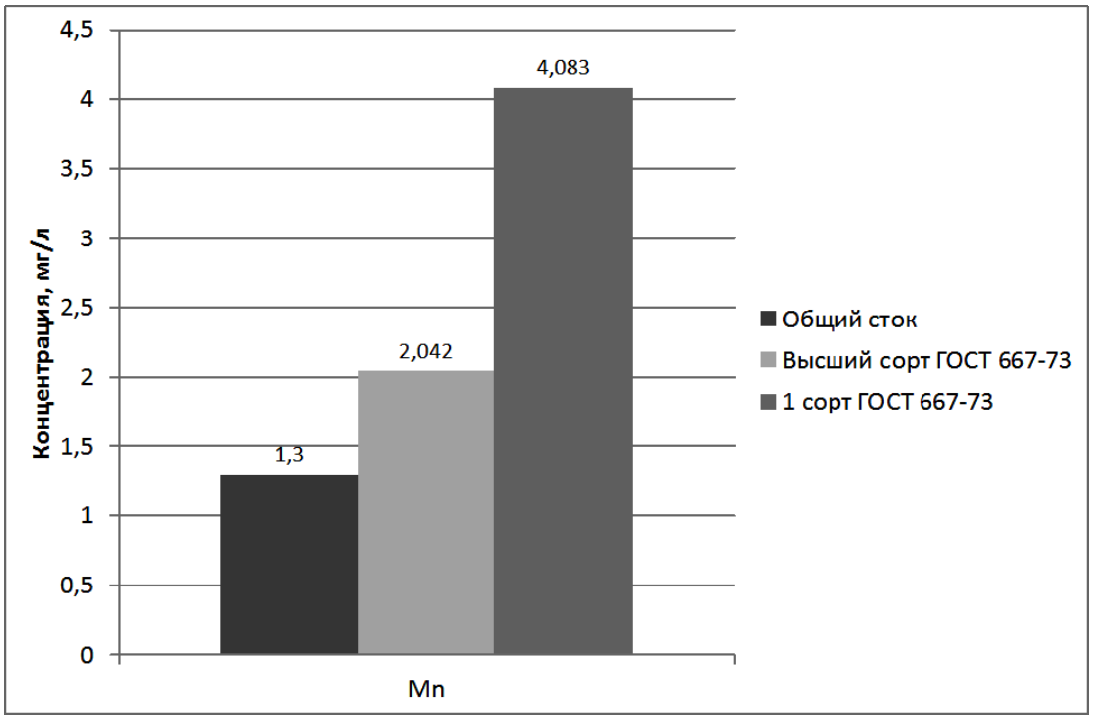


Рис. 4. Содержание марганца в производственном стоке и в технической воде СКП

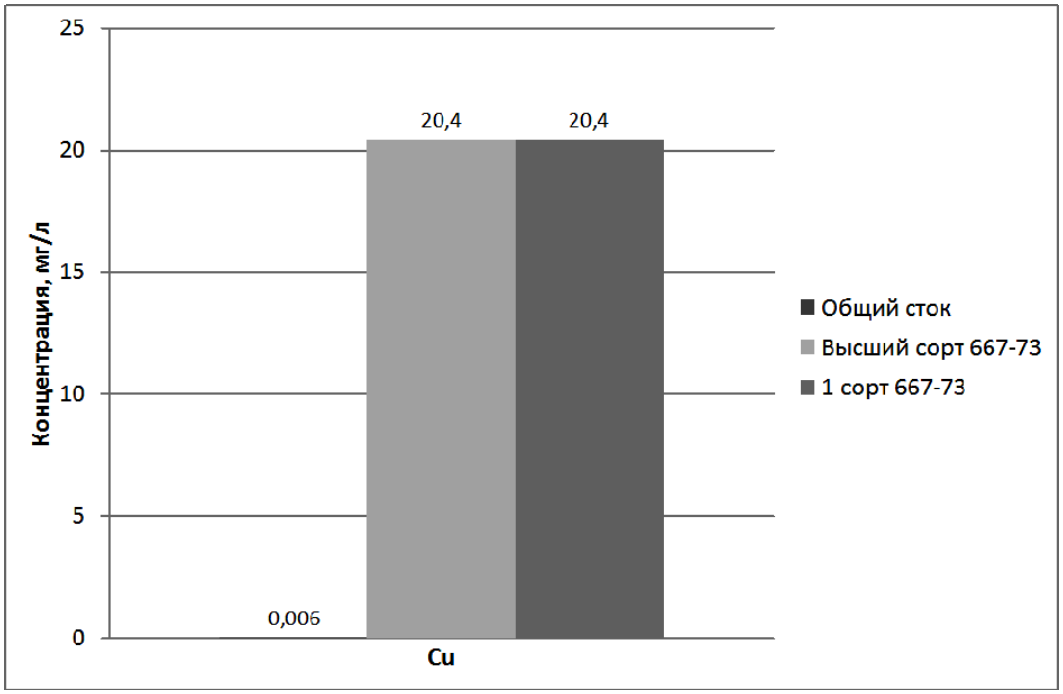


Рис. 5. Содержание меди в производственном стоке и в технической воде СКП

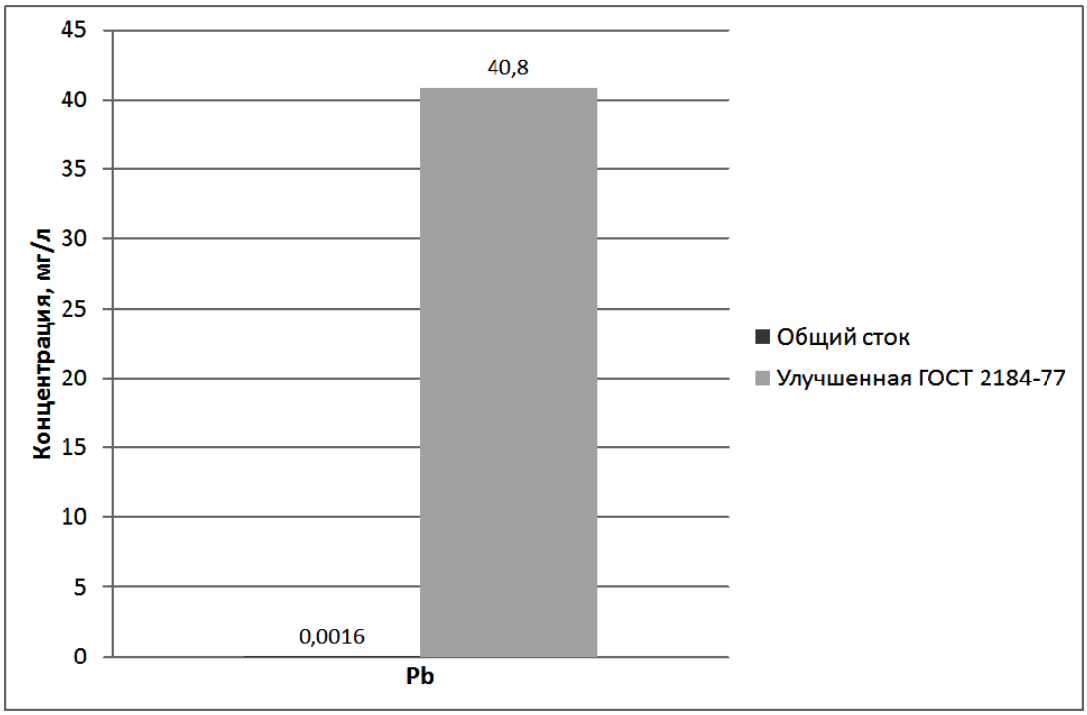


Рис. 6. Содержание свинца в производственном стоке и в технической воде СКП

На рис. 1 показано, что содержание сухого остатка и ионов натрия в промышленном стоке удовлетворяет только требованиям технической воды, идущей на производство технической серной кислоты 1 сорта ГОСТ 2184-77. Таким образом, можно говорить о возможности использования общего стока предприятия в технологии производства технической серной кислоты 1 сорта ГОСТ 2184-77. Для производства серной кислоты других марок необходима разработка мероприятий по уменьшению содержания сухого остатка и натрия в стоке до требований табл. 2. Немаловажным является то, что количество показателей, по которым ведётся контроль общего стока предприятия, значительно больше тех, по которым регламентируется качество серной кислоты в соответствии с [1, 2]. Из табл. 2 видим, что требования к качеству технической воды достаточно низкие. На основании этого можно рассмотреть возможность отбора стока на производство серной кислоты сразу после предварительной очистки (нейтрализации и осветления). Данный подход позволит снизить нагрузку на последующие ступени очистки, что в свою очередь приведёт к экономии реагентов и расходных материалов.

Заключение

По данным источников [4, 5] суммарная мощность производства серной кислоты в России в 2007 году составила свыше 9,5 млн. тонн. Учитывая, что на производство 1 тонны продукционной серной кислоты (в пересчёте на моногидрат) требуется 0,248 – 0,265 тонны воды и, принимая во внимание высокие объёмы выпуска серной кислоты на некоторых предприятиях [4, 5], мож-

но рекомендовать замену технической воды на производственный сток. Внедрение технологии утилизации сточных вод хотя бы на некоторых сернокислотных производствах страны позволит существенно уменьшить объём потребления свежей воды и снизить экологическую нагрузку на водные объекты России за счёт сокращения количества стоков. Применение данного подхода – важный шаг на пути создания предприятия с замкнутой системой водооборота без сброса загрязнённых вод.

Литература

1. ГОСТ 2184-77 Кислота серная техническая. Технические условия.
2. ГОСТ 667-73 Кислота серная аккумуляторная. Технические условия.
3. Амелин А.Г. Технология серной кислоты. - М.: Химия, 1984. – 360 с.
4. Выпуск серной кислоты в моногидрате по предприятиям за 2007 год // Химический комплекс России. – 2008. – № 2. – С. 25-27.
5. Серная кислота на мировом и Российском рынке неорганических химикатов // Химический комплекс России. – 2008. – № 9. – С. 15-19.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ ГОРОДА ВОЛОГДЫ

К.А. Иванова
Научный руководитель ***А.А. Кулаков***
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Очистные сооружения канализации (ОСК) города Вологды введены в эксплуатации в 1968 году, блок биологической очистки – в 1974 году. Сооружения многократно реконструировались и достраивались, но схема биологической очистки стоков не изменялась. Окисление органики и частичное снижение содержания биогенных веществ происходило в аэротенках, а последующее илоразделение во вторичных отстойниках [1].

Существующий метод очистки на ОСК морально и физически устарел и не соответствует современным природоохранным нормативам. В разработанной программе «Развитие систем водоснабжения и канализации города Вологды» до 2015г. предусматривается ряд мероприятий, которые призваны улучшить экологическую обстановку и надежность систем водоотведения за счет:

– совершенствования технологии очистки сточных вод и обработки осадка;

– строительства сооружений по обеззараживанию сточных вод на ОСК;

– разработки и внедрения мероприятий по улучшению состояний водоприемников очищенных сточных вод.

В настоящее время на ОСК г. Вологды ведутся работы по реконструкции, целью которых является переход от традиционной биологической очистки к глубокой очистке от соединений азота и фосфора.

Целью исследований является оценка выполненных работ по реконструкции сооружений и выявление направлений дальнейшей модернизации технологии очистки стоков и обработки осадков.

Работы по реконструкции начались в 2010 году, до этого на ОСК г. Вологды была запроектирована традиционная технологическая схема.

Смесь поступающих бытовых и производственных стоков поступала в приемную камеру ОСК от городских насосных станции и близлежащих промышленных предприятий. Назначение приемной камеры – погасить избыточный напор и смешать все поступающие стоки.

Затем сточные воды самотеком проходили решетки, где отделялись крупные отбросы, горизонтальные песколовки для выделения минеральных примесей и первичные радиальные отстойники, где происходило отделение осаждаемых и всплывающих взвешенных веществ под действием гравитационных сил тяжести. Эти сооружения составляют блок механической очистки, предназначенный для снижения содержания взвешенных и органических веществ.

Блок биологической очистки включает аэротенки и вторичные радиальные отстойники. Очистка осуществляется за счет биохимических процессов, основанных на жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. На стадии биологической очистки извлекаются органические и частично биогенные вещества.

Очищенные сточные воды сбрасывались в реку Дылевка.

Проведенные работы по реконструкции сооружений осуществлены группой компаний «Экополимер», которая имеет большой опыт подобных работ. Идея ретехнологизации заключается в поэтапной модернизации сооружений для достижения требуемых показателей очистки при максимальном использовании действующих сооружений, в первую очередь – аэротенков [2].

Проект реконструкции станции включал переоборудование сооружений с целью обеспечения условий для протекания процессов глубокого изъятия соединений азота. Это обеспечивается за счет процессов нитрификации и денитрификации.

Нитрификация – это процесс перехода аммонийного азота в форму нитритов, а потом нитратов (протекает в аэробных условиях).

Денитрификация – это процесс восстановления нитратного азота до свободного азота (протекает в аноксидных условиях).

Сочетание этих двух процессов обеспечивает глубокое изъятие соединений азота.

Для создания аноксидных условий действующие первичные отстойники были переоборудованы в денитрификаторы. Для создания аноксидных условий смонтированы перемешивающие устройства обеспечивающий макси-

мальный контакт поступающих стоков с микроорганизмами. Для протекания необходимых процессов очистки (восстановления нитратов) в дополнение к возврату активного ила запроектирован нитратный рецикл из конца третьего коридора аэротенка в денитрификатор.

Технологическое назначение аэротенков осталось прежним. Для обеспечения более глубокого окисления органических веществ и протекания процессов нитрификации модернизирована система аэрации, малоэффективные дисковые аэраторы заменены современными мембранными. Это позволило сократить удельный расход воздуха, при этом увеличилась эффективность его использования и степень изъятия загрязнений.

Также установлены новые воздуходувки и обеспечена полная автоматизация процесса аэрации, что обеспечивается за счет управляемой системы подачи с учетов концентрации растворенного кислорода в сооружениях и необходимого его количества для протекания процессов очистки.

В связи с нововведениями существенно возросла нагрузка на вторичные отстойники. Проектом реконструкции предусмотрено строительство дополнительного вторичного отстойника диаметром 40 м (диаметр существующих вторичных отстойников – 30 м).

Технологические схемы сооружений до и после реконструкции приведены на рис.1.

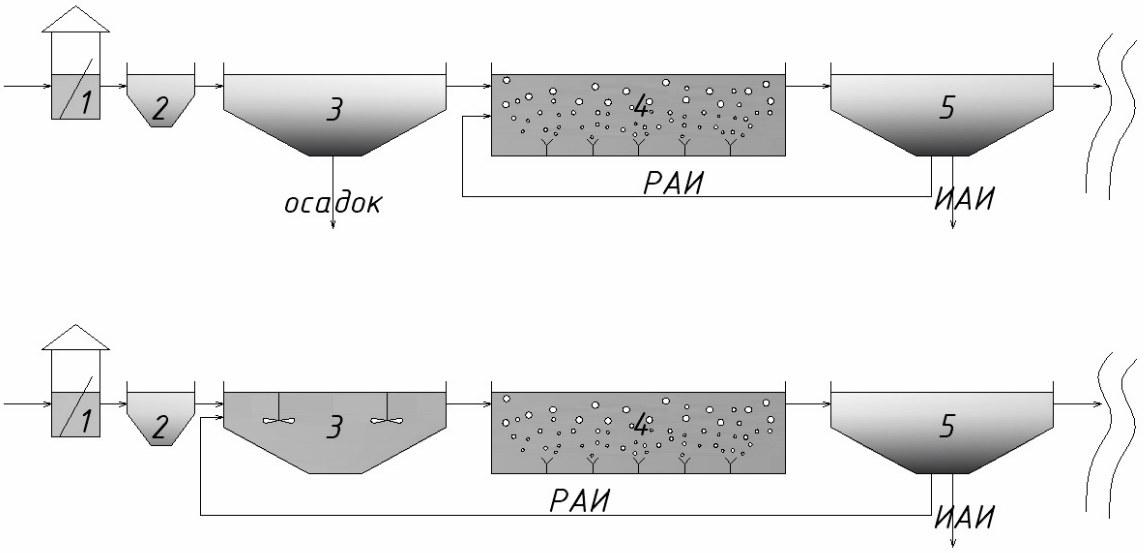


Рис. 1. Схема очистки сточных вод на ОСК г. Вологды до реконструкции и после: 1-решетки; 2-песколовки; 3-первичные отстойники; 4 – аэротенк; 5-вторичный отстойник; РАИ – рециркуляционный активный ил; ИАИ – избыточный активный ил

До реконструкции ОСК г. Вологды были запроектированы на очистку по взвешенным веществам до 15 мг/л и органических веществам по $БПК_{полн}$ до 15 мгO_2/л. С внедрением новой технологии эффективность очистки значительно увеличится (табл. 1).

Таблица 1

Проектные показатели работы ОСК до и после реконструкции

Показатель	До реконструкции	После реконструкции
Взвешенные вещества, мг/л	15	10
$БПК_{полн}$, мгO_2/л	15	3
Аммоний-ион, мг/л	-	0,5
Нитрит-ион, мг/л	-	0,08
Нитрат-ион, мг/л	-	40
Фосфор фосфатов, мг/л	-	0,6

Работы по реконструкции ОСК г. Вологды проходили с июля 2011 года до октября 2012 года. В этот период некоторые сооружения очистки были частично выведены из работы (табл. 2).

Таблица 2

Сроки реконструкции отдельных сооружений при проведении реконструкции на ОСК г. Вологды

Сооружение	Срок реконструкции
Первичный отстойник №4	с июня 2011
Первичный отстойник №5	с сентября 2011
Аэротенк №4	июнь-июль 2011
Аэротенк №3	сентябрь-октябрь 2011
Аэротенк №1	май 2012
Аэротенк №2	июль 2012
Первичный отстойник №1	с мая 2012
Первичный отстойник №2	с июля 2012

В результате реконструкции концентрация растворенного кислорода увеличилась в среднем в 2-3 раза. Согласно [3] повышение содержания кислорода выше 3,5-4 мг/л мало влияет на эффективность, но сильно увеличивает энергетические затраты станции очистки. Для экономии электроэнергии на предприятии на период реконструкции необходимо уменьшить мощность воздуходувок, или перенаправить часть воздуха на другие технологические процессы, к примеру, на обработку осадков в аэробном стабилизаторе.

Внедрение новой технологии привело к частичной стабилизации седиментационных свойств ила и уменьшению илового индекса.

Работы по реконструкции позволили повысить эффективность изъятия органических веществ, соединений азота и фосфора, сократить затраты электроэнергии.

В настоящее время проходят пуско-наладочные работы и вывод сооружений в необходимый режим эксплуатации.

В ближайшей перспективе наиболее актуальные направления модернизации – повышение эффективности работы песколовок для сокращения нагрузки на блок биологической очистки по взвешенным веществам и совер-

шенствование технологии обработки осадка, в частности, внедрение стадии аэробной стабилизации.

В перспективе при возрастании объемов стоков возможна интенсификация процессов илоразделения за счет внедрения тонкослойных модулей в существующие сооружения.

Литература

1. Воронов, Ю. В. История отрасли и введение в специальность "Водоснабжение и водоотведение": учеб. для бакалавров, магистров/ Ю. В. Воронов, Е. А. Пугачев; под общ. ред. Ю. В. Воронова. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2012. - 388 с.

2. Мешенгиссер Ю. М., Щетинин А. И., Есин М. А., Реготун А. А. Опыт ретехнологизации действующих сооружений биологической очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 1. – С. 43–50.

3. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками/ Н.С. Жмур. – М.:АКВАРОС, 2003.-512с.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЛКОВОДНОГО ВОДОЕМА LATTICE BOLTZMANN МЕТОДОМ

И.В. Козинец

Научный руководитель ***В.Ф. Булавин****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

При интенсивном развитии производительных сил и освоении природных ресурсов в совокупности с природно−климатическими факторами возникают проблемы антропогенного загрязнения. Поэтому большое значение приобретает прогноз ожидаемых изменений в гидрологическом режиме, происходящих в результате естественных процессов, а также деятельности человека. В последнее время изучение явления переноса вещества потоком жидкости приобрело особую актуальность из-за быстрого развития областей человеческой деятельности, связанных с химическими и биохимическими процессами, в которых массоперенос в потоке жидкой среды является одним из ключевых явлений [1, 2].

Возможность точно охарактеризовать в различных пространственно временных масштабах массоперенос, происходящий в гидравлическом потоке жидкости, часто является необходимым условием для повышения эффективности и достижения оптимальных характеристик всего процесса в целом. Математическое решение проблемы массопереноса в потоке жидкости в общем

случае не имеет аналитического решения. Это обусловлено необходимостью решения системы нелинейных уравнений в частных производных, которые связывает концентрацию переносимого вещества с распределением скорости потока жидкости с учетом гидростатического давления. Основным уравнением для массопереноса является уравнение непрерывности. В стационарном случае, а также при отсутствии реакций оно имеет вид:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \nabla \cdot j = 0, \tag{1}$$

где j включает в себя все компоненты плотности потока вещества, вызванные различными механизмами массопереноса.

Диффузионный поток пропорционален градиенту концентрации, и он будет равен нулю, если концентрация частиц одинакова во всех точках.

Плотность потока, вызванного конвекцией, можно определить следующим выражением:

$$j_D = -D\nabla n. \tag{2}$$

Представленное математическое описание гидродинамических систем сводится к уравнению Навье–Стокса, дополненному уравнением неразрывности для несжимаемой жидкости.

Решением уравнений Навье–Стокса являются компоненты скорости течения *u, v, w*, давление водной среды *p*, для чего необходимо знать функцию рельефа *H*, учесть внешние силы: силу ветра, силу трения о дно и силу Кориолиса для крупных по площади водоёмов. Оно представляет термодинамическое описание потоков реальной жидкости.

$$\begin{aligned}
&u'_t + uu'_x + vu'_y + wu'_z = -\frac{1}{\rho}a'_x + (\mu u'_x)'_x + (\mu u'_y)'_y + (vu'_z)'_z + 2\Omega(v\sin\theta - w\cos\theta)\\
&v'_t + uv'_x + vv'_y + wv'_z = -\frac{1}{\rho}a'_y + (\mu v'_x)'_x + (\mu v'_y)'_y + (vv'_z)'_z - 2\Omega u\sin\theta\\
&w'_t + uw'_x + vw'_y + ww'_z = -\frac{1}{\rho}a'_z + (\mu w'_x)'_x + (\mu w'_y)'_y + (vw'_z)'_z + 2\Omega u\cos\theta).
\end{aligned} \tag{3}$$

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости:

$$u'_x + v'_y + w'_z = 0. \tag{4}$$

Здесь V={*u,v,w*} – компоненты вектора скорости, *a* – гидростатическое давление, ρ – плотность, Ω – угловая скорость вращения земли, θ – угол между вектором угловой скорости и вертикалью (широта местности), μ и v – горизонтальная и вертикальная составляющая коэффициента турбулентного обмена.

Основной проблемой при решении уравнения Навье–Стокса является его нелинейность. Как следствие, аналитическое решение гидродинамических проблем возможно лишь для ограниченного набора задач в случае простей-

ших геометрических конфигураций систем, например, для прямого открытого канала с жидкостью [2]. По этой причине сформировался отдельный раздел физики – вычислительная гидродинамика. Традиционный подход, используемый в вычислительной гидродинамике, состоит в получении решения уравнения Навье–Стокса с помощью общепринятых численных методов: методов конечных разностей, конечных элементов, конечных объемов, спектральных методов и т. п. Однако часто возникающие сложности при получении численного решения связаны с огромными вычислительными затратами, необходимыми для решения комплексных проблем в системах с топологически сложными граничными условиями, в многофазовых и пористых средах.

Отмеченные сложности классических подходов побуждают к усилиям на разработку альтернативных подходов. В качестве одной из базовых идей при поиске таких альтернативных решений был взят тот физический факт, что поведение любой подвижной среды зависит очень слабо от природы индивидуальных частиц, образующих данную среду. Потоки песчинок, жидкости, металлических шариков по своей природе очень схожи. Их динамические процессы описываются схожими уравнениями. Пространственно-временные и физические характеристики различаются только коэффициентами, зависящими от материала. При этом макроскопические свойства системы, определенные через функции распределения частиц по дискретному (относительно модуля) набору разрешенных скоростей, очень близки к макроскопическим свойствам, рассчитанным через непрерывные функции распределения. Погрешность, вносимая дискретизацией пространства скоростей, зависит от выбора дискретного набора скоростей. Соответствующее уравнение, описывающее дискретные функции распределения, получило название дискретного уравнения Больцмана. В противоположность непрерывному пространству, где частицам разрешено двигаться в произвольном направлении, вводится решеточное пространство, в котором частицы могут перемещаться исключительно вдоль связей некоторой периодической решетки (рис. 1).

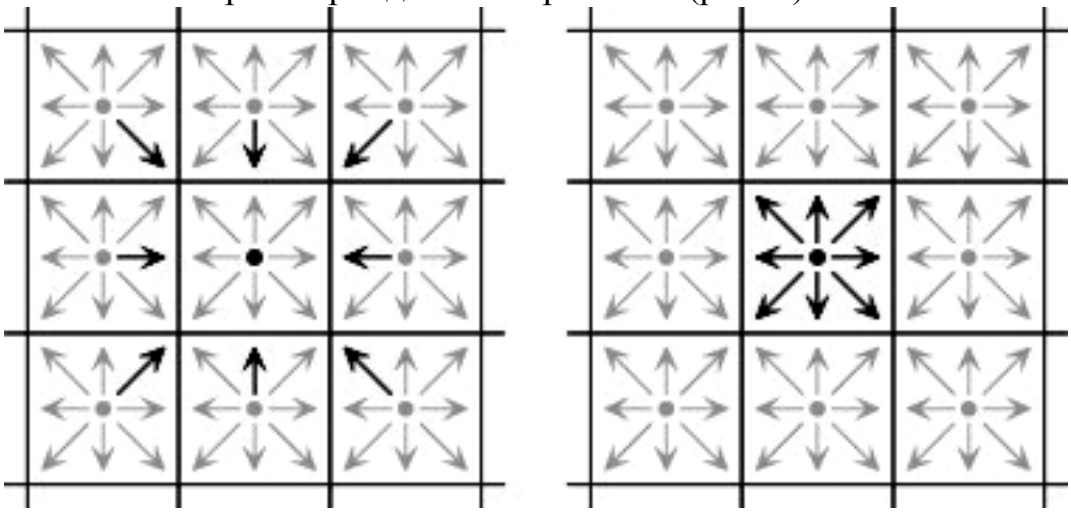


Рис. 1. Возможные направления скоростей частицы в методе решёток Больцмана на плоскости

Соответствующее уравнение для описания решеточных функций распределений называют решеточным уравнением Больцмана:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \varepsilon \cdot \nabla_x f + a \cdot \nabla_\varepsilon f = Q(f, f), \tag{5}$$

где интеграл столкновения:

$$Q(f, f) = \int d^3\varepsilon_1 \int d\Omega \Omega \sigma(\Omega) - \varepsilon' \| f(\varepsilon') f(\varepsilon'_1) - f(\varepsilon\varepsilon f(\varepsilon_1). \tag{6}$$

Здесь приняты обозначения: $\sigma(\Omega)$ – поперечное сечение столкновения двух частиц, которое преобразовывает скорости из $\{\varepsilon,\varepsilon_1\}$ (до столкновения) в $\{\varepsilon',\varepsilon'_1\}$ (после столкновения), $\vec{v}$ – вектор скорости движения частиц.

Положение в физическом пространстве обозначено x и скорость в пространстве импульса (или скорость) обозначена ε, а $f(x,\varepsilon,t)d^3xd^3\varepsilon$ представляет вероятность нахождения частицы в объеме d^3x вокруг координаты x и со скоростью между ε и $\varepsilon + d\varepsilon$, a – сила на единицу массы, действующая на частицу. Для того чтобы задача стала замкнутой, уравнение (5) должно быть дополнено начальными и граничными условиями (6).

Уравнение Навье–Стокса и решеточное уравнение Больцмана являются не просто математическими моделями для различных физических масштабов (соответственно, для макро- и микро/мезоуровня). Они описывают совершенно разные системы: непрерывную динамическую среду, характеризуемую набором непрерывных термодинамических параметров.

Однако самое главное и принципиальное отличие состоит в том, что в противоположность нелинейному дифференциальному уравнению в частных производных, решеточное уравнение Больцмана сводится к уравнению относительно логических (двоичных) переменных после синхронизации перемещения частиц по решетке. Тем не менее, логическое, по математической природе, решеточное уравнение Больцмана в результате ряда математических преобразований может быть трансформировано в дифференциальное уравнение Навье–Стокса. Алгоритмы получения численного решения решеточного уравнения Больцмана, получили общее название методы решеточного уравнения Больцмана.

Обобщая вышесказанное, можно отметить следующие ключевые моменты. Традиционный подход, применявшийся для решения задач в вычислительной гидродинамике, включал в себя три последовательных формальных шага:

1. Выбор физической модели жидкости (в виде непрерывной среды);

2. Создание математической модели (в форме системы уравнений Навье–Стокса);

3. Получение приближенного решения с помощью численных методов (например, метода конечных элементов).

Альтернативный lattice Boltzmann подход (LBM) к решению гидродинамических проблем, базирующийся на решении решеточного уравнения Больцмана, подразумевает следующие этапы:

1. Создание абстрактной физической системы частиц, взаимодействующих между собой, подверженных внешнему воздействию и существующих в дискретном фазовом пространстве (решеточном пространстве);

2. Компьютерное моделирование динамического развития системы путем решения решеточного уравнения Больцмана;

3. Определение термодинамических характеристик системы через микроскопические характеристики частиц.

Основными преимуществами использования альтернативного подхода являются высокая вычислительная эффективность, возможность моделировать системы со сложной геометрией и простая адаптация модели для различных внешних воздействий и физических свойств системы (например, для многокомпонентных и многофазовых потоков, электромагнитных взаимодействий, химических реакций и т. д.).

Есть два основных отличия LBM и традиционных методов, которые следует считать преимуществами LBM:

• конвективный оператор в LBM (шаг распространения) линейный в пространстве скоростей, в то время как в решателях Навье–Стокса он квадратично нелинейный. Тем не менее, используя разложение Чепмена–Энскога, с помощью LBM можно раскрыть это нелинейное конвективное поведение;

• существенно различаются процедуры расчета давления: в LBM оно получается из уравнения состояния, т.е. неявно на основе локальной плотности, в то время как в традиционных методах, давление рассчитывается из уравнения Пуассона. Последний подход сталкивается с вычислительными трудностями в областях со сложной геометрией.

Эти две особенности дают LBM его первое преимущество: он приводит к простым явным вычислительным процедурам.

Другим преимущественным аспектом LBM является его численная эффективность. Разные авторы работали над этим аспектом [3,4] и сделали сравнение с традиционными методами. Их исследование показало, что LBM практически в 2,5 раза быстрее для двумерного течения, которое они изучали, имевшее около 16000 узлов сетки. В данной работе проведено аналогичное исследование относительно времени расчета трехмерной задачи обтекания выступа в форме прямоугольного параллелепипеда при различных входных параметрах. В итоге для числа узлов порядка 2×10^5 LBM быстрее в 4–6 раз в зависимости от точности, чем классический метод поправки к давлению.

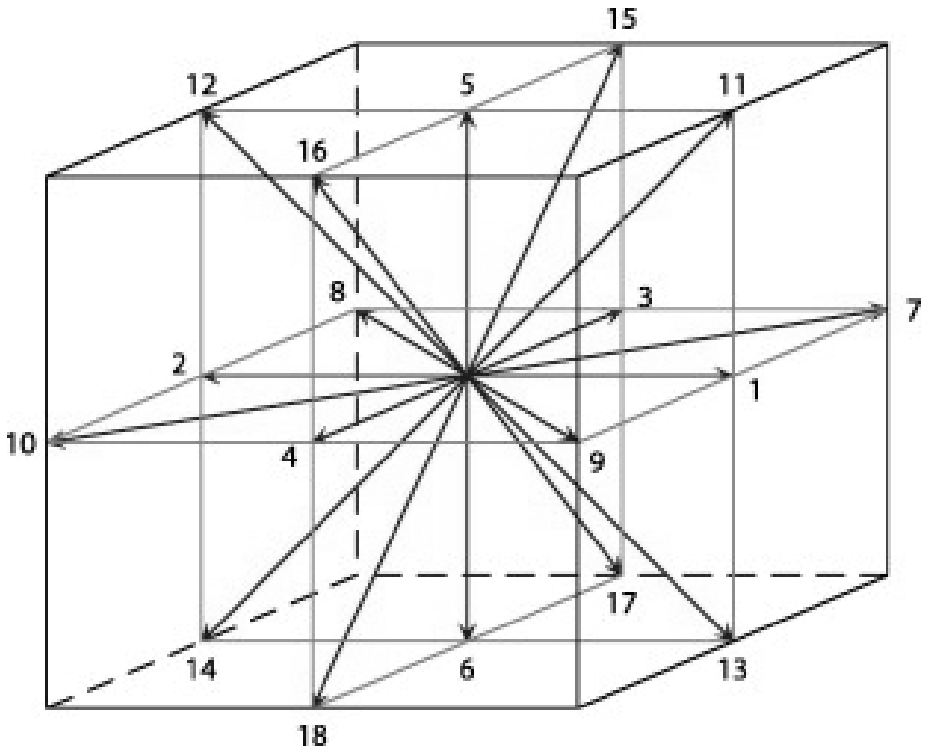


Рис. 2. Направление скоростей в решётке Больцмана D3Q19

Другие отличительные особенности LBM возникают в силу его происхождения из кинетической теории. Задание различных граничных условий осуществляется по явным схемам. Благодаря своей локальности метод прост в распараллеливании вычислительного процесса.

В 1989 году R. J. DiPerna, P. L. Lions доказали теорему существования решения уравнения Больцмана в целом и его устойчивость. Поэтому при использовании решеточных моделей Больцмана, решения дискретных уравнений, аппроксимирующих уравнение Больцмана и являющихся вычислительно устойчивыми, будут сходиться к решению этого уравнения с точностью, соответствующей порядку аппроксимации.

Для описания модели решетки в зависимости от размерности задачи и от набора возможных наборов скоростей вводится обозначение вида DpQn, где $p \in \{1, 2, 3\}$ – размерность физического пространства, а n – число возможных скоростей.

На границах расчетной области для реализации условий непроницаемости и прилипания в LBM используется условие отскока. При таком подходе граница жидкости и стенки располагается между первым и вторым или, соответственно, предпоследним и последним рядами ячеек. При этом в крайних рядах не происходит релаксации к равновесной функции распределения, а вместо этого функции распределения f_a принимают значения функций распределения противоположного направления. Попавшие туда частицы возвращаются на следующем шаге назад в поток. На рис. 3 показано, как происходит отскок на примере нижней границы области [5].

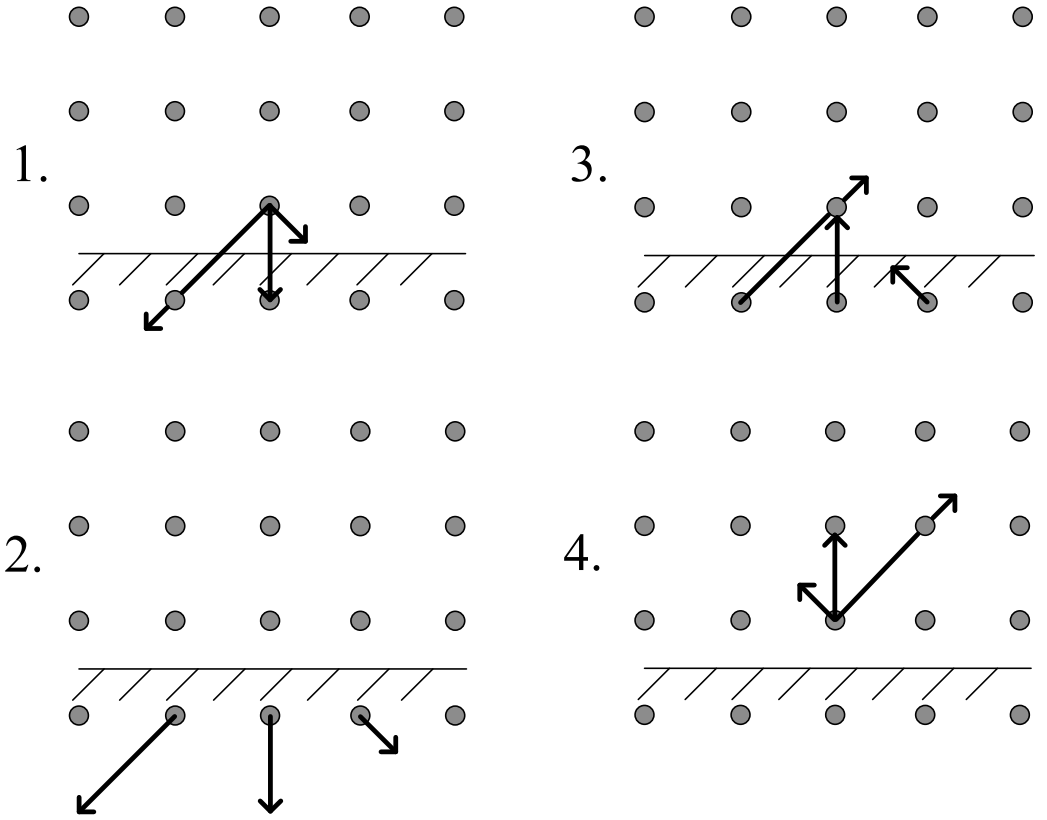


Рис. 3. Условие отскока на примере нижней границы области. Стрелками обозначены направления скоростей и их изменения в моменты времени 1–4

Литература

1. Сидоренко, Б. В. Математическое моделирование гидродинамических процессов на основе решётчатых уравнений Больцмана: дис.... канд. техн. наук: 05.13.18 / Б. В. Сидоренко. – Таганрог, 2012. -194 с.

2. Сравнительный анализ классических и неклассических моделей гидродинамики водоёмов с турбулентный обменом/А.В. Алексеенко, Б.В. Сидоренко, О.В. Колгунова, А.Е. Чистяков//Известия ЮФУ. Технические науки. – № 8. – 2009. Актуальные проблемы математического моделирования. – Таганрог, 2009.

3. Куперштох А.Л. Учёт действия объёмных сил в решёточных уравнениях Больцмана /А.Л. Куперштох//Вестник Новосибирского государственного университета / НГУ. Т. 4. – Новосибирск, 2004. –С. 75–96.

4. Реализация метода решётчатых уравнений Больцмана для расчётов на GPU-кластере/Д.А. Бикулов, Д.С. Сенин, Д.С. Демин, А.В. Дмитриев, Н.Е. Грачев // Вычислительные методы в программировании. – Таганрог, 2012. –С. 13–19.

5. Белоцерковский А.Н., Опарин А.М., Чечеткин В.М. Турбулентность. Новые подходы. – М.: Наука, 2002.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ МАЛЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Кулаков
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Большинство очистных сооружений канализации (ОСК) России находятся в изношенном состоянии и требуют скорейшей реконструкции и модернизации. Низкий уровень очистки сточных вод приводит к ухудшению экологической обстановки и отрицательному социальному эффекту в стране.

Основными сложностями неудовлетворительной работы системы канализации России являются высокая пространственная рассредоточенность поселений в РФ и неэффективность водного законодательства. Это в совокупности делает убыточной деятельность предприятий ЖКХ и препятствует притоку инвестиций в отрасль очистки сточных вод, что осложняет поиск средств на модернизацию сооружений и сводит к минимуму рентабельность капиталовложений, особенно для малых населенных пунктов.

При оценке качества сбрасываемых сточных вод критерием служит норматив допустимого сброса (НДС) [1-3]. На большинстве станций России запроектирована традиционная биологическая очистка, не способная обеспечить очистку от соединений азота и фосфора на уровне установленных НДС, чаще всего равных предельно допустимым концентрациям (ПДК) водоемов рыбохозяйственной категории, так как изначально была рассчитана на удаление органических и взвешенных веществ [4,5]. Такой подход к нормированию вынуждает предприятия водопроводно-канализационного хозяйства внедрять технологии глубокой очистка от азота и фосфора для всех без исключения объектов канализации, даже в небольших сельских поселениях. И если в крупных городах вопросы очистки стоков зачастую решаются на высоком уровне, средства на реконструкцию сооружений выделяются из бюджета, а водоканалы получают различные гранты и кредиты, то ситуация на селе катастрофична. Высокая себестоимость водоотведения и очистки сточных вод и низкий уровень технической оснащенности станций на селе осложняется еще и штрафными санкциями за сброс недостаточно очищенных вод. Это часто приводит к банкротству малых организаций, обслуживающих системы водоснабжения и канализации в сельской местности.

В то же время опыт внедрения технологий глубокой очистки сточных вод на малых станциях России практически отсутствует, и применение сложных технологических схем в сельской местности связано с существенным экологическим риском для водного объекта (в случае нарушения технологического режима) и экономическим риском для предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (в случае убыточности инвестиций).

В современных условиях внедрение передовых технологий на малых ОСК и предъявляемые к очищенным сточным водам требования должны осуществляться дифференцированно, учитывая технические, технологические, административные, юридические, экономические и экологические аспекты.

В ЕС, к примеру, для малых ОСК установлены свои нормативы, они являются менее жесткими, чем для крупных станций, при этом нормируется только содержание органических и взвешенных веществ [6].

В связи с этим необходимо оценить существующие барьерные возможности ОСК и разработать наиболее подходящие пути их повышения.

В европейских странах проводится большое количество исследований, посвященных оценке эффективности работы существующих малых ОСК с учетом Европейских требований, оценке влияния объектов водоотведения на окружающую среду и разработке программ реконструкции [7-9]. Авторы предлагают комплексную оценку станций с учетом экологических и экономических показателей, говорят о необходимости применения более мягких требований к малым ОСК ввиду специфики их работы.

Целью данной работы является экологическая оценка работы коммунальных очистных сооружений канализации малых населенных пунктов Вологодской области.

Методика исследований

Исходными данными для исследований данной работы является официальная статистическая информация по форме № 2-ТП (водхоз) за 2010 год и материалы разработанных и утвержденных проектов нормативов допустимого сброса загрязняющих веществ в водные объекты.

Под экологической оценкой понимается анализ качества очищенных сточных вод на предмет обеспечения современных природоохранных нормативов (установленных НДС).

Для экологической оценки коммунальных станций, обрабатывающих преимущественно хозяйственно-бытовые стоки от населения, выбраны следующие показатели:

- ВВ – взвешенные вещества;
- $БПК_{полн}$ – биохимическая потребность в кислороде;
- $N\text{-}NH_4^+$ – азот аммонийный;
- $N\text{-}NO_2^-$ – азот нитритный;
- $N\text{-}NO_3^-$ – азот нитратный;
- $P\text{-}PO_4^{3-}$ – фосфор фосфатов.

Концентрации загрязняющих веществ по этим показателям в очищенных сточных водах ($C_{ex,i}$) принимались как отношение массы i-го загрязняющего вещества к объему отведенных сточных вод.

Оценивались биологические очистные сооружения канализации, по которым имеется информация по всем 6 показателям.

Анализ утвержденных проектов НДС станций Вологодской области показал, что в большинстве случаев к качеству очищенных сточных вод предъявляются следующие требования, принятые как условные ПДК ($ПДК_{i,усл}$):

ВВ	$БПК_{полн}$	$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_2^-$	$N\text{-}NO_3^-$	$P\text{-}PO_4^{3-}$
15 мг/л	15 мгO_2/л	0,39 мг/л	0,024 мг/л	9,1 мг/л	0,2 мг/л

Экологическая оценка проведена по следующим параметрам:

– Вероятность обеспечения $P_{обесп,i}$ заданного значения концентрации i-того загрязняющего вещества $C_{ex,i}$, определяемая по формуле:

$$P_{обесп,i} = \frac{N_{обесп,i}}{N_{общ}} \cdot 100, \%, \quad (1)$$

где $N_{обесп,i}$ – количество ОСК, на которых обеспечивается заданная концентрация i-го загрязняющего вещества, т.е. значение концентрации i-го загрязняющего вещества меньше или равно заданному значению;

$N_{общ}$ – общее количество ОСК.

– Вероятность превышения $P_{прев,i}$ заданного значения концентрации i-го загрязняющего вещества $C_{ex,i}$, определяемая по формуле:

$$P_{прев,i} = 100 - P_{обесп,i}, \%, \quad (2)$$

– Кратность превышения НДС ($ПДК_{усл}$) по каждому анализируемому показателю, определяемая по формуле:

$$K_{прев,i,НДС} = \frac{C_{ex,i}}{ПДК_{i,усл}}, \quad (3)$$

где $C_{ex,i}$ – концентрация загрязняющего вещества, мг/л.

– Удельная кратность превышения НДС ($ПДК_{усл}$) по шести показателям, определяемая по формуле:

$$K_{уд.прев,НДС} = \frac{1}{n} \cdot \sum \frac{C_{ex,i}}{ПДК_{i,усл}}, \quad (4)$$

где n – количество анализируемых загрязняющих веществ, равное 6.

Результаты исследований

Составлена база данных, включающая 137 коммунальных ОСК малых населенных пунктов Вологодской области, в т.ч. 104 станции искусственной биологической очистки. Распределение ОСК по типу сооружений представлено на рис. 1.

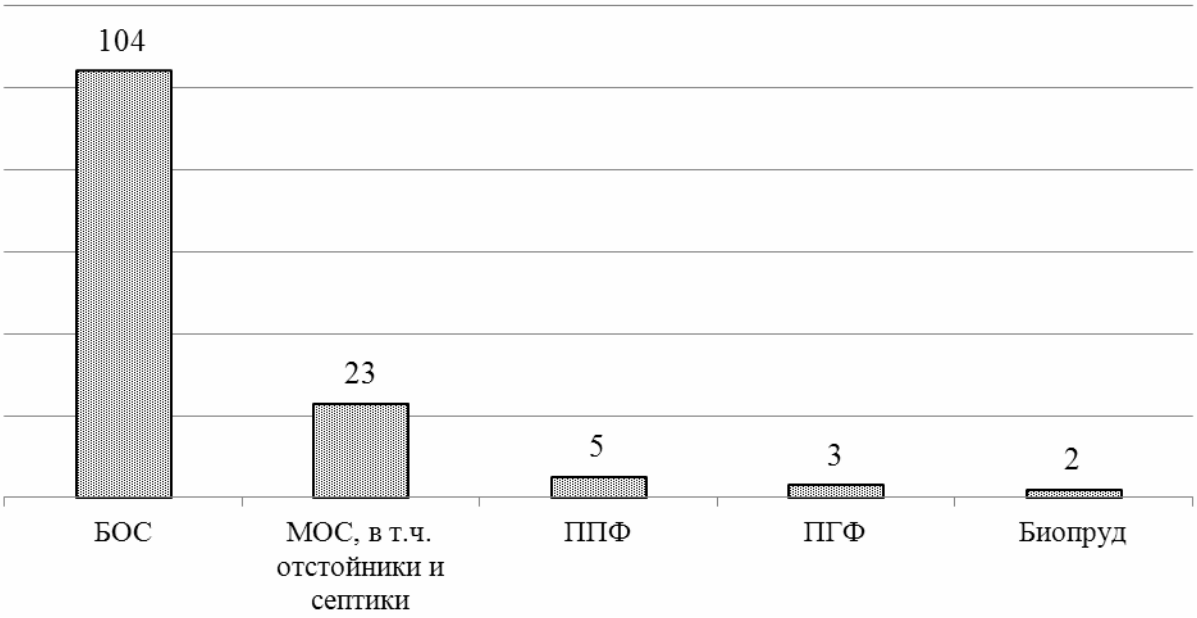


Рис. 1. Распределение ОСК по типу сооружений: БОС – биологические очистные сооружения, МОС – механические очистные сооружения, ППФ – подземные поля фильтрации, ПГФ – песчано-гравийные фильтры

Экологическая оценка проводилась по 81 станции, все отобранные объекты – биологические очистные сооружения. На большинстве станций запроектирована традиционная биологическая очистка сточных вод в аэротенках или в компактных установках.

На основе анализа технической литературы и с учетом производительности станций Вологодской области ОСК классифицированы по $Q_{проект}$ и $Q_{факт}$ (табл.1). Практически все станции области недогружены, из проанализированных лишь 2 станции имеют $Q_{факт}/Q_{проект} > 100$ %, средняя гидравлическая нагрузка $Q_{факт}/Q_{проект}$ составляет 38 %. Имеющиеся резервы говорят о возможности использовать их для повышения эффективности работы при правильном поддержании технологического режима, однако необходимо учитывать высокую неравномерность поступления стоков на станции.

Таблица 1

Классификация анализируемых ОСК Вологодской области

Показатель	Производительность станции, $м^3$/сут				По всем ОСК
	<100	100… 500	500… 1000	1000 … 7700	
Количество проанализированных станций с указанной $Q_{проект}$	13	39	14	15	81
Количество проанализированных станций с указанным $Q_{факт}$	38	32	5	6	81

Информация по долям станций, на которых обеспечивается заданная концентрация *i*-го загрязняющего вещества в очищенных сточных водах, приведена в табл.2. Данные по кратности превышения $ПДК_{усл}$ приведены на рис. 2 и 3.

Таблица 2

Содержание загрязняющих веществ в очищенных сточных водах коммунальных биологических ОСК Вологодской области

$Q_{факт}$, $м^3$/сут	Доля станций ($P_{обесп,i}$) при концентрации ВВ, мг/л:						
	<5,0	**<10,0**	**<15,0**	**< 20,0**	**<25,0**	**<30,0**	**<40,0**
<100	29%	63%	71%	79%	84%	90%	95%
100...500	13%	59%	81%	94%	100%	100%	100%
500....7400	9%	36%	64%	82%	100%	100%	100%
По всем ОСК	20%	58%	74%	85%	93%	95%	99%
$Q_{факт}$, $м^3$/сут	Доля станций ($P_{обесп,i}$) при концентрации $БПК_{полн}$, мгO_2/л:						
	<3,0	**<10,0**	**<15,0**	**<20,0**	**<25,0**	**<30,0**	**<40,0**
<100	8%	42%	55%	69%	74%	74%	92%
100...500	3%	28%	53%	66%	75%	75%	84%
500....7400	0%	36%	82%	100%	100%	100%	100%
По всем ОСК	5%	36%	58%	72%	78%	78%	90%
$Q_{факт}$, $м^3$/сут	Доля станций ($P_{обесп,i}$) при концентрации $N\text{-}NH_4^+$, мг/л:						
	<0,39	**<1,0**	**<2,0**	**< 5,0**	**<10,0**	**<15,0**	**<20,0**
<100	3%	13%	29%	50%	71%	84%	90%
100...500	0%	3%	9%	19%	56%	75%	91%
500....7400	27%	55%	55%	82%	82%	100%	100%
По всем ОСК	5%	15%	26%	42%	67%	83%	91%
$Q_{факт}$, $м^3$/сут	Доля станций ($P_{обесп,i}$) при концентрации $N\text{-}NO_2^-$, мг/л:						
	<0,024	**<0,05**	**<0,1**	**< 0,2**	**<0,3**	**<0,5**	**<1,0**
<100	24%	37%	58%	79%	84%	92%	95%
100...500	19%	25%	44%	67%	84%	91%	100%
500....7400	18%	36%	55%	64%	82%	100%	100%
По всем ОСК	21%	32%	53%	73%	84%	94%	98%
$Q_{факт}$, $м^3$/сут	Доля станций ($P_{обесп,i}$) при концентрации $N\text{-}NO_3^-$, мг/л:						
	<1,0	**<2,0**	**<5,0**	**< 9,1**	**<15,0**	**<20,0**	**<30,0**
<100	26%	40%	58%	74%	87%	90%	95%
100...500	25%	41%	59%	81%	88%	94%	97%
500....7400	18%	27%	36%	82%	91%	100%	100%
По всем ОСК	25%	38%	56%	78%	88%	93%	96%
$Q_{факт}$, $м^3$/сут	Доля станций ($P_{обесп,i}$) при концентрации $P\text{-}PO_4^{-3}$, мг/л:						
	<0,2	**<0,5**	**<1,0**	**< 2,0**	**<3,0**	**<5,0**	**<10,0**
<100	0%	0%	5%	29%	58%	74%	92%
100...500	0%	6%	16%	31%	41%	84%	94%
500....7400	18%	27%	36%	55%	91%	100%	100%
По всем ОСК	3%	6%	14%	33%	56%	82%	94%

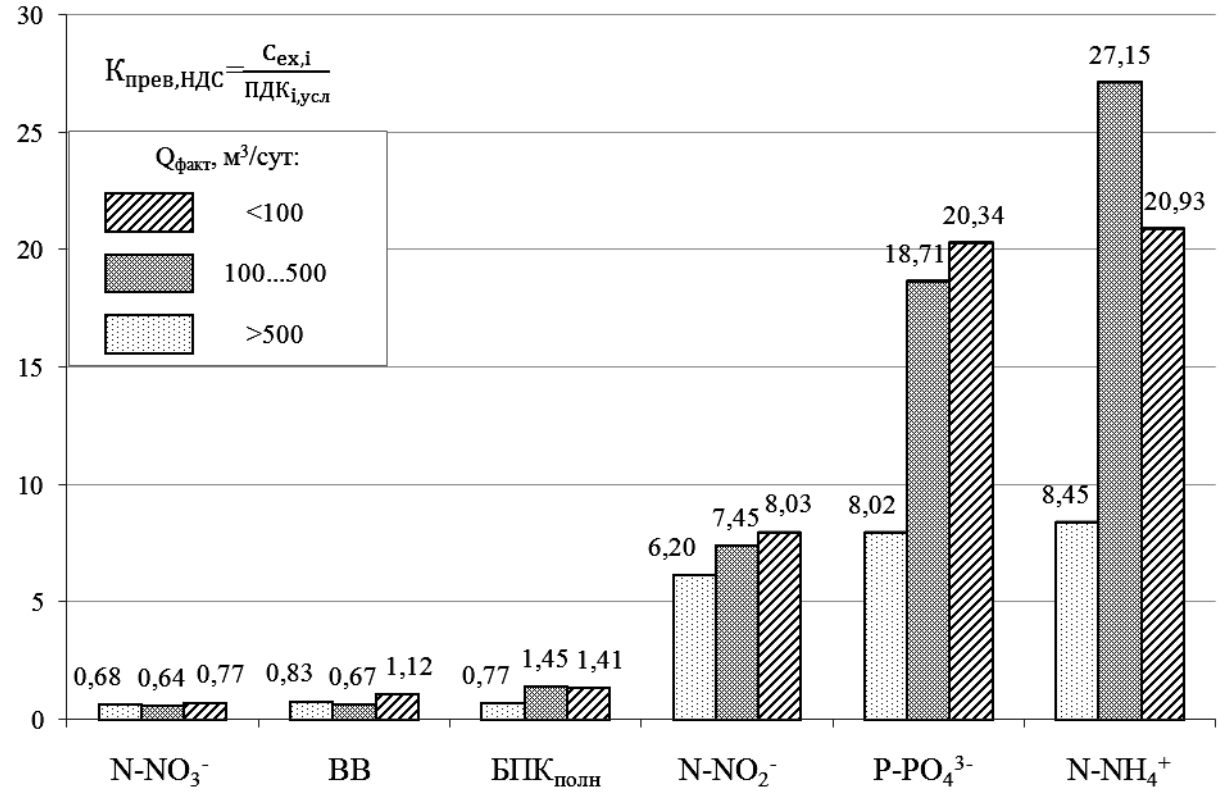


Рис. 2. Кратность превышения $ПДК_{усл}$

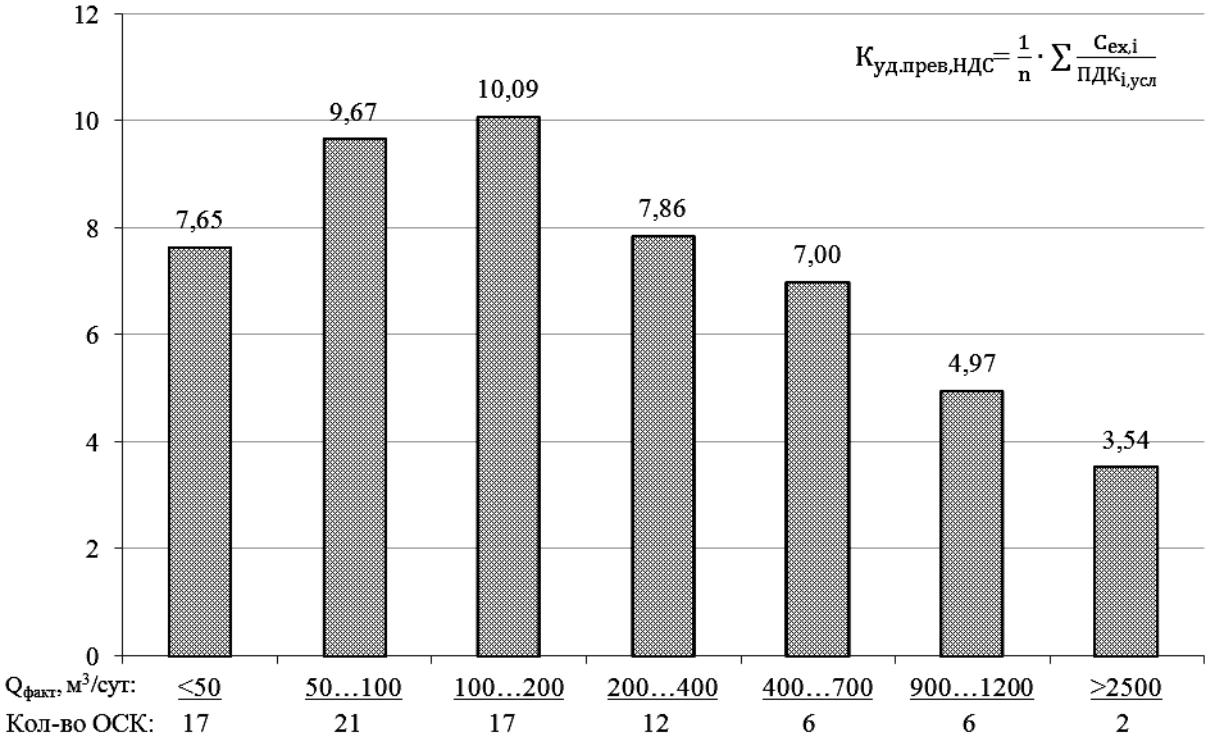


Рис. 3. Удельная кратность превышения $ПДК_{усл}$

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведенный анализ работы объектов водоотведения позволил выявить наибольшую вероятность ($Р_{прев}$) и кратность ($К_{прев}$) превышения $ПДК_{усл}$ по фосфору фосфатов ($Р_{прев}$=97%, $К_{прев}$=18, соблюдается на 2 станциях), азоту аммонийному ($Р_{прев}$=95%, $К_{прев}$=21,7, соблюдается на 5 станциях) и азоту нитритному ($Р_{прев}$=79%, $К_{прев}$=7,6, соблюдается на 17 станциях). Это свидетельствует о наименьшей вероятности достижения установленных требований по данным показателям на станциях с традиционной биологической очисткой, учитывая их барьерные возможности. По 3 остальным показателям достижение нормативов возможно в большинстве случаев при надлежащем технологическом контроле работы ОСК.

2. Наибольшее удельное превышение $ПДК_{усл}$ наблюдается на станциях с $Q_{проект}$=600…800 $м^3$/сут и с $Q_{факт}$=50...200 $м^3$/сут. Наименьшее превышение $ПДК_{усл}$ наблюдается на ОСК с $Q_{проект}$>1000 $м^3$/сут и с $Q_{факт}$>500 $м^3$/сут. Среднее удельное превышение $ПДК_{усл}$ по всем станциям равно 8,4.

3. Диапазон изменчивости значений концентраций загрязняющих веществ для станций $Q_{факт}$<500 $м^3$/сут значительно шире, чем для станций с $Q_{факт}$>500 $м^3$/сут, что говорит об индивидуальных особенностях и различных режимах эксплуатации схожих по технологии объектов.

Экологическая оценка сооружений искусственной биологической очистки подтвердила практическую невыполнимость обеспечения современных природоохранных нормативов (установленных НДС) по фосфору фосфатов, азоту аммонийному и азоту нитритному на малых коммунальных ОСК.

Актуальным в современных условиях выглядит разработка модели дифференцированного нормирования объектов водоотведения, основанной на их ранжировании по уровню техногенного воздействия на водные экосистемы.

Такой подход является оптимальным при высокой пространственной рассредоточенности поселений и дефиците финансирования, что характерно для отрасли водопроводно-канализационного хозяйства в РФ.

Литература

1. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

2. Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении».

3. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Приказ МПР РФ от 17 декабря 2007 г. № 333.

4. Кулаков А.А., Лебедева Е.А., Умаров М.Ф. Исследование барьерных возможностей традиционной биологической очистки сточных вод на основе технологического моделирования // Экология и промышленность России. – 2010. – № 11. – С. 33-36.

5. Кулаков А.А., Лебедева Е.А. Разработка инженерных решений по модернизации очистных сооружений канализации на основе технологического моделирования // Водоочистка. – 2011. – № 12. – С. 10–19.

6. Директива № 91/271/ЕЭС Совета Европейских сообществ «Об очистке городских сточных вод» от 21.05.1991 г.

7. Colmenarejo M.F., Rubio A., Sa´nchez E., Vicente J., Garcı´a M.G., Borja R. Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain) // Journal of Environmental Management. 2006. № 81. 399–404.

8. Tsagarakis K.P., Mara D.D., Angelakis A.N. Wastewater management in Greece: experience and lessons for developing countries // Water Science and Technology. 2001. Vol 44 №6. 166–172.

9. Tsagarakis K.P., Mara D.D., Nolan N.J., Angelakis A.N. Small municipal wastewater treatment plants in Greece // Water Science and Technology. 2000. Vol 41. №1. 41–48.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД РУДНИКА «КАРНАСУРТ» МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Тютин

Научный руководитель ***Е.А. Лебедева****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В поселке Ревда Ловозерского района Мурманской области находится горнодобывающее предприятие «Карнасурт», в состав которого входит рудник, обогатительная фабрика и комплекс подсобных объектов (столовая, химическая лаборатория, механические мастерские и т.д.). На этом предприятии производится добыча и обогащение лопаритового концентрата. Лопарит – минерал, являющийся сырьем для производства редкоземельных металлов, таких как тантал и ниобий. Совместно с ОАО «Соликамский магниевый завод» «Карнасурт» является основным отечественным производителем этого вида продукции.

В штреках рудника скапливаются дренажные воды, образующиеся за счет вскрытия водоносных пластов, а также инфильтрации атмосферных и поверхностных вод через трещины в породе. Чтобы избежать затопления подземных выработок, эти воды откачиваются на поверхность.

В состав пород месторождения входит минерал виллиомит, химическая формула которого NaF. Он легко растворяется в воде. Поэтому в шахтных водах рудника наблюдается повышенное содержание фторид – ионов, существенно превышающее предельно допустимые значения. Кроме того, в стоках содержатся повышенные концентрации марганца, железа и нефтепродуктов.

В настоящее время очистка шахтных вод не производится, и они сбрасываются в реку Сергевань, которая является притоком первого порядка озера Ловозеро, имеющего высшую категорию водоема рыбохозяйственного назначения.

Существуют методы по очистке стоков от фторид – иона, но одни из них являются дорогостоящими или сложными по технологии, другие неприменимы для данного вида сточных вод.

Предприятие вынуждено платить большие штрафы за сброс загрязняющих веществ. Нарушен экологический баланс в реке Сергевань, создается опасность для озера Ловозеро.

Помимо «Карнасурта» на Кольском полуострове существует около шести крупных горнодобывающих предприятий, для которых актуальна проблема загрязнения сточных вод фторид – ионами. Это же относится к предприятиям алюминиевой и химической промышленности по всей стране. Таким образом проблема является актуальной и требует решения.

Целью данной работы является разработка технологии очистки шахтных вод, загрязненных фторид-ионами, расчет и проектирование очистных сооружений шахтных вод рудника «Карнасурт», технико-экономическое обоснование разрабатываемого инвестиционного решения.

Добыча руды в очистных блоках осуществляется буровзрывным способом. Процесс образования шахтных вод подробно описан в [1].

Динамика изменения качества шахтных вод и баланс их образования рассмотрены в [2].

Анализ данных наблюдений за качеством сточных вод показывает, что основным преобладающим в стоке загрязняющим веществом является фтор. Периодически имеют место превышения концентраций железа и марганца.

По результатам литературного обзора была составлена краткая классификация методов обесфторивания с указанием применяемых реагентов и материалов, представленная в [3].

На начальном этапе исследований был проведен корреляционный анализ для поиска закономерностей образования объема и массы загрязнений в шахтных водах. Результаты анализа представлены в [1].

Из результатов анализа видно, что наиболее ярко и убедительно прослеживается корреляция между концентрациями ионов фтора и нефтепродуктов. Нефтепродукты попадают в шахтные воды от работающих на руднике машин и механизмов. Был сделан вывод, что концентрация ионов фтора зависит от интенсивности работы машин и механизмов, то есть от интенсивности разработки

породы, что подтверждается наблюдениями. Это означает, что для разработки мероприятий по снижению содержания фтора в шахтных водах в первую очередь нужно рассматривать особенности технологии добычи лопаритовых руд и возможности снижения массы загрязняющего вещества путём оптимизации производственного процесса, то есть провести поиск вариантов снижения объёма загрязнений в источнике. Однако анализ условий формирования шахтных вод и способа добычи руды на руднике «Карнасурт» показал, что оптимизация производственного процесса с целью снижения концентрации загрязнений невозможна на данном объекте, поэтому разработка водоохранных мероприятий заключается в подборе технологии очистки сточных вод [2].

В лаборатории кафедры химии ВоГТУ были проведены скриннинговые исследования, в результате которых была получена зависимость эффективности снижения концентрации фтора в обрабатываемой воде от соотношения Ca:F.

Данная зависимость является линейной, коэффициент корреляции составляет 0,98. Этот результат позволяет принять использование извести для обесфторивания за основу при разработке технологии очистки шахтных вод.

Максимальная эффективность очистки стоков от ионов фтора путем обработки их известью составляет 45%, поэтому второй ступенью очистки решено принять фильтрование.

Для подбора загрузки фильтров была сконструирована лабораторная фильтровальная установка, представляющая собой цилиндр диаметром 15 мм, высотой 350 мм, снабженный отводящим патрубком. В качестве фильтрующей загрузки исследовалось местное сырьё: кварцевый песок, дробленый пенопласт и отработанная порода рудника «Карнасурт» («хвосты» обогащения руды).

Методика проведения экспериментов следующая: проба исходной воды непосредственно с выпуска, объемом 150 мл обрабатывается порошковой негашеной известью и отстаивается в течение часа. Осветленная вода далее подаётся на фильтровальную колонку, заполненную кварцевым песком крупностью 2 – 3 мм. Верхняя часть колонки загружается активированным углем марки БАУ. В полученном фильтрате измеряется содержание ионов фтора и pH. Концентрация ионов фтора определяется фотоколориметрическим способом с использованием ализаринового красного индикатора и оксихлорида циркония, pH измеряется ионоселективным электродом с помощью универсального иономера ЭВ-74.

Предварительные оценки показали, что эффект очистки при фильтровании осветленной после обработки известью исходной воды через слой дробленого пенопласта не превышает 67% процентов. Содержание ионов фтора снижается до 2 мг/л, что не достаточно для выпуска в водоприемник. Использование «хвостов» приводит к вторичному загрязнению воды ионами фтора (концентрация их в фильтрате возросла до 29 мг/л). Кроме того хвосты обо-

гащения относятся ко второму классу материалов по удельной радиационной активности, что ограничивает их использование в данном направлении. По результатам предварительных исследований максимальный эффект дефторирования был выявлен при использовании кварцевого песка в качестве загрузки. Максимальный эффект очистки составлял 96%. Было достигнуто снижение содержания ионов фтора до 0,26 мг/л, что удовлетворяет условиям выпуска очищенной воды в водоприемник. Для дальнейших детальных исследований была выбрана загрузка фильтра кварцевым песком. Для интенсификации процессов очистки к загрузке добавляется сорбент (активированный уголь). В результате проведения полного факторного эксперимента получена формула для расчета оптимальной дозы реагента при данных условиях:

$$Д = \frac{Э - 278{,}64 + 34{,}75 \cdot pH + 12{,}86 \cdot У - 1{,}99 \cdot pH \cdot У}{-1{,}123 + 0{,}17 \cdot pH + 0{,}05 \cdot У - 0{,}009 \cdot pH \cdot У} \cdot C_{F^-}, \frac{мг}{л}, \quad (1)$$

где C_{F^-} - концентрация ионов фтора в сточной воде, мг/л.

pH - водородный показатель среды;

У – доля активированного угля в загрузке, %;

Э - требуемая эффективность очистки, %;

Д - доза реагента в форме соотношения Ca:F.

Для проектирования отстойников экспериментально определялись кривые кинетики осветления реальных стоков с помощью отстаивания в лабораторных цилиндрах объемом 1 л. Исходная вода обрабатывалась известью и отстаивалась в течение 120 мин. Кривые кинетики осветления [4] приведены на рис. 1, 2.

Рис. 1. Кривая Кинша

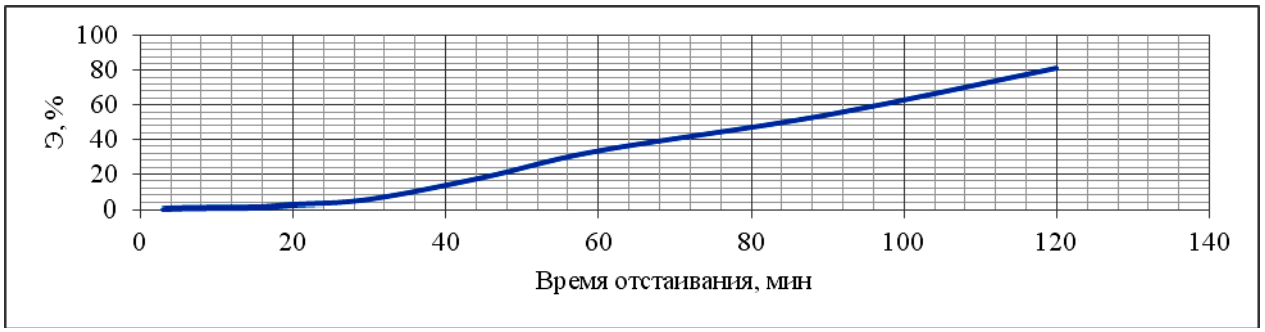


Рис. 2. График зависимости эффективности осветления от продолжительности отстаивания

По результатам проведенных экспериментов выявлено, что для удаления ионов фтора из шахтных вод можно применять обработку исходной воды известью с последующим отстаиванием и фильтрованием.

Технологическая схема очистки шахтных вод рудника «Карнасурт» приведена на схеме (рис. 3).

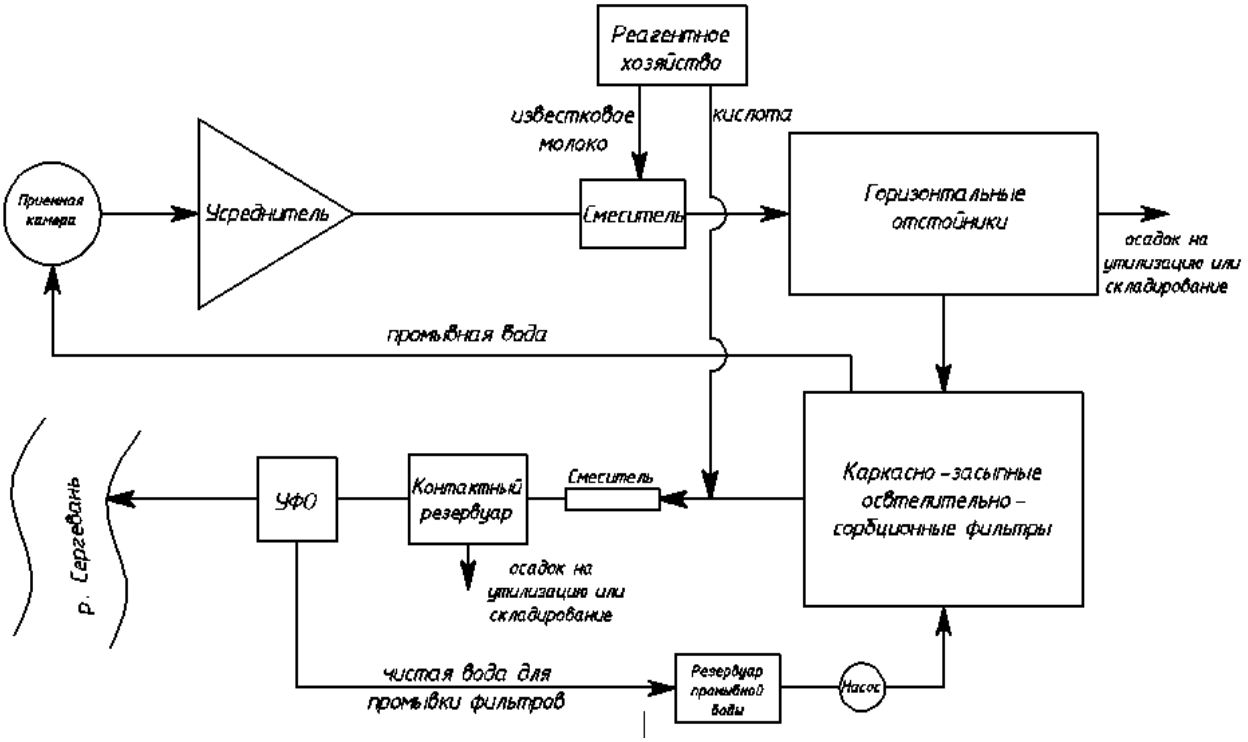


Рис. 3. Технологическая схема очистки шахтных вод рудника «Карнасурт»

Результаты расчетов экономической целесообразности проекта сведены в таблицу.

Рентабельность инвестиций рассчитывается по формуле (2):

$$R_{инв.} = \frac{Э}{К}, \quad (2)$$

где $R_{инв.}$ – рентабельность инвестиций; Э - экономический эффект, руб.; К – капитальные затраты, руб.

$$R_{инв.} = \frac{(7178879{,}4 - 4020971{,}17)}{17492070} = 0{,}009$$

Срок окупаемости капиталовложений:

$$Т - \frac{К}{Э}, лет \quad (3)$$

$$Т = \frac{17492070}{(7178879{,}4 - 4020971{,}17)} = 5{,}5 \text{ лет}$$

Таким образом, принимаемые в работе технические и технологические решения считаю экономически целесообразными, так как экономический эффект составляет 3157908,23 руб./год. Срок окупаемости сооружений составит 5,5 лет.

В данной работе на примере рудника «Карнасурт», расположенного в поселке Ревда Ловозерского района Мурманской области, было рассмотрено решение проблемы загрязнения ионами фтора шахтных вод горных выработок Кольского полуострова.

Таблица

Основные технико-экономические показатели

Показатели	Еденица измерения	Величина показателя проекта (вариант без очистки)	Величина показателя проекта (вариант с ЛОС)
Проектная мощность (суточная и годовая)	$м^3$	27500 10037500	27500 10037500
Расход потребляемой энергии	кВт·час/год	0	560639,997
Капитальные вложения	тыс. руб.	0	17492,07
Эксплуатационные затраты (полная себестоимость)	тыс. руб.	7178879,4	4020971,17
Себестоимость $1м^3$	руб.	0,72	0,4
Удельные капитальные вложения на $1м^3$ суточной обработки воды	руб.	0	636,07
Фондоемкость продукции	руб./$м^3$	-	1,74
Фондоотдача	$м^3$/руб	-	0,57
Годовая выработка одного работающего	$м^3$/чел	-	1433928,57
Плата за превышение ПДС	тыс. руб./год	1349,23	0
Предотвращенный экологический ущерб	руб./год	0	59929,6

По результатам литературно-патентного обзора была составлена классификация методов обесфторивания, применяемых реагентов и материалов. Исходя из доступности сырья и качества исходной сточной воды, было принято решение использовать известь (CaO) в качестве реагента.

На кафедрах химии и водоснабжения и водоотведения Вологодского государственного технического университета и в центральной лаборатории Ловозерского горно-обогатительного комбината проведены лабораторные исследования по изучению процессов очистки шахтных вод от фтора известью. Выяснилось, что при обработке стоков данным реагентом с последующим отстаиванием в течение одного часа достигается эффективность дефторирования до 45 %. При исходных концентрациях 6 – 7 мг/л, этого недостаточно для достижения ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (0,75 мг/л). Для обеспечения требуемого результата было принято решение исследовать возможность применения фильтрования на втором этапе очистки. Лабораторные опыты показали, что для достижения необходимой степени очистки требуется применение фильтров с песчаной загрузкой с добавлением сорбента (активированного угля). При этом максимальный эффект очистки достигал 96 %, со снижением концентрации ионов фтора до 0,26 мг/л.

В лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения ВоГТУ были проведены исследования процессов отстаивания. В результате рассчитана гидравлическая крупность частиц, при оседании которых вода осветляется до

удовлетворительного состояния. При пересчете на промышленные условия эта величина приняла значение 0,0017 мм/с.

Для достижения необходимой степени осветления и снижения размеров сооружений принято использование тонкослойного отстаивания. Рассчитан горизонтальный отстойник с тонкослойными модулями на 4 отделения шириной 6 м каждое, длиной 72 м. Образующийся осадок направляется на складирование в существующее хвостохранилище.

Расчет показал, что требуется строительство шести скорых фильтров площадью 21 $м^2$ каждый (5 рабочих и 1 резервный). В качестве загрузки применяется кварцевый песок и активированный уголь марки БАУ. Промывная вода направляется в голову сооружений.

Так как обработанная известью вода приобретает сильнощелочные свойства, необходима ее нейтрализация. Чтобы избежать избыточного образования гипса в сооружениях, приняли использование соляной кислоты для нейтрализации стоков.

Рассчитаный предотвращенный экологический ущерб от принятых в работе технологических и технических решений составит 59929,65 усл. руб./год.

Рассчитаны основные технико-экономические показатели работы очистных сооружений. По расчету срок окупаемости составит 5,5 лет при существующих нормативах на плату за сброс загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты. Себестоимость одного кубометра очищаемой шахтной воды равна 40 коп.

Реализация разработанных мероприятий позволяет привести качество сточных вод, сбрасываемых в реку Сергевань, в соответствие с лимитами на сбросы загрязняющих веществ и предотвратить загрязнение водоприемника.

Литература

1. Тютин, А.А. Анализ возможностей снижения массы загрязняющих веществ в шахтных водах рудника «Карнасурт» в Мурманской области путем оптимизации производственного процесса/ А.А. Тютин, Е.А.Лебедева// Молодые исследователи – регионам: материалы всероссийской научной конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – С.429-431.

2. Тютин, А.А. Анализ условий формирования качества шахтных вод рудника «Карнасурт» в Мурманской области/ А.А.Тютин, Е.А.Лебедева// Материалы III ежегодных смотров-сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук: в 2 т. Т.1 Технические науки. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – С.275-280.

3. Тютин, А.А. Исследования технологии очистки шахтных вод разработки месторождений лопаритовых руд/ А.А.Тютин, Е.А.Лебедева// Материалы IV ежегодных смотров – сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук: Технические науки. Экономические науки. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – С.322-327.

4. Ивановская, А.С. Исследование седиментационных свойств активного ила на очистных сооружениях канализации г. Вологды/ А.С.Ивановская, Е.А.Лебедева// Материалы III ежегодных смотров – сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук.- Вологда: ВоГТУ, 2009.- Т.1.-С.200-205.

Секция «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

ОТХОДЫ ВЕДУЩИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Апанасенко, А.Е. Никулина
Научный руководитель ***В.П. Уханов****, канд. геогр. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

В последние годы значительно возросло воздействие промышленности на окружающую среду. Это связно как с ростом потребления природных ресурсов, так и с поступлением в нее вредных веществ с отходящими газами, сточными водами и токсичными отходами различных производств.

Основными экологическими проблемами, возникающими в результате работы предприятий различных видов промышленности, являются:

· загрязнение водных объектов;

· загрязнение атмосферного воздуха в результате выбросов;

· постоянно увеличивающееся количество отходов производства и потребления;

· загрязнение почв, опустынивание и деградация растительного покрова на многих территориях.

Цель статьи – проанализировать проблемы воздействия промышленности на окружающую среду на примере молочной (ОАО «Тарногский маслозавод») и целлюлозно-бумажной промышленности (ООО «Сухонский ЦБК»).

Молочная промышленность оказывает существенное влияние на состояние окружающей природной среды: загрязняет атмосферу промышленными выбросами; загрязняет бассейны рек и озер сточными водами; дает большое количество промышленных отходов [1].

Основной вид деятельности Тарногского маслозавода – торгово-закупочная, в том числе закупка молока, производство молочных продуктов и реализация продукции.

Предприятие является источником выбросов, сбросов и производственных отходов.

В атмосферу выбрасывается 14 загрязняющих веществ. Наибольший объем в составе выбросов имеет зола, а также оксид углерода, диоксид серы. За последние несколько лет их объем уменьшился за счет газификации котельной, ухода от опасного химического производства и перехода на автоматизированное фреоновое оборудование.

Сточные воды ОАО «Тарногский маслозавод» проходят очистку на механических очистных сооружениях и затем отводятся по полиэтиленовому трубопроводу в поверхностный водный объект – в реку Шебеньгу.

Объем этих вод по нормативам не должен превышать 17 тыс $м^3$ в год. Фактический объем водоотведения в реку колеблется от 14 до 16 тыс $м^3$ в год. 7 лет назад наблюдалось превышение (в 2005 году) – 21 тыс $м^3$. За последние же 5 лет превышений лимита не было.

Предприятие, а соответственно и выпуск сточных вод в водный объект, находятся за пределами населенного пункта – село Тарногский городок.

Сточные воды маслозавода загрязняются сульфатами, хлоридами, фосфатами, азотом, БПК5. По ряду загрязняющих веществ наблюдается превышение их фактического содержания по сравнению с допустимым [2].

Предприятие является источником твердых отходов. Ежегодный объем отходов предприятия составляет около 91 $м^3$.

В производственных отходах предприятия превышают по массе золошлаки от сжигания угля, лом черных и цветных металлов несортированный, отходы теплоизоляции. По классам опасности на предприятии наибольшее количество отходов 5 класса опасности [3].

На предприятии проводится ряд природоохранных мероприятий: разработан порядок обращения с образующимися на предприятии отходами, осуществляется контроль за соблюдением ПДС, ведется контроль за безопасным размещением отходов на предприятии, проводятся мероприятия по снижению их негативного воздействия на среду обитания и водную среду [4].

Целлюлозно-бумажная промышленность относится к ведущим отраслям народного хозяйства, так как Россия располагает огромными лесосырьевыми ресурсами. Кроме того велика потребность в продукции этой отрасли как в России, так и за рубежом, и это определяет большой объём выпускаемой продукции. Однако по воздействию на окружающую среду эта отрасль остаётся одной из проблемных по величине токсичных выбросов в атмосферу и сбросов в воду, а также экологической опасности для природной среды [5].

На ООО «Сухонский ЦБК» образуются твердые отходы производства и потребления 73 видов. К отходам производства относятся отходы 65 видов, потребления – 8 видов.

За период с 2004 по 2010 годы объем образования большинства видов отходов практически не изменился.

На ООО «Сухонский ЦБК» представлены отходы 5 классов опасности, а также медицинские отходы классов «А» и «Б».

Отходы 1 класса опасности представлены единственным видом – ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак.

Отходы 2 класса опасности составляет кислота аккумуляторная серная отработанная.

В отходы 3 класса опасности входят 14 видов отходов. Наиболее значительное количество составляет нефтешлам при зачистке резервуаров. Также выделяются шпалы железнодорожные деревянные, пропитанные антисептическими средствами, отработанные и брак, образование остальных видов не превышает 2,5 т/год.

Отходы 4 класса опасности также представлены 14 видами. Доминируют среди них - обрезки, кусковые отходы древесно-стружечных и/или древесноволокнистых плит, содержащих смолы в количестве от 0,2% до 2,5% включительно. Кроме того, значительно количество мусора от бытовых помещений организаций. Образование других видов данного класса опасности не превышает 4 т/год.

В отходы 5 класса опасности входят 23 вида отходов. Наиболее велико количество образования отходов щепы натуральной чистой древесины, отходов от чистки сепаратора и отходов от сортирования макулатурной массы. Образование прочих видов 5 класса опасности – не более 300 т/год [6, 7].

В настоящее время основная деятельность предприятия по обращению с опасными отходами, образующимися на предприятии, состоит в сборе, временном накоплении, использовании и обезвреживании на предприятии и передаче сторонним организациям на обезвреживание, переработку, захоронение.

На предприятии организованы места временного хранения отходов, откуда они по мере накопления используются или обезвреживаются на предприятии, передаются на переработку (обезвреживание) специализированным организациям, вывозятся на городскую свалку ТБО [8].

Предприятия молочной и целлюлозно-бумажной промышленности являются загрязнителями окружающей природной среды и, как следствие, источниками выбросов, сбросов и твердых производственных отходов.

Количество веществ, выбрасываемых в атмосферу и загрязняющих ее, можно сократить за счет применения различного вида газо- и пылеулавливающих систем (циклонов, пылеосадительных камер, рукавных фильтров, абсорберов). В настоящее время для очистки отработанного в распылительных сушилках воздуха применяются в основном циклоны.

Для уменьшения расхода воды рекомендуется вести строгий учет водопотребления и водоотведения по предприятию в целом и по отдельным участкам и цехам; провести разъяснительную работу с сотрудниками предприятий по снижению расходов воды; внедрить новые технологические процессы и виды оборудования, сокращающие потребление воды.

Литература

1. Барабанщиков, Н. В. Молочное дело / Н. В. Барабанщиков. - М.: Колос, 1983. – 414с.: ил.

2. Проект нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов, отводимых в реку Шебеньгу со сточными водами ОАО «Тарногский маслозавод» / ОАО «Тарногский маслозавод». – Вологда, 2010. – 49 с.

3. Проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР) / ОАО «Тарногский маслозавод». – Вологда, 2011. – 44 с.

4. Штокман, Е.А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 312 с.

5. Стратегия развития лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности на 1999-2000 годы. – М.: Изд-во Минэкономики РФ, 1998. – 102 с.

6. Проект образования твердых производственных отходов ООО «Сухонский ЦБК» / ООО «Сухонский ЦБК» – Сокол, 2004. – 412 с.

7. Проект образования твердых производственных отходов ООО «Сухонский ЦБК» / ООО «Сухонский ЦБК. – Сокол, 2010. – 386 с.

8. Проект по обращению с отходами на предприятии ООО «Сухонский ЦБК» / ООО «Сухонский ЦБК». – Сокол, 2006. – 354 с.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РЕАКТОР ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ СРЕД

В.Ю. Вашко

Научный руководитель ***Л.М. Воропай****, канд. хим. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

В любом технологическом процессе используется вода как основное и вспомогательное вещество. Вода используется как реагент и рабочее тело. Качество воды должно соответствовать техническим регламентам, принятым в стране и на каждом конкретном предприятии. Исходная природная вода не отвечает этим требованиям. С целью повышения качества воды и доведения ее состава до требований конкретного технологического регламента используются разные технологические приемы: конденсация, обратная и прямая осмотическая фильтрация, ионный обмен [1]. Наибольшее распространение получил последний способ, который внедрен на крупных предприятиях Вологодской области, таких как Череповецкая гидроэлектростанция, Вологодская ТЭЦ, Вагонно-ремонтный завод и др. При применении данного способа встает основная проблема регенерации отработанных ионообменных смол, которые относятся к дорогостоящим материалам: ориентировочная стоимость одной тонны ионнобменной смолы составляет 1 млн рублей. Если учесть, что при разных способах регенерации в среднем теряется по массе от 10 до 20 процен-

тов адсобента и максимальная эффективность производственных способов регенерации адсорбентов составляет в среднем 65-70 процентов, то предприятия несут значительные убытки. Кроме того при неполной регенерации ионообменной смолы встает острая проблема вторичного загрязнения окружающей среды.

В современных условиях основной целью производства является получение конечного продукта при минимуме энергетических, вещественных и информационных затрат. В связи с этим наибольшее распространение находят энергетические факторы воздействия на производственные процессы, которые действуют избирательно на обрабатываемые среды, обладают минимальным деструктивным воздействием на материалы и оборудование и не вызывают загрязнение окружающей среды. К таким видам воздействия относится ультразвук, который применяется для интенсификации технологических процессов, а также при обработке техногенных сред.

Целью данного проекта является разработка конструкции ультразвукового многофункционального реактора для обработки техногенных сред, проведение испытаний опытного образца.

В своем проекте ультразвуковые эффекты предлагаем использовать для разработки технологии ультразвуковой десорбции адсорбатов, которые применяются при адсорбционной очистке жидкостей и газов от загрязняющих веществ.

Использование ультразвукового реактора для очистки техногенных сред при помощи ультразвука можно рассматривать как совершенствование природовосстановительных технологий, а также как развитие новых экологически чистых технологий.

Внедрение данного способа производства позволит:

- снять техногенную нагрузку с окружающей среды, что приведет к уменьшению рисков заболеваемости населения и к улучшению экологической обстановки;

- обеспечить нормативные параметры воздушной среды в производственных помещениях;

- повысить качество питьевой и технической воды, что позволит улучшить условия труда на производственных предприятиях региона;

- рост доходов предприятия за счет уменьшения выбросов в окружающую среду и сокращения расходов на закупку реагентов.

К экономической значимости проекта относится как экономия энергии так материалов, необходимых в производственном цикле. Например, затраты энергии при известном способе очистки адсорбентов горячим паром составляют 57 кДж на один килограмм сорбента, а в ультразвуковой установке не более 11,95 кДж, что в пять раз меньше. Внедрение данного проекта в производство позволит сократить выбросы загрязняющих твердых отходов в 5-7 раз.

К технической значимости проекта относится возможность осуществления эффективной почти стопроцентной очистки жидких и твердых сред, которая при помощи других способов не может быть достигнута.

Для осуществления ультразвуковой активации процессов десорбции предлагается усовершенствованный новый тип многофунционального ультразвукового реактора, в котором осуществляют обработку техногенных сред (твердых, жидких, растворенных или контактирующих с жидкостью газов) в динамическом состоянии, приближенным к производственным условиям.

В промышленности выпускаются разные виды ультразвуковых установок в зависимости от ее назначения и природы обрабатываемого материала.

Патентный поиск показал, что для существующих ультразвуковых установок характерно неравномерное акустическое воздействие по объему реактора. Подобная конструкция реализуется в ультразвуковой ванне модели УЗВ-2.2 производство ООО «Александра-Плюс» («Ультразвуковой излучатель Лебедева»), в которой обрабатываемые среды находятся в стационарном состоянии. Распространение ультразвуковых волн в ней проходит в одном продольном направлении от излучателя, который вмонтирован в дно емкости, что приводит к неравномерности ультразвукового воздействия по объему ванны и к снижению эффективности обработки.

В промышленности выпускаются разные виды ультразвуковых установок в зависимости от ее назначения и природы обрабатываемого материала.

В данной работе предполагается использование установки, основанной на технологии контактного ультразвука. Ультразвуковая многофункциональная установка предполагает следующие конструкционные элементы: реактор цилиндрической формы для обработки сред, выполненный из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т, что позволяет обрабатывать как чистую воду так и любые другие среды, применяемые в технологическом процессе; перфорированные ячейки для твердых техногенных сред. Для активации процессов монтируются в стенки реактора два ультразвуковых излучателя мощностью 100 Вт каждый, которые передают ультразвуковые волны на стенку установки, и последняя становится излучателем. Величина кавитации в этом случае возрастает в 1,5 – 2 раза в сравнении с существующими технологиями [2]. Для обеспечения необходимой безопасности ультразвуковые излучатели помещаются во фторопластовый футляр. В блоке управления технологическим процессом располагаются ультразвуковой генератор, обеспечивающий работу излучателей, система охлаждения, а также элементы защиты и управления технологическим процессом.

На модельной ультразвуковой установке выполнены испытания для подбора технологических условий процесса ультразвуковой регенерации активированных углей и диатомитовых земель.

Для получения результатов навеску адсорбента средней массой 4-5 грамм помещают в растворы (NiSO4 , FeCl3, Pb (NO3)2, Sn(NO3)2), содержа-

щие один компонент загрязняющего вещества, концентрация которого составляет 0,25 моль/литр. Выдерживают адсорбенты в статических условиях до полного насыщения. Степень насыщения определяют по изменению концентрации растворенных веществ в растворе и рассчитывают на один грамм адсорбента. Один грамм диатомитовых земель поглощает в среднем $CuSO_4$ – 0,232 грамма, а $NiSO_4$ – 0,72 грамма. После насыщения адсорбентов загрязняющими веществами их равномерным слоем помещают на полки ультразвукового реактора и погружают в отмывочный раствор (вода и соляная кислота концентрацией 0,1 моль/литр).

Обработку ультразвуком проводили в течение 5, 10, 20 мин., степень десорбции определяли по концентрации растворенных солей в растворителях.

Результаты свидетельствуют, что максимальная степень десорбции достигается при обработке ультразвуком в течение 5-10 минут, при числе кавитации 600-700. После 10-минутного воздействия ультразвуком, степень десорбции не изменяется.

Во время эксперимента определяется изменение температуры растворов и было установлено, что под действием ультразвука температура меняется от 20°С до 40°С в зависимости от времени обработки.

Полученные результаты свидетельствуют, что процесс десорбции зависит от природы адсорбента. Активированные угли не подлежат ультразвуковой обработке за счёт его деструктуризации. Диатомитовые земли выдерживают многократную (около 10 раз) ультразвуковую обработку с сохранением структуры.

В результате эксперимента установлен синергизм действия ультразвука на процессы десорбции. При отмывке адсорбентов, содержащих один компонент растворенного вещества выведен следующий ряд десорбции: Ni^{+2}, Cu^{+2}, Sn^{+2}, Pb^{+2}, Fe^{+3} (элементы расположены в порядке возрастания степени десорбции).

В присутствии нескольких загрязняющих компонентов адсорбентов (смеси катионов) степень десорбции изменяется в следующем порядке: Cu^{+2} , Sn^{+2}, Ni^{+2}, Pb^{+2}, Fe^{+} (в порядке возрастания).

При увеличении времени обработки от 10 и более 20 минут степень десорбции не изменяется, однако, при этом происходит увеличение температуры раствора, который способствует усилению процессов гидролиза образованием нерастворимых/плохо растворимых пробок в адсорбенте.

При наличии в адсорбенте катионов железа, для которых характерна большая скорость гидролиза с образованием плохо растворимых гидратированных комплексов, степень десорбции сокращается.

Для растворения продуктов гидролиза используют нормальный раствор соляной кислоты, который способствует предотвращению гидролиза и тогда степень десорбции возрастает в 1,5 – 2 раза.

При применении в качестве растворителей воды степень десорбции составляла 35 – 40%, а при применении соляной кислоты максимальная степень десорбции составляет 85 – 90% при малом размере пор адсорбента.

Таким образом, процесс ультразвуковой регенерации следует проводить при следующих технологических параметрах:

1. Растворитель – соляная кислота;
2. Время обработки в зависимости от массы адсорбента в среднем 5-10 мин.;
3. Число кавитации 600-700;
4. Температура раствора 35 - 40°С.

Литература

1. Парфит, Г. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел / Г. Парфит, К. Рочестер. – М.: Мир, 1986. – С. 13-126.

2. Шершавина, А.А. Физическая и коллоидная химия. Методы физико-химического анализа / А.А. Шершавина. – М.: Новое знание, 2005. – 800 с.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГЕОСФЕРАХ ТЕРРИТОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Б. Газиева, И.Н. Фалёв

Научный руководитель ***А.И. Труфанов****, канд. геол.-мин. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Воздействие человека на окружающую среду достигло уровня, при котором происходит существенное изменение химического состава различных геосфер земли. Одну из приоритетных групп загрязняющих веществ образуют тяжелые металлы.

Цель: изучение содержания тяжелых металлов на антропогенно загрязненной территории города Вологды и незагрязненной территории юго-запада Вологодской области.

Задачи:

- анализ содержания тяжелых металлов в почвах города Вологды;
- анализ содержания тяжелых металлов в водных объектах юго-запада Вологодской области.

Проблема загрязнения геосфер тяжелыми металлами является актуальной в связи с тем, что при определенных концентрациях они способны оказывать негативное влияние на здоровье человека. Н. Б. Газиевой был собран и проанализирован материал по содержанию тяжелых металлов в почвах города Вологды. И.Н. Фалевым был собран и проанализирован материал по содержа-

нию тяжелых металлов в поверхностных и подземных водах юго-запада Вологодской области.

Изучение загрязнения почвенного покрова в городской среде позволяет дать общую оценку экологической обстановки территории, поскольку почва является депонирующей средой. Для санитарно-гигиенической оценки почв обычно используют предельно-допустимые, ориентировочно-допустимые концентрации и степень опасности загрязнения почв комплексом металлов.

Проблеме загрязнения городской среды тяжелыми металлами посвящено большое количество научных работ. Так Леонид Петрович Рихванов отметил тесную корреляцию между частотой встречаемости хронических заболеваний печени, органов дыхания, кожи, почек у детей, проживающих в Томске, и содержанием в почвогрунтах тяжелых металлов. Похожие геохимические исследования проводились в Курске, где также была установлена зависимость между частотой заболеваний и содержанием тяжелых металлов в почвах [1].

Для урбанизированных территорий в качестве загрязнителей характерны различные твердые отходы, газообразные выбросы в атмосферу и индустриальные пыли, а также хозяйственно-бытовые и промышленные стоки. Все загрязнители проявляются необычайно концентрированно на ограниченной по площади территории.

При оценке загрязнения почв города Вологды использовались данные, полученные в результате исследований программы «Экология города Вологды». Анализ поводился на предмет загрязнения почв ртутью, свинцом, кадмием, цинком, никелем, медью [2].

Содержание *свинца* в почвах города Вологды варьирует в пределах 3,2 – 96 мг/кг. Максимальное значение превышает областной фон (130 мг/кг) более чем в 10 раз, однако данная величина не превышает ОДК.

Содержание *меди* в почвах города Вологды находится в пределах 3,3 – 52 мг/кг. Максимальное значение более чем в 6 раз превышает областной фон (8,0 мг/кг), однако данная величина менее ОДК примерно в 3 раза.

Содержание *цинка* в почвах города Вологды варьирует в пределах 16,5 – 220 мг/кг. Максимальное значение более чем в 6 раз превышает областной фон (33 мг/кг), данная величина равна ОДК.

Содержание *кадмия* в почвах города Вологды варьирует в диапазоне 0,29 – 0,96 мг/кг. Максимальное значение превышает областной фон (0,47 мг/кг) примерно в 2 раза и менее ОДК (2,0) примерно в 2 раза.

Содержание *никеля* в почвах города Вологды варьирует в диапазоне 4,3 – 20,6 мг/кг, что в 1,5 раза превышает областной фон (13,0), однако данная величина меньше ОДК (80 мг/кг) в 4 раза.

Содержание *ртути* в почвах города Вологды варьирует в пределах < 0,01 – 0,06 мг/кг, за исключением единственной пробы отобранной в парке мира на правом берегу реки Вологды - 0,12 мг/кг. Однако и данная величина меньше ПДК примерно в 20 раз. Областной фон для ртути не определен.

Ареалы загрязнения в большинстве случаев сосредоточены в центральной части города, а также в местах интенсивного движения автотранспорта (ж/д переезд по направлению к деревне Ершово, конец улицы Доронинской, берег реки Вологды в районе улицы Лаврова).

Анализ значений суммарного показателя Zc, показывает, что максимальное загрязнение комплексом металлов наблюдается также в центральной части города, на берегу реки Вологды в районе улицы Лаврова, на перекрестке улиц Петина - Гончарная, в районе улицы Гиляровского.

Однако в целом показатель Zc не превышает значение 16-допустимого уровеня загрязнения почвы.

Таким образом, почвы города Вологды наиболее сильно загрязнены свинцом, медью, цинком.

Анализ местоположения ареалов максимального суммарного загрязнения и местоположения крупнейших источников выбросов показал, что прямой зависимости между ними не наблюдается.

В городе Вологде крупномасштабных геохимических исследований не проводилось, поэтому не представляется возможным определить негативное влияние тяжелых металлов в почвах на здоровье населения, а также выделить участки, на которых биота испытывает нагрузки в результате металлического «пресса», и где, в первую очередь, должны быть приняты меры по охране среды.

Тяжелые металлы, поступающие из антропогенных источников загрязнения, оказывают большое влияние на водные системы. Это находит отражение в увеличении их содержания в воде, донных отложениях и биоте, что приводит к снижению продуктивности водных экосистем и к потенциальной опасности для человека. Поступление сточных вод, содержащих тяжелые металлы, может привести к многочисленным физическим, химическим и биологическим изменениям в водных системах.

Уровень загрязненности водных объектов на территории Вологодской области в настоящее время остается довольно высоким по органическим веществам, аммонийному азоту, тяжелым металлам и специфическим загрязнениям, поступающим от промышленных предприятий. Основными источниками загрязнения водных объектов являются сточные воды промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных предприятий. Большой объем загрязнений в водные объекты поступает также в составе рассеянных (диффузных) стоков с территорий населенных пунктов, сельхозугодий, промплощадок предприятий. Например, в среднем течении реки Ягорба в районе дер. Мостовой основными источниками загрязнения являются предприятия агропромышленного комплекса (птицефабрики, животноводческие комплексы). В воде реки наблюдалось повышенное содержание биогенных элементов и органических веществ. На устьевом участке реки, ниже сброса сточных вод Череповецкого металлургического комбината, вода загрязнена азотосо-

держащими соединениями и металлами. Также наиболее загрязненными остаются по-прежнему реки Кошта, Пельшма, Вологда, Сухона.

В ходе работы при обработке результатов химических анализов поверхностных и подземных вод за 2004 год было определено среднее содержание элементов и их водная миграция.

Для оценки интенсивности водной миграции и концентрации элементов используется коэффициент водной миграции ($К_х$).

$$К_х = \frac{C_x \cdot 100}{M \cdot n_x}, \quad (1)$$

где C_x – содержание элемента в воде, г/дм^3; М – минерализация воды, г/дм^3;

n_x – процентное содержание элемента в водовмещающих породах [3].

Были рассмотрены геохимические особенности распределения в природных водах Mo, Mn и Fe.

Соединения молибдена попадают в поверхностные воды в результате выщелачивания их из экзогенных минералов, содержащих молибден. Молибден попадает в водоемы также со сточными водами обогатительных фабрик, предприятий цветной металлургии. Понижение концентраций соединений молибдена происходит в результате выпадения в осадок труднорастворимых соединений, процессов адсорбции минеральными взвесями и потребления растительными водными организмами.

В ходе работы было установлено, что наибольшее содержание Mo наблюдается в июле. В поверхностных водах оно составило 1,4 ПДК. Наибольшая интенсивность водной миграции Mo наблюдалась в июле, причем она выше, чем по Перельману.

Марганец в поверхностные воды поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов, содержащих марганец (пиролюзит, псиломелан, браунит, манганит, черная охра). Значительные количества марганца поступают в процессе разложения водных животных и растительных организмов, особенно сине-зеленых, диатомовых водорослей и высших водных растений. Соединения марганца выносятся в водоемы со сточными водами марганцевых обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и с шахтными водами. Концентрация марганца в поверхностных водах подвержена сезонным колебаниям. Факторами, определяющими изменения концентраций марганца, являются соотношение между поверхностным и подземным стоком, интенсивность потребления его при фотосинтезе, разложение фитопланктона, микроорганизмов и высшей водной растительности, а также процессы осаждения его на дно водных объектов.

В ходе работы было установлено, что наибольшее содержание Mn наблюдается в августе. В поверхностных водах оно составило 5,5 ПДК, а в подземных - 1,5 ПДК. Наибольшая интенсивность водной миграции Mn наблюдается в августе, причем интенсивность миграции выше, чем по Перельману.

Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии. Значительные количества железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, текстильной, металлообрабатывающей, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками.

Концентрация железа подвержена заметным сезонным колебаниям. Обычно в водоемах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации заметно увеличение концентрации железа в придонных слоях воды.

В ходе работы было установлено что, наибольшее содержание Fe наблюдается в июле. В поверхностных водах - 11,1 ПДК, а в подземных - 3,1 ПДК. Наибольшая интенсивность водной миграции Fe наблюдалась в июле – августе, причем интенсивность миграции Fe в этот период выше, чем по Перельману.

В результате обработки данных химического анализа природных вод удалось установить, что в природных водах юго-запада Вологодской области, особенно в поверхностных водах, в летний период наблюдается повышенное содержание молибдена, марганца и железа (выше ПДК), а также наибольшая интенсивность водной миграции.

Литература

1. Геохимия почв и здоровье детей Томска/Л.П. Рихванов, С.В. Нарзулаев, Е.Г. Язиков [и др.]. – Томск: Изд-во Томского университета, 1993. – 141 с.

2. Разработка и исполнение целевой комплексной программы «Экология г. Вологды». Приложения/ НИБ ВГПИ. – Вологда, 1991. – 42 с.

3. Перельман А. И. Геохимия: учебник для геологических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.: ил.

КОНТРОЛЬ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ И ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ

Е.А. Данилова
Научные руководители: ***Л.Г. Рувинова****, д-р биол. наук, профессор*
С. М. Чудновский*, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

От качества подаваемой питьевой воды напрямую зависит здоровье населения. Поэтому, чтобы не создавать угрозу жизни и здоровью населения, а также угрозу возникновения и распространения заболеваний, показатели качества питьевой воды должны соответствовать действующим нормативным документам, а ее подготовка на водоочистных сооружениях должна быть надежной.

Главными процессами подготовки питьевой воды является ее осветление и обесцвечивание, в основе которых лежат процессы коагуляции. Это сложные физико-химические процессы, эффективность которых зависит от большого количества факторов: показателей качества исходной воды, правильного выбора доз реагентов, местных климатических и других условий.

Большинство используемых технологических схем в Вологодской области, в которых используются процессы коагуляции, являются практически неуправляемыми. Это связано с тем, что технологический контроль осуществляется лабораторными методами, где большое влияние на качество и точность анализа оказывает «человеческий фактор». К основными недостатками стандартных методик определения показателей качества воды при коагуляции можно отнести:

– большие затраты времени на проведение пробного коагулирования;

– не соответствие реальности и результатов анализа проб воды, получаемых в лаборатории (не учитывается движение воды в сооружениях, температура, которая может меняться за короткие промежутки времени и т.д.);

– точность получаемых результатов не позволяет считать их достоверными (человеческий фактор).

Одним из вариантов решения проблемы является использование автоматических измерительных устройств непрерывного действия, таких как АКВ-2 (Анализатор качества воды) [1], которые обеспечат не только надежный и быстрый контроль показателей качества воды, но и дадут предпосылки для создания систем гибкого управления процессами водоподготовки.

АКВ-2 разработан в Вологодском государственном техническом университете. Это устройство позволит выполнять анализы одной и той же пробы воды в автоматическом режиме по 12 показателям: мутности, цветности, температуре, седиментационному анализу взвеси, электропроводности, вязкости,

электрофоретической подвижности, дзета – потенциалу частиц взвеси, химической потребности в кислороде, содержанию хлора, водородному показателю и редокс – потенциалу.

Для эффективного управления процессом коагуляции необходимо измерение дзета-потенциала и седиментационного анализа взвеси.

Седиментационный анализ - совокупность методов определения размеров частиц в дисперсных системах по установившейся скорости седиментации и параметрам седиментационно-диффузионного, или седиментационного равновесия. Основной задачей седиментационного анализа взвеси является определение количества твердых частиц и получение данных об их распределении в воде по размерам и фракциям.

Для контроля и управления процессами коагуляции нужны быстрые и точные способы седиментационного экспресс-анализа, позволяющие за относительно короткие промежутки времени получать седиментационные кривые взвеси. Характерный вид такой кривой приведен на рисунке, где на оси абсцисс откладывается время осаждения, а на оси ординат – масса выпавшей взвеси.

Рис.

Кривые осаждения взвеси характеризуют ее гранулометрический состав и поведение при отстаивании. Чем круче начальный участок кривой, тем больше крупность и неоднородность взвеси, и тем скорее она осаждается. При более пологой кривой взвесь более однородна и осаждается медленнее.

Используя методы седиментационного экспресс – анализа можно с высокой точностью определять мутность воды, контролировать эффективность процесса хлопьеобразования при коагуляции воды, управлять процессами осаждения взвеси, промывки фильтрующих загрузок и др.

В АКВ-2 предусмотрено проведение седиментационного анализа двумя способами: электровесовым и оптическим.

Оптический способ – ускоренный, его продолжительность может занимать несколько секунд, а «весовой», который, в зависимости от требуемой точности измерений, может осуществляться в течение примерно двадцати минут.

При электровесовом способе [2] в двух цилиндрах происходит оседание частиц взвеси на чашечки весов, в одном при наличии электрического поля, а в другом при его отсутствии. В цилиндре при помощи электродов создается постоянное электрическое поле, одновременно с включением электродов включается таймер. Весы в обоих цилиндрах измеряют массу оседающих на соответствующие чашечки частиц. Происходит регистрация изменение массы во времени и по заранее заданному алгоритму строятся две седиментационные кривые. Точность анализа напрямую зависит от точности весов. Чем выше точность весов, тем точнее результаты седиментационного анализа.

Способ, называемый оптическим, заключается в просвечивании пробы воды источником света и в фиксации фотоприемниками силы света, прошедшего через слой воды и отраженного частицами взвеси.

Устройство для осуществления этого способа содержит измерительную кювету, источник света, фотоприемник, измеряющий световой поток, прошедший анализируемую среду, фотоприемники, измеряющие рассеянный частицами свет в разных слоях исследуемой среды, и измерительный блок, воспринимающий электрические сигналы от фотоприемников и преобразующий эти сигналы в соответствующие величины концентрации твердых частиц.

При оптическом способе [3] измерительная кювета заполняется исследуемой водой. Когда прекращается наполнение кюветы, включается счетчик времени и источник света.

Через определенный промежуток времени одновременно включаются все фотоприемники. В процессе измерения они вырабатывают на выходе электрический сигнал, который фиксируется измерительным блоком.

Сила тока, вырабатываемая фотоприемником, расположенным на дне кюветы, (I_3), пропорциональна концентрации твердых взвешенных частиц в жидкой среде (μ). Величина этой концентрации определяется на основании предварительной тарировки (определение зависимости $\mu=f(I_3)$).

Сила тока, вырабатываемая фотоприемниками, расположенными на боковых стенках кюветы, пропорциональна концентрациям взвешенных частиц, находящихся в момент измерения в каждом слое. Величины концентраций взвеси для соответствующих слоев μ_1, μ_2, μ_3 также определяются на основании предварительной тарировки при получении зависимостей соответственно: $\mu_1= f(I_4)$; $\mu_2 = f(I_5)$; $\mu_3= f(I_6)$.

Дзета-потенциал взвеси в воде определяет степень и характер взаимодействия между частицами дисперсной системы. Измерение этого параметра обеспечивает более глубокое понимание и контроль процесса диспергирова-

ния на уровне электростатических взаимодействий. Измерение дзета-потенциала чрезвычайно важно при контроле и управлении процессами коагуляции и фильтрования воды. По величине дзета – потенциала можно с наибольшей точностью определять дозы реагентов для коагуляции воды.

Контроль данных показателей очень важен, так как он влияет на расход растворов (суспензий) реагентов или их весовой дозы, так как избыток или недостаток вносимого в воду реагента в значительной степени отражается на эффективности технологического процесса, вплоть до его полного нарушения.

Таким образом, использование АКВ-2 для контроля седиментационных и электрокинетических показателей качества воды обеспечит надежность процессов очистки воды на стадии осветления и обесцвечивания, а также повысит качество питьевой воды, подаваемой населению.

Литература

1. Пат. 2415399 Российская Федерация: C1 G 01 N 15/04, G 01 N 27/26 Устройство для анализа воды / Чудновский С. М., Плеханов А. А., Виноградова А. В., Данилова Е. А., Суконщиков А. А. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет». - № 2010107401/28; заявл. 27.02.10 ; опубл. 27.03.11, Бюл. № 9. – 9 с.

2. А.с. 1363020 СССР, МКИ G 01 №15/04. Способ седиментационного анализа дисперсных систем / Чудновский С.М (СССР). - Опубл. 30.12.87. Бюл.№8. – 4 с.;

3. А.с. 1226174. СССР. МКИ G 01 №15/04. Способ седиментационного анализа частиц в прозрачной среде / Чудновский С.М., Лукьянов В.И., Львов Ю.В. (СССР) - Опубл. 23.04.86. Бюл. №15. - 3с., ил.

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

И.А. Иванов

Научный руководитель ***Л.Г. Рувинова****, д-р биол. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Целью данной работы является оценка негативного влияния выбросов автотранспорта на окружающую среду г. Вологды.

Исходя из цели были поставлены задачи:

1. Дать характеристику различным видам автомобильного топлива.

2. Проанализировать состав, объем и динамику выбросов от автотранспорта в г. Вологде.

3. Изучить влияние на здоровье людей выбросов автотранспорта.

Объектом исследования является областной центр Вологодской области – г. Вологда. Предмет исследования – оценка выбросов автотранспорта.

Актуальность данной темы состоит в том, что современная цивилизация не может существовать без транспортных средств. Самый распространенный вид транспорта на планете – автомобильный. Из-за него ежегодно гибнут тысячи, и получают ранения миллионы людей. Он также является причиной расшатывания здоровья миллиардов людей. Автотранспорт выбрасывает в воздушную среду более 200 компонентов, среди которых присутствует канцерогенная группа углеводородов (бенз[а]пирен и бензоантроцен). Бензапирен, связываясь с молекулами ДНК может вызывать уродства у новорожденных.

В работе была применена «Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов» [1].

В г. Вологде наблюдения за состоянием атмосферы, в том числе и мониторинг выбросов автомобильного транспорта, проводятся на двух стационарных постах государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды, на ул. Горького 114 и на ул. Чехова 9 [2].

В ходе работы были проведены натурные исследования структуры и интенсивности автотранспортных потоков на перекрестках города и расчет выбросов от автотранспорта на основных магистралях г. Вологды в соответствии с «Методикой определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов», утвержденной приказом Госкомэкологии России № 66 от 16.02.1999 г.

Натурные исследования проведены на магистралях: ул. Ленинградская, ул. Конева, ул. Прокатова, ул. Чернышевского, Пошехонское шоссе. Для выявления максимальной транспортной нагрузки наблюдения выполнялись в утренний и вечерний часы «пик»: с 8 до 10 час. и с 16 до 18 час.

Были установлены экологически опасные виды топлива и определена техногенная нагрузка от автотранспорта в городской черте [1].

По данным наблюдений наибольшая интенсивность транспорта определена на ул. Пошехонское шоссе – около 3 тыс. машин в час, наименьшая – на ул. Прокатова – около 1,5 тыс. машин в час.

Среди всех групп автомобилей преобладающим большинством числа транспортных средств за расчетный период времени обладает группа легковых автомобилей (78,5% от общего числа транспортных средств), из них, в среднем по всем исследуемым перекресткам, около 70% автомобили иностранных производителей. Наименьшее число транспортных средств приходится на группу тяжелых грузовых автомобилей, причем на всех исследуемых участках число тяжелых грузовых автомобилей утром почти в 2 раза выше, чем вечером.

Таким образом, опираясь на материал исследований, можно сделать вывод, что основную нагрузку на экосистемы г. Вологды составляют выхлопы от

легковых автомобилей иностранного производства. Для большинства этих автомобилей в качестве топлива используется бензин марки АИ-95. Этот вид топлива гораздо экологичнее бензинов АИ-80 и АИ-92, используемых преимущественно в автомобилях отечественного производства (в основном легковые автомобили, некоторые отечественные грузовые автомобили с небольшой грузоподъемностью). Сейчас доля автомобилей на этих марках бензина снижается [3].

Выхлопы этих марок бензинов токсичнее, чем выхлопы АИ-95. Но, тем не менее, бензин АИ-95 наносит наибольший вред экосистемам города, т.к. он очень широко распространен и основное негативное действие достигается благодаря эффекту «суммации».

По результатам расчетов наибольшие превышения максимальных разовых ПДК по оксиду углерода, диоксиду азота, бенз(а)пирену, диоксиду серы и саже наблюдаются на Пошехонском шоссе (у Кафедрального собора). Максимальная расчетная концентрация формальдегида наблюдается на ул. Ленинградской (м-н «Экспресс»).

Полученные результаты подтверждают преобладающее влияние выбросов от автотранспорта на качество атмосферного воздуха в городе.

Проведен анализ пробок на некоторых перекрестках, (например Предтеченская-Зосимовская). До 2009 года это был очень проблемный перекресток (огромное количество ДТП, огромные пробки), но стоило внести изменения в программу управления светофорами, и пробок стало в разы меньше. Перегружены перекрестки и у ж/д вокзала (Пошехонское шоссе, ул. Мира, Предтеченская, а также Путейская и Галкинская). Если установить на этом участке кольцевую развязку, как недавно это было сделано на Ленинградском шоссе, то значительно увеличится пропускная способность данного участка, уменьшится количество пробок в часы пик, а также будет возможно автомобильное движение с улицы Мира непосредственно к ж/д вокзалу.

В Вологде уже несколько лет планируется внедрение автоматизированной системы управления дорожным движением «Зеленая волна». Весь комплекс мероприятий обойдется городской казне в 600 миллионов рублей.

«Зеленая волна» — это интеллектуальная система светофорного регулирования, которая обеспечивает бесперебойное движение транспорта на городских магистралях и в идеале исключает пробки.

Самая простая схема «Зеленой волны» такова: между светофорами на одной улице устанавливается связь, и зеленый свет загорается последовательно, через некоторый промежуток времени. Таким образом, автомобиль, если он движется с установленной скоростью, все время попадает на «зеленый свет» и движется без остановок.

Реализуемая в Вологде система гораздо сложнее, она учитывает и время года, и время дня, и день недели, и индивидуальные особенности той или

иной городской магистрали. Основные ее параметры заданы исходя из современного положения дел после серьезного изучения транспортных потоков.

Светофоры будут заменены на новые, оснащенные видеокамерами и системой распознавания номеров. Все они будут связаны между собой и с диспетчерским центром.

«Картинки» со светофоров будут попадать на экраны этого центра, и его операторы получат возможность менять параметры системы исходя из ситуации.

Для реализации этой программы необходимо провести широкий комплекс мероприятий, среди них прокладка оптико-волоконной сети, оборудование диспетчерского центра, внедрение системы информационной защиты сетей.

Однако все равно останутся проблемные участки: Октябрьский мост с ул. Ленинградской, проспект Победы. Необходима завязка данной системы на улицы-дублеры [4].

Наибольшее влияние выхлопные газы оказывают на водителей и пассажиров автотранспорта, особенно тех, кому подолгу приходится стоять в пробках. Анализ воздуха в кабинах транспортных средств показал, что концентрация оксида углерода (особенно в кабинах грузовых автомобилей) может превышать предельно допустимые нормы.

Среди пешеходов, больше всех страдают дети, так как наибольшая концентрация вредных веществ накапливается в приземном воздушном слое, как раз на уровне дыхательных путей ребенка.

Согласно исследованию ученых Гарвардского университета, выхлопные газы автомобилей снижают интеллект и ухудшают память у детей. В исследовании принимали участие 202 ребенка в возрасте 8 - 11 лет. Результаты интеллектуальных тестов оказались ниже у тех детей, которые дышат загрязненным от автомобильных выхлопов воздухом. Исследование показывает, что из-за воздуха, загрязненного выхлопными газами, коэффициент интеллекта IQ в среднем падает на 3,4 пункта. Дышащие загрязненным воздухом дети также хуже прошли тесты по словарному запасу, памяти и эрудиции.

Для многих крупных городов характерно превышение концентрации оксида углерода над предельно допустимой в 20-30 раз, с чем врачи связывают высокую смертность от инфаркта миокарда [5].

Для снижения вреда от выхлопов автотранспорта можно сделать следующие рекомендации:

- оптимизировать движение городского транспорта;
- разрабатывать альтернативные энергоисточники;
- совершенствовать системы дожига и очистки органического топлива;
- создавать (модифицировать) двигатели, использующие альтернативные топлива;
- озеленять города (защита от шума и экран для выхлопных газов);
- разрабатывать экономические инициативы по управлению автомобильным парком и движением.

Литература

1. Методика расчетов концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ автотранспортом на городских магистралях: утв. Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 15.03.96. – М.: ЦБНТИ речного транспорта, 1996. – 15 с.

2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2011 году / Правительство Вологодской области, департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области - Вологда, 2012. -248 с.

3. Об утверждении специального технического регламента "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ": постановление правительства РФ от 12 октября 2005 г. N 609// Консультант Плюс. Версия «Проф».

4. Официальный сайт администрации города Вологды [электронный ресурс] – Режим доступа: http://vologda-portal.ru/

5. Марков, В.А. Токсичность отработавших газов дизелей / В.А. Марков, Р.М. Баширов. – М.: Транспорт, 2002. – 376 с.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ИЗ ВОДЫ ИОНОВ БАРИЯ

Е.А. Королева

Научные руководители ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент,*
Л.М. Воропай*, канд. хим. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет
г.Вологда

Барий в природной воде обычно находится в небольших количествах, однако, и такие количества отрицательно влияют на здоровье человека. Повышенные концентрации бария в воде приводят к негативным последствиям, заключающимся в повышении кровяного давления, проявлении мышечной слабости и болями в брюшной области. Кроме того, гидроксид бария оказывает сильное раздражающее действие на воздушно-дыхательные пути, резкое прижигающее действие на кожу и роговицу глаза. Хлорид бария повышает сосудистую проницаемость, приводящую к кровоизлияниям и отекам, приводит к изменениям в крови (анемия, лейкопения, лимфоцитоз). Фторид бария оказывает действие на нервную систему и мускулатуру. Негативную роль играют и анионы, взаимодействующие с катионами бария в соединениях. Все эти соединения относят ко 2 классу опасности [1].

Барий — элемент главной подгруппы второй группы, шестого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева. Он имеет атомный номер 56, атомную массу 137 [2].

В природе барий встречается только в виде соединений. Наиболее распространенными бариевыми соединениями являются сульфат бария (барит) и карбонат бария (витерит). Частично барий попадает в окружающую среду в результате деятельности человека, однако, для воды основной путь загрязнения барием - естественный, из природных источников. Наибольшую опасность в воде представляют высокорастворимые токсичные соли бария, которые имеют тенденцию переходить в менее токсичные и слаборастворимые сульфаты и карбонаты. Водорастворимые соли бария считаются опасными для человека. К ним относятся сульфиды, гидрокарбонаты, нитраты, хлориды. Сульфаты и фосфаты бария практически безопасны, так как они нерастворимы в воде [2].

По рекомендациям Всемирной организацией здравоохранения предельно допустимая концентрация бария в питьевой воде должна быть не более 0,7 мг/л, а в соответствии с российскими стандартами эта концентрация не должна превышать 0,1 мг/л.

Подземные воды с повышенным содержанием бария встречаются довольно часто. Так, например, только на территории Вологодской области в настоящее время имеется около 600 скважин, в которых содержание бария превышает нормативные требования. Таким образом, не менее 60 тыс. человек подвержены указанным выше заболеваниям. Традиционные технологические схемы и установки для очистки вод от тяжелых металлов катионы бария не удаляют или удаляют частично, что является существенным недостатком, поэтому существует необходимость разработки дешевой и надежной технологии удаления ионов бария из воды. Это актуальная задача, которая в настоящее время решается в лабораториях кафедр химии и КИОПР Вологодского государственного технического университета.

Ранее в этих лабораториях был разработан новый способ удаления железа из воды при помощи постоянного электрического поля. Одной из характерных особенностей этого способа является то, что под действием электрического тока в околокатодном пространстве образуются гидратированные формы железа, которые, как известно, обладают адсорбционной способностью к соединениям бария. Мы в своих исследованиях решили использовать именно эту особенность для разработки новой технологии удаления из воды ионов бария. Таким образом, целью данной работы является разработка нового эффективного способа удаления бария под действием электрического поля и явления адсорбции.

Если обрабатывать воду, в состав которой одновременно входят растворимые формы железа и бария, с помощью постоянного электрического поля, то на первом этапе такой обработки образуется осадок из соединений железа,

который при дальнейшем воздействии электрического поля поглощает своей поверхностью катионы бария.

Известно, что катионы бария обладают подвижностью в постоянном электрическом поле. Их предельная подвижность в водном растворе при 25 градусах Цельсия равна 63,63 $Ом^{-1}*см^{2}*г\text{-}экв^{-1}$. Следовательно, скорость движения ионов бария в воде при градиенте потенциала, например, 2 В/см равна $5,3*10^{-5}$ $м*с^{-1}$. Значение стандартного электродного потенциала Ва составляет -2,9 эВ. Следовательно, катионы бария не могут восстанавливаться на катоде, а группируются в околокатодном пространстве. В большинстве случаев наличию бария в подземных водах сопутствует наличие в них железа. Экспериментальным путем установлено, что при контакте растворимых форм бария с гидратируемыми формами железа в постоянном электрическом поле происходит адсорбция бария с образованием нерастворимого комплекса железа с барием.

Нами был проведен цикл лабораторных экспериментальных исследований. Схема алгоритма эксперимента представлена на рисунке.

Рис. Алгоритм эксперимента

В исходную воду помещались инертные электроды, на которые подавалась постоянная разность потенциалов. Вода обрабатывалась электрическим полем в течении 5, 10, 15 и более минут, после чего определялась конечная концентрация содержания бария в водном растворе с помощью фотоколометрического метода анализа. При этом, визуально наблюдалось образование гидратированных форм железа в виде бурого осадка.

После фильтрования бурого осадка мы исследовали фильтрат на содержание железа и бария в воде. Результаты опытов свидетельствуют о том, что под действием электрического поля происходит удаление железа с одновременным удалением катионов бария. Для подтверждения образования комплексов железа-бария осадок растворяется в растворе соляной кислоты и анализируется на содержание железа и бария известными методами анализа. Предварительные анализы показали, что в состав околокатодного осадка входят в связанном состоянии соединения железа и бария.

Таким образом, предлагаемый нами способ очистки воды обеспечивает одновременное удаление растворимых форм бария совместно с удалением соединений железа.

Литература

1. Фигуровский Н.А. Открытие химических элементов и происхождение их названий. – М., 1970.

2. Химическая энциклопедия. В 5-ти томах. – Т. 1-3. – М.: Изд-во "Советская энциклопедия", 1988-1992.

АВТОМОБИЛИ И АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Кротова

Научный руководитель ***Т.К. Карандашева****, канд. геогр. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Автомобильный транспорт – один из основных источников загрязнения окружающей среды. По оценкам разных авторов, вклад автомобильного транспорта в загрязнение атмосферы составляет от 40 до 90%. Основными стационарными источниками загрязнения окружающей природной среды являются предприятия территории. В работе [1] проведено районирование территории Вологодской области по динамике и масштабу антропогенного загрязнения от стационарных источников.

Цель настоящей работы – оценка вклада автомобильного транспорта в антропогенное загрязнение территории Вологодской области.

В работе [1] в качестве показателей антропогенного загрязнения используются показатели выбросов, сбросов и отходов предприятий территории, ко-

торые комплексно характеризуют антропогенное загрязнение окружающей природной среды: атмосферы, гидросферы и педосферы. Оценка динамики и масштаба выбросов, сбросов и отходов предприятий позволила оценить динамику и масштаб антропогенного загрязнения территории по всем трем сферам.

В настоящей работе в качестве показателя загрязнения атмосферы автомобильным транспортом предлагается использовать количество автомобилей, зарегистрированных на данной территории.

Исходными данными для настоящего исследования послужили данные отчетов Федеральной службы государственной статистики по Вологодской области [2]. По состоянию на конец 2011 г. в Вологодской области зарегистрировано 348420 автомобилей, причем половина из них в городах Череповце и Вологде (26,4% и 24,3% соответственно). Для оценки вклада автомобильного транспорта в загрязнение атмосферы были приняты следующие градации для оценки доли автомобилей района в общем числе автомобилей, зарегистрированных в Вологодской области: >20%, 2,5 – 5 % и < 2,5 % (соответственно значительный вклад, заметный и незначительный).

Таким образом, вклад автомобильного транспорта в загрязнение атмосферы городов Череповца и Вологды был определен как значительный. В пяти районах области (Великоустюгском, Вологодском, Сокольском, Череповецком и Грязовецком) вклад автомобильного транспорта в загрязнение атмосферы признан заметным, в остальных 21 районе – незначительным.

Затем проведен совместный анализ оценки вклада автомобильного транспорта и оценки загрязнения атмосферы от стационарных источников (рис. 1).

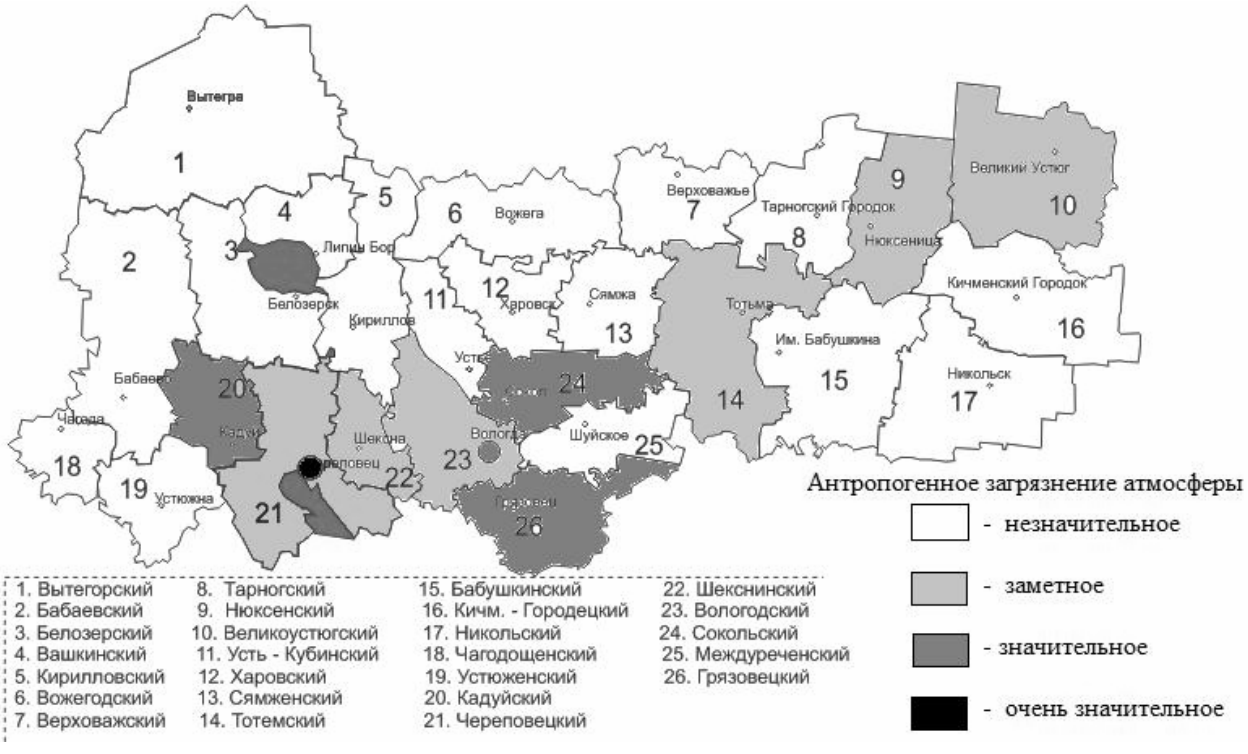


Рис. 1. Загрязнение атмосферы Вологодской области от стационарных и нестационарных источников

Наибольшее антропогенное загрязнение атмосферы от стационарных и нестационарных источников отмечается в городах Череповце, Вологде и в Грязовецком, Кадуйском и Сокольском районах. Заметно загрязнение атмосферы в Великоустюгском, Вологодском, Нюксенском, Тотемском, Череповецком и Шекснинском районах. На остальной территории Вологодской области антропогенное загрязнение атмосферы сравнительно невелико.

В результате совместного анализа оценки загрязнения атмосферы (от стационарных и нестационарных источников), гидросферы и педосферы (от стационарных источников) проведено районирование территории Вологодской области по масштабам антропогенного загрязнения.

Установлено, что наибольшее антропогенное загрязнение окружающей среды наблюдается в городах Череповце, Вологде и Сокольском районе: здесь антропогенное загрязнение значительно во всех трех сферах. Заметное антропогенное загрязнение двух сфер наблюдается на территории Грязовецкого и Череповецкого (атмосферы и педосферы), Кадуйского и Шекснинского (атмосферы и гидросферы) районов. В отдельных районах наблюдается заметное загрязнение одной сферы: атмосферы – в Великоустюгском, Вологодском, Нюксенском и Тотемском районах; педосферы – в Вытегорском. На остальной территории Вологодской области антропогенное загрязнение во всех трех сферах незначительно.

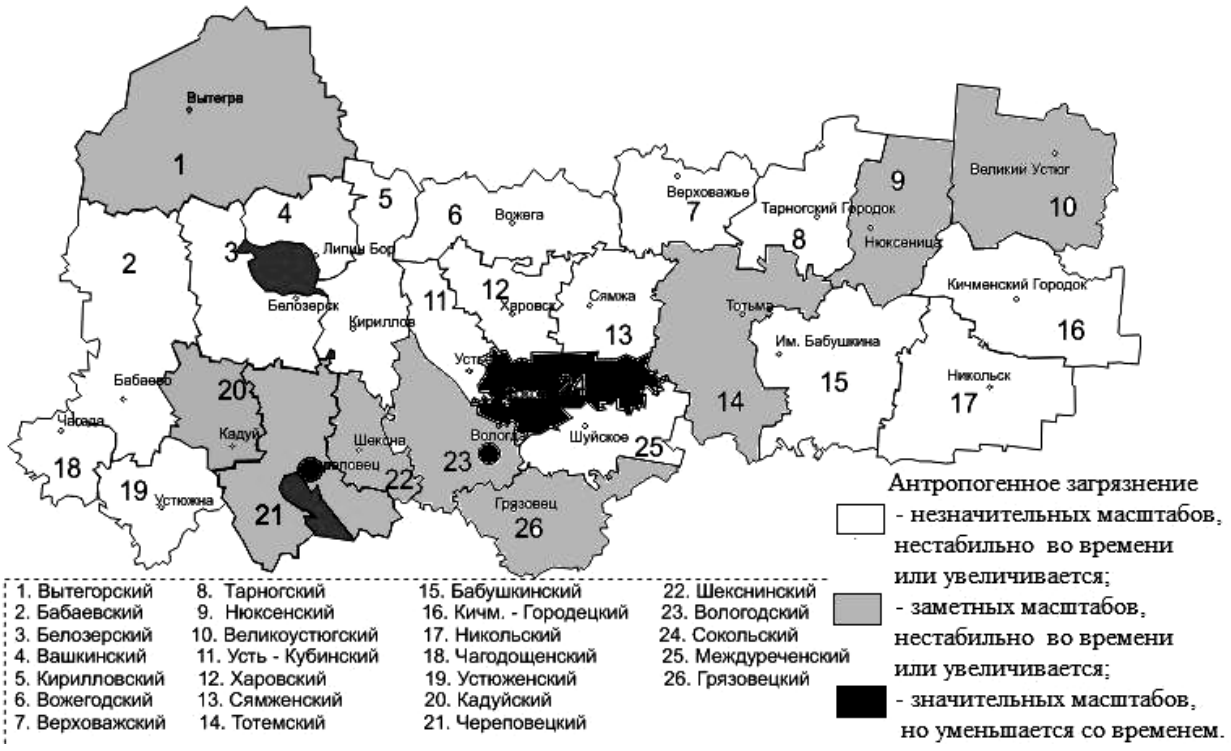


Рис. 2. Районирование территории Вологодской области по масштабу и динамике антропогенного загрязнения от стационарных и нестационарных источников

В результате совместного анализа масштаба загрязнения окружающей среды на территории Вологодской области (от стационарных и нестационарных источников) и динамики загрязнения (от стационарных источников) проведено районирование территории Вологодской области по масштабам и динамике антропогенного загрязнения (рис. 2).

В результате установлено:

1. В городах Череповце, Вологде и в Сокольском районе антропогенное загрязнение значительно по масштабам, но уменьшается со временем.

2. На северо-западе Вологодской области (Вытегорский район), в южной части области (Кадуйский, Череповецкий, Шекснинский, Вологодский и Грязовецкий районы), в некоторых восточных районах (Великоустюгский, Тотемский, Нюксенский) антропогенное загрязнение заметно по масштабу, при этом нестабильно во времени или увеличивается.

3. На большей части территории Вологодской области антропогенное загрязнение незначительно по масштабу, но при этом нестабильно во времени или увеличивается.

Таким образом, проведено районирование территории Вологодской области по динамике и масштабу антропогенного загрязнения с учетом вклада автомобильного транспорта. Выявлены территории, на которых антропогенное загрязнение значительных масштабов, но уменьшается со временем (г. Череповец, г. Вологда и Сокольский район); территории, на которых антропогенное загрязнение сравнительно больших масштабов, при этом нестабильно во времени или растет (9 районов); и территории, на которых антропогенное загрязнение - незначительных масштабов, но нестабильно во времени или растет (14 районов Вологодской области).

Литература

1. Карандашева, Т.К. Районирование территории Вологодской области по динамике и уровню антропогенного загрязнения / Т.К. Карандашева, Е.И. Федченко // Проблемы устойчивого развития регионов республики Беларусь и сопредельных стран: сборник научных статей второй Международной научно-практической конференции. – Могилев: МГУ, 2012. – С. 50-53

2. Автомобильный транспорт Вологодской области в 2011 году. Статистический бюллетень. – Вологда: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по ВО, 2012. – 56 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ БОРА ИЗ ВОДЫ

Е.В. Кудрявцева, О.И. Ежова
Научный руководитель ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Качественная питьевая вода является одним из важнейших факторов национальной безопасности, необходимым элементом жизнеобеспечения людей, их здоровья и санитарно-эпидемиологического благополучия.

В настоящее время роль подземных вод для питьевого водоснабжения возрастает из-за высокой загрязненности поверхностных источников. Однако во многих случаях подземные воды характеризуются значительной жесткостью, высокой минерализацией и повышенным содержанием бора.

Чтобы не создавать угрозу жизни и здоровью населения, а также угрозу возникновения и распространения заболеваний, показатели качества питьевой воды, в частности, содержание бора, должны соответствовать действующим нормативным требованиям, т.е. процесс удаления ионов бора должен быть эффективным и надежным.

На основе исследований, проведенных Всемирной организацией здравоохранения, для бора была определена величина переносимого суточного потребления, равная 88 мкг/кг массы тела, и уже на ее основе выработана рекомендация по уровню содержания бора в воде – 0,3 мг/л [1].

Допустимое содержание бора в питьевой воде согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» – 0,5 мг/л.

Существуют традиционные способы удаления из воды бора: сорбция ионитами, в том числе селективными по бору; осаждение в виде труднорастворимых соединений; мембранные технологии; обратный осмос; электродиализ. Все они являются дорогостоящими и громоздкими. Строить отдельные очистные сооружения для одной скважины дорого и нецелесообразно, а строительство единой водоочистной станции для нескольких скважин, расположенных на значительных расстояниях друг от друга также дорого, так как при этом требуется строительство подводящих трубопроводов. Кроме того, все перечисленные выше способы очистки воды от бора обладают существенным недостатком: вместе с бором из воды удаляются полезные ингредиенты, наличие которых в питьевой воде необходимо. Именно поэтому водоочистные сооружения для удаления бора встречаются редко.

В Вологодском государственном техническом университете в рамках программы "Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса" (У.М.Н.И.К) разработана новая технологию удаления бора из воды.

Целью разработки данной технологии является значительное удешевление процесса удаления бора и создание условий и возможностей для производства малогабаритных установок, которые можно будет размещать непосредственно внутри павильонов для каждой скважины.

В процессе работы нами проводились аналитические исследования существующих методов удаления ионов бора при подготовке питьевой воды, патентные исследования, а также разрабатывались основы нового способа удаления из воды ионов бора.

Объектом представленного в данной статье исследования является установка для очистки воды от ионов бора.

Мы выполнили тестирование и определение оптимальных размеров установки для удаления ионов бора. В нашем случае под тестированием понимается определение соответствия предлагаемой разработки поставленной цели. Планируемыми преимуществами новой технологии и установки для ее реализации являются: значительное уменьшение габаритов с таким расчетом, чтобы эти установки можно было располагать непосредственно в павильонах водозаборных скважин; непрерывный автоматический контроль содержания бора в воде для обеспечения надежной работы установки; минимизация строительной стоимости и эксплуатационных затрат за счет полной автоматизации и малых расходов электроэнергии.

Далее было проведено тестирование и определение оптимальных режимов удаления ионов бора.

Нами был произведен поиск и изучение характерных особенностей ионов бора. Такими особенностями, которые можно в перспективе использовать для решения поставленной задачи, являются их «поведенческие» свойства в постоянном электрическом поле: они обладают подвижностью, причем даже в низковольтном электрическом поле их можно передвигать, изменять их скорость и направление, а, следовательно, задерживать и удалять из воды [2].

Второй важной особенностью ионов бора является то, что они, подойдя к противоположно заряженному электроду, не осаждаются на нем, а только группируется возле него.

Использование этих особенностей позволяет обеспечить достижения поставленной в данной НИОКР цели.

Преимуществами предлагаемой технологии является то, что по данным контроля концентраций других подвижных в электрическом поле ионов в процессе очистки воды от бора, не происходит заметного изменения ионного состава воды по другим показателям. Это объясняется тем, что подвижность ионов бора значительно больше подвижности других ионов. Следует обратить внимание на то, что в предлагаемой технологии не предусматривается использование каких-либо реагентов.

В целом, при внедрении данной технологии будет гарантироваться качество питьевой воды по содержанию бора в соответствии с требованиями нормативных документов на выходе из очистных сооружений.

На основании результатов, полученных при выполнении данной работы, была разработана новая технология удаления из подземных вод бора и составлена схема типовой конструкции установки реализующей эту технологию.

Предварительные испытания лабораторной модели установки показали, что на эффективность процесса удаления ионов бора из очищаемой воды значительное влияние оказывают следующие параметры:

1) угол наклона вверх корпуса (камеры очистки воды от бора);

2) угол наклона трубы сброса загрязненной воды в сток по отношению к расположенным горизонтально патрубку и трубе отвода очищенной воды;

3) соотношения скоростей движения воды и площадей поперечного сечения в трубах отвода очищенной воды и сброса загрязненной воды в сток.

Для определения оптимального наклона вверх пятиугольного корпуса были рассмотрены пять вариантов и выбран самый эффективный из них.

Исследования проводились для проб с разным содержанием ионов бора в исходной воде при оптимальных режимах очистки, при разных углах наклона трубы сброса загрязненной воды по отношению к трубе отвода очищенной воды.

Для определения примерных габаритов установки, предназначенной для очистки воды от ионов бора, нами выведена формула, с помощью которой можно определять длины параллельно расположенных электродов в наклоненном вверх корпусе, имеющем в поперечном сечении пятиугольную форму.

Для удаления всех ионов бора из очищаемой воды длина параллельно расположенных электродов в наклоненном вверх корпусе должна быть такой, чтобы за время движения очищаемой воды вдоль этого корпуса все ионы бора смогли подойти к катоду, расположенному в треугольной части корпуса, и сгруппироваться возле него. Длина параллельно расположенных электродов зависит от следующих параметров:

- скорости движения воды в корпусе, которая должна быть ламинарной;
- составляющей скорости движения ионов бора, направленной перпендикулярно от анода к катоду;
- расстояния по перпендикуляру между электродами.

Примерные расчеты для различных производительностей и других условий показали, что при оптимальных соотношениях между величиной расстояния по перпендикуляру между электродами и длиной параллельно расположенных электродов, эта длина может находиться в пределах от 1 до 1,5 метров в зависимости от требуемого общего расхода воды и принятого количества корпусов.

Таким образом, реализация предлагаемого способа очистки воды от ионов бора возможна на компактных (малогабаритных) установках.

Для определения оптимальных соотношений скоростей движения воды и площадей поперечного сечения в трубах отвода очищенной воды и сброса загрязненной воды в сток нами проведен цикл лабораторных испытаний, заключающихся в следующем:

1. Исследовалась возможность обеспечения повышенной скорости движения воды в трубе сброса загрязненной воды в сток, по сравнению со скоростью в трубе отвода очищенной воды, которая принималась в пределах от 0,8 м/сек до 1,5 м/сек. Для этого использовалось сужающее устройство (эжектор). Эти исследования не дали положительного результата.

2. Исследовалась эффективность удаления загрязненной ионами бора воды при различных соотношениях площадей поперечного сечения в трубах отвода очищенной воды и сброса загрязненной воды в сток. При этом площади поперечного сечения трубы сброса загрязненной воды в сток принимались равными 5%, 10%, 15%, 20% и 30% по отношению к площади поперечного сечения в трубе отвода очищенной воды.

Результаты показали, что при соотношениях площадей от 30% до 10% эффективность очистки примерно одинакова, а при соотношении менее 10% эффективность значительно хуже. Таким образом, наиболее целесообразным с экономической точки зрения является соотношение 10%.

Установки очистки воды от ионов бора планируется использовать для водоснабжения объектов с любым водопотреблением из подземных источников.

Применение предлагаемой установки позволит надежно обеспечивать в автоматическом режиме потребителей питьевой водой, осуществляя должный контроль за качеством очищенной воды. При этом будут значительно уменьшены строительные и эксплуатационные затраты, а, следовательно, и себестоимость питьевой воды.

В настоящее время проводятся дополнительные исследования: создание макета установки с автоматической системой управления, экономическое обоснование необходимости внедрения новой технологии; разработка рекомендаций для составления технологических регламентов при использовании установки очистки воды от ионов бора.

Литература

1. Столица-Медикл / Медицинские справочники / Бор [электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.smed.ru/guides/202/#Sutochnaya_ potrebnost_ v_bore

2. Чудновский, С.М. Возможности модернизации систем водоподготовки с использованием нанотехнологий / С.М. Чудновский, С.В. Шмырин // Материалы девятой всероссийская научно-технической конференции «Вузовская наука – региону», 25 февраля 2010 г. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – Т. 1. – С. 332 – 334.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

С.В. Лаптев
Научные руководители ***С.М, Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Г.А Тихановская*, канд. биол. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Современные электрохимические методы очистки природных вод относятся к физико-химическим процессам. Они отличаются многостадийностью и относительной сложностью происходящих в системах водоочистки физико-химических явлений. Механизм и скорость протекания отдельных стадий очистки зависят от многих факторов, определение влияния которых и правильный учет необходимы для оптимального конструирования электролизеров и рационального управления процессами.

Основываясь на законах физической химии, электрохимии и химических технологий, электрохимические методы очистки воды можно разделить на три основные группы: методы превращения, методы разделения и комбинированные методы (рис. 1).

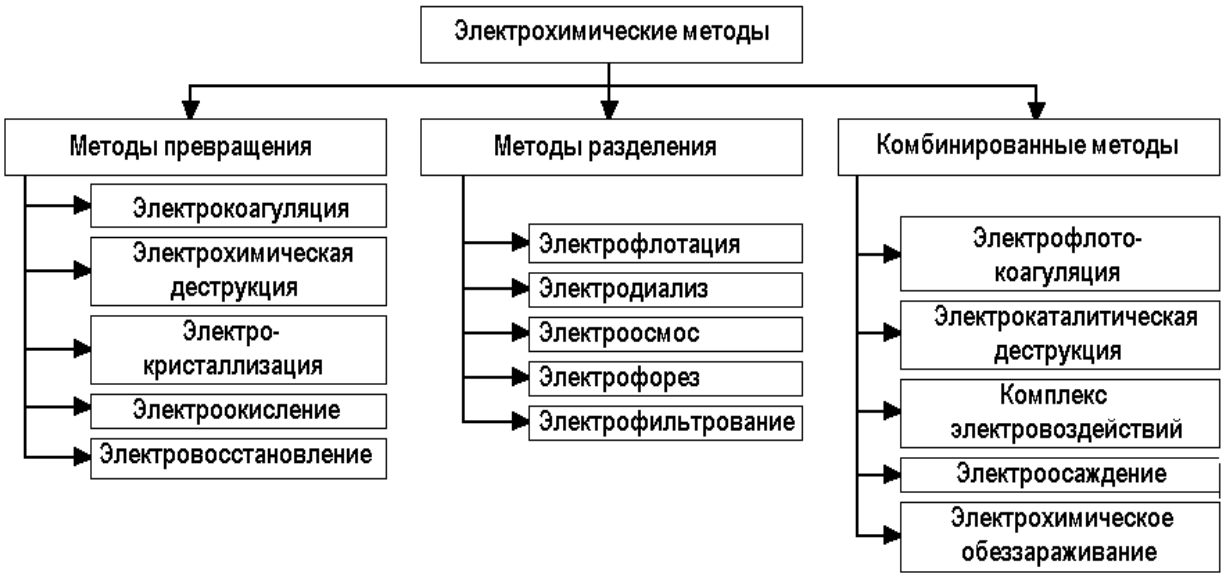


Рис. 1. Классификация электрохимических методов очистки воды

В этой классификации особое внимание по нашему мнению следует уделить процессу электрофореза. Электрофорез относится к электрокинетическим явлениям и заключается в перемещении частиц дисперсной фазы (коллоидных или белковых растворов) в жидкой или газообразной среде под действием внешнего электрического поля.

Для природных вод электрофорез используют преимущественно для измерения дзета – потенциала взвешенных в воде частиц, в том числе и кол-

лоидных. Дзета – потенциал – это основной показатель, характеризующий протекание процесса коагуляции. С помощью этого показателя определяют и регулируют оптимальную дозу коагулянта, так как величина дзета–потенциала частиц взвеси характеризует способность воды к коагуляции, и во многих случаях является основным критерием полноты протекания процесса.

В Вологодском государственном техническом университете в лабораториях кафедр химии и КИиОПР нами проводятся экспериментальные исследования, целью которых является изучение возможностей использования электрокинетических явлений в качестве самостоятельных методов очистки природных вод. Опыты подтвердили, что наиболее перспективным из этих явлений является электрофорез. В абсолютном большинстве случаев нам удавалось с помощью электрофореза производить осветление и обесцвечивание различных вод до питьевого качества и обеспечивать выпадения загрязняющих веществ в осадок. При этом мы осуществляли визуальное наблюдение за ходом процесса и убедились в том, что процесс характеризуется всеми стадиями коагуляции (помутнение воды, образование мелких, а затем крупных хлопьев) что позволяет говорить о таком явлении, как безреагентная электрокоагуляция. Выполненные нами патентные исследования подтвердили мнение многих специалистов о том, что в настоящее время не существует безреагентных способов обесцвечивания воды. Однако в наших экспериментах при наложении постоянного электрического поля на исследуемый объём воды удалось полностью обеспечить не только осветление, но и обесцвечивание этой воды.

Теоретически полученные результаты можно объяснить следующим образом. Процесс электрокоагуляции можно считать совокупностью трех одновременно протекающих процессов:

1.Поляризационная коагуляция (электростатическая) происходит за счет диполь- дипольного взаимодействия коллоидных частиц под влиянием дальнодействующих сил притяжения при наложении электрического поля электрокоагулятора.

2. Гидродинамическая коагуляция – слипание частиц за счет увеличения числа их столкновений при движении очищаемой жидкости в электрокоагуляторе.

3. Концентрационная коагуляция – увеличение числа столкновений частиц, приводящих к их слипанию, за счет повышения локальных концентраций частиц в межэлектродном пространстве электрокоагулятора.

Понятие «электрокоагуляция» в коллоидной химии предполагает агрегатирование коллоидных частиц под действием внешнего электрического поля. При этом происходит поляризационная, гидродинамическая и концентрационная коагуляции [1, 2].

В электрическом поле коллоидная частица вместе с адсорбционным слоем перемещается к одному полюсу, а ионы диффузного слоя – к противо-

положному (если бы коллоидная частица перемещалась в электрическом поле только с потенциал- определяющими ионами, то электрокинетический потенциал должен был равняться термодинамическому потенциалу, возникающему между поверхностью частицы и раствором. Наличие в адсорбционном слое противоионов снижает величину потенциала, и электрокинетический потенциал составляет часть полного потенциала.

Объяснить полученные нами результаты можно следующим образом. Сущность метода заключается в том, что разрушение коллоидных систем происходит под действием электрофоретического перемещения частиц к соответствующему электроду. При электрокоагуляции происходит поляризация ионных сфер коллоидных частиц, поэтому коагуляция происходит при несущественном изменении электродов и среды. Электрокоагуляция не требует больших затрат электроэнергии, электроды практически не расходуются. Коллоидные частицы примесей, имеющие отрицательный заряд при наложении электрического поля в результате электрофореза, концентрируются у анода. Этот процесс является первичным при электрокоагуляции, так как протекает он со значительной скоростью. Увеличение концентрации коллоидных частиц в анодном пространстве приводит к концентрационной коагуляции.

В отличии от электрохимической коагуляции электрофорез не сопровождается разрушением коллоидных примесей, а сводится к их концентрированию с последующим удалением из зоны воздействия электрического поля.

Высокий эффект очистки воды наблюдается при использовании комплекса электрических воздействий, который включает в себя сочетание действий электрических полей и разрядов. Ниже приведены обобщенные результаты, характеризующие процессы очитки воды комплексом электрических воздействий (таблица).

Электрообработка воды при соответствующем совершенствовании конструкции аппаратов является одним из перспективных направлений современной технологии.

Таблица

Показатель	Исходная вода	Обработанная вода
Мутность, мг/л	10-500	0,4
Цветность, град	30-500	9
Запах, балл	1-5	0-1
Вкус, балл	1-3	0-1
pH	6,5-7,5	6,7-7,8

В ходе исследования были определены следующие параметры, влияющие на процессы осветления и обесцвечивания:

1. Оптимальная величина градиента потенциала.
2. Оптимальная сила тока.
3. Оптимальное расстояние между электродами.

4. Оптимальный материал электродов.
5. Влияние температуры воды на процесс осветления и обесцвечивания.
6. Оптимальное расположение электродов в емкости с исследуемой водой.
7. Время каждой из фаз обработки воды до питьевого качества.

Одним из основных факторов, влияющих на качество и скорость очистки исследуемого объема воды, является правильный подбор электродов. Основным условием, которому должны удовлетворять электроды, является предотвращение химических и электрохимических взаимодействий компонентов, входящих в их состав с водой. В процессе исследования контролировались следующие показатели качества воды:

1. Мутность исходной воды.
2. Цветность исходной воды.
3. РН исходной воды.
4. Температура исходной воды.
5. Время протекания отдельных фаз очистки.
6. Мутность очищенной воды.
7. Цветность очищенной воды.
8. РН очищенной воды.
9. Температура очищенной воды.

По результатам выполненных нами исследований можно сделать следующие выводы:

1. С помощью электрокоагуляции можно производить осветление и обесцвечивание воды до питьевого качества независимо от показателей цветности и мутности исходной воды.

2. Общая продолжительность процесса очистки воды до питьевого качества при оптимальных условиях не превышает 30 минут (это в 9 раз меньше, чем продолжительность очистки воды на 1 и 2 блоках ОСВ г. Вологды).

3. Величина РН до очистки и после не изменяется. Это подтверждает мнение о том, что процесс безреагентный.

4. По предварительным расчетам для полной очистки воды предлагаемым способом затраты электроэнергии не превысят один киловатт на 1 $м^3$.

Литература

1. Таубе П.Р., Баранова А.Г.. Химия и микробиология воды. – М., 1983.

2. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика: избр. тр. – М., 1979.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

П.С. Левин
Научные руководители ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент,*
Л.М. Воропай*, канд. хим. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

В Вологодском государственном техническом университете в течение ряда лет на кафедрах КИиОПР и химии ведутся исследования, заключающиеся в разработке современных технологий очистки природных вод от различных вредных ингредиентов для питьевого водоснабжения.

Основная цель исследований заключается в значительном удешевлении и повышении надежности систем подготовки воды. По нашему мнению в большинстве случаев можно достигнуть поставленной цели, используя нанотехнологии.

Нанотехнология – это совокупность методов и приемов, использующих компоненты с размерами менее 100 нм и в дальнейшем перенос их в полноценно функционирующие системы большего масштаба. В нашем случае это обработка ионов вредных ингредиентов постоянным электрическим полем.

К настоящему времени разработаны следующие нанотехнологии:

1. Способ обезжелезивания подземных вод.

Употребление воды с повышенным содержанием железа отрицательно сказывается на здоровье человека, например может приводить к постоянным головным болям, головокружениям, общей физической слабости, болям в желудке, фиброзу, увеличивается риск развития атеросклероза, инфекционных и опухолевых заболеваний. Результаты выполненных за последнее время пробных аналитических и лабораторных исследований в лабораториях кафедр химии и КИиОПР ВоГТУ показали, что существует реальная возможность использования нанотехнологий для решения многих проблем, связанных с очисткой подземных вод от ионов железа. Предлагаемый способ осуществляется путем пропускания жидкости через сосуд снизу вверх в постоянном электрическом поле.

2. Способ удаления ионов бора из воды.

Он аналогичен способу обезжелезивания, однако подвижность ионов бора в постоянном электрическом поле самая высокая из рассматриваемых в данной работе ионов. Это учитывается в разработанной нанотехнологии.

3. Способ очистки поверхностных вод в водозаборном очистном устройстве [1]. В этом способе предусмотрено использование двух нанотехнологий: безреагентной напорной флотации и электрофореза.

Данный способ предусматривает полную автоматизацию процессов добывания и очистки воды, что значительно снижает цену эксплуатации. При

безреагентной напорной флотации удаляются из воды нефтепродукты, эмульгирующие жидкости, поверхностно – активные вещества и планктон. В процессе электрофореза обеспечивается осветление и обесцвечивание воды.

Кроме того, в настоящее время успешно выполняются экспериментальные исследования, касающиеся разработки следующих нанотехнологий:

1. Удаление из очищенной воды ионов алюминия.

Алюминий пагубно влияет на здоровье человека, а существующие методы очистки воды от алюминия, такие как метод ионного обмена и метод обратного осмоса малоэффективны. Используются громоздкие, дорогостоящие, а так же тяжело управляемые сооружения.

Предлагаемый способ достаточно прост, легко управляем, не является энергозатратным.

2. Удаление ионов бария из очищенной воды.

Постоянное употребление воды с повышенным содержанием бария может вызвать боли в брюшной полости, пагубно сказывается на систолическое кровяное давление, что в последствии приводит к различным сердечно – сосудистым заболеваниям, сердечным приступам, может приводить к мышечной слабости. До настоящего времени эффективных и надежных методов удаления бария не существовало. При воздействии постоянного электрического поля на воду, в состав которой входят растворимые формы железа и бария, в околокатодном пространстве образуется гидратированное железо, которое абсорбирует катионы бария. При этом происходит одновременное удаление из воды железа и бария.

3. Удаление фторид - ионов.

Повышенное содержание фторид - ионов в воде приводит к целому ряду опасных заболеваний. Разрабатываемая в ВоГТУ нанотехлогогия очистки воды от фторид - ионов основана на воздействии постоянного электрического поля на эти ионы.

4. Осветление и обесцвечивание поверхностных вод с применением электрокоагуляции.

Принцип действия разрабатываемой нанотехнологии основан на концентрировании загрязняющих веществ в приэлектродном пространстве. Нами был проведен цикл опытов заключающийся в исследованиях возможностей осветления и обесцвечивания воды электрокоагуляцией.

Для имитации естественной мутности использовалась каолиновая глина и мел. В обоих случая готовился раствор с определенной концентрацией замутнителя. Данный раствор разливался в два цилиндра. В одном из цилиндров проводился опыт, другой являлся контрольным. В цилиндр с очищаемой водой помещались неполяризующиеся электроды из нержавеющей хромникельтитановой стали, на них подавался постоянный ток, вследствие чего на обрабатываемый объём воды накладывалось постоянное электрическое поле, влияющее на дзета - потенциал частиц замутнителя. Чем больше дзета – по-

тенциал, тем быстрее протекал процесс оседания частиц замутнителя на дно цилиндра.

Для имитации естественной цветности использовался гумат натрия. Готовился раствор гумата натрия, который впоследствии разливался в два цилиндра. Один цилиндр являлся контрольным, во втором проводился опыт. Для обесцвечивания воды в цилиндр опускались два электрода из хромникельтитановой нержавеющей стали, на них подавался постоянный ток, вследствие чего на обрабатываемый объём воды накладывалось постоянное электрическое поле, воздействующее на дзета - потенциал частиц, обуславливающих цветность воды. Чем больше дзета - потенциал частиц, тем быстрее протекал процесс осветления [2].

Таблица

Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК)), не более	Показатель вредности <1>	Класс опасности	Предельная подвижность ионов в водном растворе при $25^0 C$, $\left[Ом^{-1} \cdot см^2 \cdot г-экв^{-1}\right]$	Скорость движения иона в водном растворе при разности потенциалов 10 В, находящихся на расстоянии 1 см ($м \cdot с^{-1}$)
Неорганические вещества						
Железо (Fe, суммарно)	- " -	0,3 (1,0) <2> орг.	3			$6{,}53 \cdot 10^{-5}$
Железо (Fe3+)					68	$6{,}6 \cdot 10^{-5}$
Железо (Fe2+)					53	
Бор (B, суммарно)	- " -	0,5	- " -	2	78,14	$8{,}1 \cdot 10^{-5}$
Алюминий (AL3+)	мг/л	0,5	с.-т.	2	63	$6{,}53 \cdot 10^{-5}$
Барий (Ba2+)	- " -	0,1	- " -	2	63,63	$6{,}6 \cdot 10^{-5}$
Фториды (F-)					55,4	$5{,}74 \cdot 10^{-5}$
Марганец (Mn, суммарно)	- " -	0,1 (0,5) <2>	орг.	3	53,5	$5{,}54 \cdot 10^{-5}$
Медь (Cu, суммарно)	- " -	1,0	- " -	3	56,6	$5{,}87 \cdot 10^{-5}$
Нитраты (по NO3-)	- " -	45	с.-т.	3	71,46	$7{,}4 \cdot 10^{-5}$
Свинец (Pb, суммарно)	- " -	0,03	- " -	2	70	$7{,}25 \cdot 10^{-5}$
Кадмий (Cd, суммарно)	- " -	0,001	с.-т.	2	54	$5{,}6 \cdot 10^{-5}$
Стронций (Sr2+)	- " -	7,0	- " -	2	59,5	$6{,}17 \cdot 10^{-5}$

Таким образом, наметилась перспектива широкого использования нанотехнологий для очистки природных вод. Такое использование основано на ряде “поведенческих” свойств каллоидных частиц и ионов отдельных элементов имеющих размеры менее 100 нм. Общим поведенческим свойством перечисленных технологий является способность многих ионов металлов и неметаллов к направленному перемещению в низковольтном постоянном электрическом поле. Низковольтным полем в данном случае мы считаем поле, в котором градиент потенциала от 0,1 до 5 В/см.

В таблице приведены предельно допустимые показатели концентрации, показатели вредности, классы опасности, предельные подвижности ионов в водном растворе, а также скорости движения ионов при градиенте потенциала 10 В/см, находящимся на расстоянии 1 см.

Мы планируем разработку нанотехнологий для шести вредных ингредиентов, содержащихся в воде. Как видно из таблицы, ионы обладают в водных растворах разными предельной подвижностью и скоростью движения при разности потенциалов 10 В, если электроды находятся на расстоянии 1 см. Именно это свойство используется при разработке нанотехнологий для очистки воды от загрязняющих веществ. По предварительным экспериментальным данным можно с помощью постоянного электрического тока осуществлять удаление из воды тех загрязняющих веществ (например соединения бария, бора, фтора), которые известными способами или не удаляются или сами способы являются малоэффективными.

В дальнейшем планируется разработка нанотехнологий по одновременному удалению из воды двух и более вредных ингредиентов.

Литература

1. Чудновский С.М., Семенова А.И., Пантюхина И.В. Установка для забора и очистки воды из поверхностных источников. Патент RU № 2453659. Опубл. 20.06.12 Бюл. № 17.

2. Чудновский С.М., Семенова А.И., Лаптев С.В. Разработка безреагентной технологии осветления и обесцвечивания природных вод // «Вузовская наука – региону»: материалы X Всероссийской научно - технической конференции». – Вологда: ВоГТУ, 2012. – Т. 2. – С. 261 – 264.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ОСВЕТЛИТЕЛЯХ СО ВЗВЕШЕННЫМ ОСАДКОМ

М.Э. Макушина
Научный руководитель ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Основной целью данной работы является разработка схемы гибкого управления процессами очистки воды в режиме реального времени на осветлителях со взвешенным осадком. Эта схема предназначена для управления двумя технологическими процессами: коагуляцией и фильтрованием.

Были проведены экспериментальные исследования при помощи испытательного сосуда, который имеет ряд отверстий (рис. 1). Первое отверстие расположено на дне сосуда и предназначено для подачи воды снизу вверх по подающей трубе. На этой трубе имеется вентиль, позволяющий регулировать скорость поступающей в сосуд воды. Второе отверстие подсоединено к центральной части сосуда. Оно имитирует осадкоотводящие окна, а расположенный на нем вентиль позволяет изменять скорость входа воды в эти окна. Третье отверстие, расположенное в верхней части сосуда, предназначено для отвода очищенной воды и выполняет роль системы желобов и перфорированных труб.

Предлагаемый нами способ регулирования процессов очистки воды на осветлителях со взвешенным осадком включает определение первоначальной дозы коагулянта для пробы исходной воды, поступающей в смеситель, и последующее корректирование этой дозы в зависимости от эффективности процесса коагуляции.

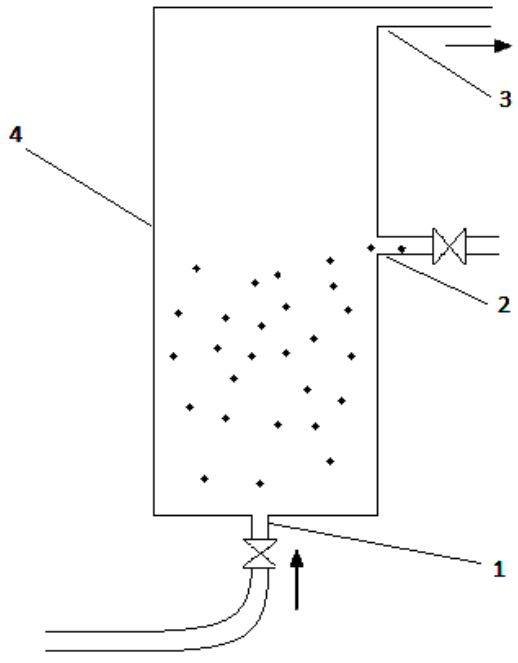


Рис. 1. Испытательный сосуд:
1 – отверстие для подачи воды;
2 – отверстие, имитирующее осадкоотводящее окно;
3 – отверстие для отвода очищенной воды; 4 – сосуд

Главными свойствами, определяющими скорость и полноту отделения взвеси в осадок, являются структурная прочность и плотность хлопьев, или иначе – гидравлическая крупность коагулируемой взвеси. Контролируя гидравлическую крупность частиц можно управлять процессом коагуляции в осветлителях со взвешенным осадком. Поэтому управление процессом коагуляции в коридорах ОСВ планируется производить путем регулирования скорости восходящего движения частиц взвеси на основании показаний седиментометра, получаемых не менее, чем в трех уровнях, в режиме реального времени.

Существует несколько методов седиментационного экспресс-анализа. Один из наиболее распространенных – метод непрерывного взвешивания на микровесах Фигуровского (во многих случаях в лабораторных условиях этот метод осуществляют с использованием торзионных весов). Основными недостатками этих методов является их продолжительность и низкая точность.

В последние годы в ВоГТУ разработаны два новых экспресс-метода седиментационного анализа, позволяющие получать относительно точные результаты за короткие промежутки времени. Один из них, названный электровесовым [1], заключается в проведении анализа с помощью торзионных весов при наложении на исследуемую среду постоянного электрического поля (рис. 2).

Данное устройство содержит измерительный цилиндр 1, чашечку 2 весов, торзионные весы 3, электроды 4 и 5, которые подключены к источнику постоянного тока. Глубина погружения чашечки равна h, а расстояние между электродами равно s. Кроме того в состав аппаратуры для проведения седиментационного анализа должно входить устройство для измерения электрофоретической подвижности частиц взвеси, например, дзетаметр.

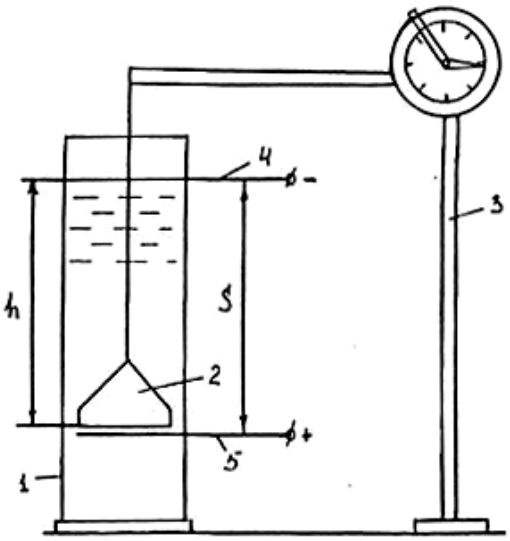


Рис. 2. Схема устройства для электровесового седиментационного экспресс-анализа

Таким образом, предлагаемый способ заключается в измерении электрофоретической подвижности частиц взвеси, вычислении электрофоретической скорости движения частиц, их размеров и построении седиментационной кривой. Этот способ является наиболее точным, так как при нем обеспечивается регистрация весами за короткий промежуток времени всей взвеси, содержащейся в исследуемой пробе воды.

Второй экспресс-метод, называемый оптическим [2], заключается в просвечивании пробы воды источником света и в фиксации фотоприемниками

силы света, прошедшего через слой воды и отраженного частицами взвеси. Схема устройства, осуществляющего этот метод, представлена на рис. 3.

Устройство содержит измерительную кювету 1, источник *2* света, фотоприемник 3, измеряющий световой поток, прошедший анализируемую среду, фотоприемники 4-6, измеряющие рассеянный частицами свет в разных слоях исследуемой среды, и измерительный блок 7, воспринимающий электрические сигналы от фотоприемников 3 - 6 и преобразующий эти сигналы в соответствующие величины концентрации твердых частиц.

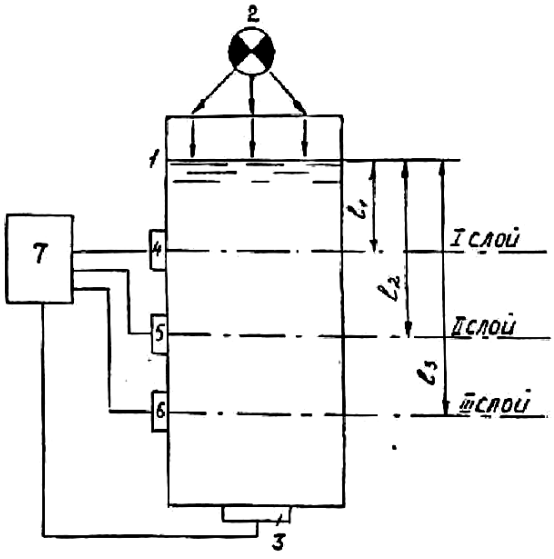


Рис. 3. Схема устройства для оптического седиментационного контроля

Измерительная кювета 1 заполняется исследуемой жидкой средой. Когда прекращается наполнение кюветы, включаются счетчик времени и источник света 2. Через промежуток времени одновременно включаются фотоприемники 3-6. Эти фотоприемники вырабатывают на выходе электрический ток, сила которого измеряется измерительным блоком 7.

Оптический метод является наиболее быстрым (от 1 до 3-х минут), но менее точным, чем электровесовой метод.

Для нашего случая применимы оба метода.

Таким образом, управление процессами очистки воды на осветлителях со взвешенным осадком может осуществляться следующим образом. При поступлении воды на осветлитель со взвешенным осадком проводится седиментационный анализ, при помощи которого (через блок автоматического управления) задвижкой регулируется скорость восходящего потока воды. После этого производится экспресс-измерения электрофоретической скорости движения частиц взвеси не менее, чем в двух точках.

Эти действия осуществляются в режиме реального времени. Кроме того обязательны экспресс-измерения мутности, цветности и температуры воды специальными датчиками на выходе из осветлителя, а также на входе и выходе из фильтровальных сооружений. В результате повысится надежность очистки воды и уменьшится себестоимость одного кубического метра воды.

Литература

1. Патент RU 2142419. Способ очистки маломутных цветных вод / Чудновский С.М., Миронова Н.Л.; заявитель и патентообладатель Вологодский гос. техн. ун-т; Опубл. 10.12.1999, Бюл. №23.

ЗАВИСИМОСТЬ ОТСТИРЫВАЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОТ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ

М.Н. Мальцева
Научный руководитель ***Ф.А. Петрище****, д-р техн. наук, профессор*
Вологодский институт бизнеса
г. Вологда

Быстрая и эффективная машинная стирка текстильных изделий возможна только в том случае, если моющее средство обладает достаточной моющей способностью. Научные исследования последних лет свидетельствуют о возрастающем негативном действии компонентов синтетических моющих средств (СМС) на организм человека и окружающую среду. В связи с этим, актуальным становится вопрос о количестве СМС остающемся на ткани после стирки (остаточная концентрация) в машинах-автоматах с использованием порошкообразных моющих средств.

Контролировать отстирываемость и выполаскиваемость моющего средства с текстильного изделия можно по концентрации его основного компонента – анионактивных поверхностно-активных веществ (аПАВ), остаточная концентрация которых зависит от объема применяемого моющего средства. Данные расчетов [6] доказывают, что рекомендуемый производителем объем порошка для одной стирки, указанный в маркировке, превышает эффективную концентрацию поверхностного моющего средства, которую можно вычислить, используя ГОСТ 22567.15-95 Средства моющие синтетические. Метод определения моющей способности" [1], по методике которого для приготовления моющего раствора для стирки эталонного образца ткани с сильным сложным загрязнением используется 5 г (8 $см^3$) порошка на 1 $дм^3$ воды. В машину-автомат на 5 кг текстильных изделий на одну стадию заливается около 10-12 $дм^3$ воды, суммарное потребление воды за весь цикл стирки 55 $дм^3$. Таким образом, эффективная концентрация СМС – 0,05-0,20 г/$дм^3$, то есть на 10-12 $дм^3$ воды (бак стиральной машины-автомата) необходимо 5-25 г (10-50 $см^3$) синтетического моющего средства.

Оптимальный объем порошкообразного синтетического моющего средства для стирки текстильных изделий – объем, который обеспечит необходимое качество стирки (моющую способность), при минимальной остаточной концентрации его на ткани после стирки. Исследование этих двух параметров позволит определить возможности сокращения использования СМС в процессе стирки.

Для определения остаточной концентрации ПАВ, автором была разработана методика определения остаточной концентрации, изложенная в [6], и с ее использованием проведен ряд экспериментов, с применением КФК 3-01 и

стиральной машины-автомата с фронтальной загрузкой, марки LG WD-8049(0-9)S, вместимость 3,5 кг.

Стирки, проведенные согласно предложенной методики, с постепенным уменьшением дозы синтетического моющего средства дали результаты, приведенные в таблице 1. Измерение концентрации аПАВ в пробах осуществлялось на фотометре КФК 3-01 «ЗОМЗ», путем измерения оптической плотности и пересчета с помощью калибровочного графика.

Таблица 1

Результаты исследования остаточной концентрации СМС на поверхности текстильного изделия, подвергнутого стирке

Количество СМС, использованное для стирки			Оптическая плотность, Б	Концентрация, мг/дм^3
Доза СМС	Объем СМС, см^3	Масса, г		
0	0	0,00	0,147	0,09
1	96,750	63,39	2,345	4,20
1/2	48,375	31,69	1,368	3,40
1/4	24,187	15,85	1,104	3,00
1/8	12,094	7,92	0,965	2,60

Анализируя результаты определения остаточной концентрации анионогенного ПАВ, можно сделать вывод, что при стирке в бытовых условиях синтетическим моющим средством, 1/8 частью дозы, рекомендованной производителем, на текстильном изделии остается количество поверхностно-активного вещества, превышающее предельно-допустимую концентрацию аПАВ (0,5 мг/дм^3) [2] более чем в 6 раз. Таким образом, при определении оптимальной концентрации синтетического моющего средства, решающим показателем является его моющая способность, т.е. снижение объемов использования СМС возможно до тех пор, пока обеспечивается надлежащее качество стирки. Такой подход позволит уменьшить потребление моющих средств, с сохранением необходимого уровня отстирываемости загрязнения.

Государственный стандарт 22567.15-95 «Синтетические моющие средства. Метод определения моющей способности» предлагает методику определения моющей способности СМС. Показателем моющей способности синтетического моющего средства является значение коэффициента отражения, значение которого по ГОСТ 22567.15-95 предлагается измерять при помощи электрофотометра типа «ФО-1» или «Лейкометра Цейса», или другого прибора, позволяющего определять коэффициенты отражения от 0 до 100% в области длинны волн 520-540 нм. В настоящее время данные приборы являются устаревшими и не могут быть использованы для определения коэффициента отражения. Определение белизны на фотоэлектрическом фотометре типа «Лейкометр Цейса» с дополнительно установленным светофильтром из стекла марки БС-8, так же предусмотрено ГОСТ 18054-72 «Материалы текстильные.

Методы определения белизны», и ГОСТ 30437-96 (ИСО 3688-77) «Целлюлоза. Метод определения белизны». Последний нормативный документ предусматривает возможность определения показателя белизны бумаги с помощью спектрофотометров марки «Спекол-10», «Спекол-11», аналогом которого является современный спектрофотометр марки «Cary 5000». ГОСТ 24768-2000 «Изделия фарфоровые. Метод определения белизны» предусматривает использование спектрофотометра типа «СФ-18» («Спекол-11») с измерительной приставкой. Измерение показателя белизны бумаги и картона, регламентируемое ГОСТ 30113-94 (ИСО 2470-77) «Бумага и картон. Метод определения белизны», рекомендуется проводить при помощи фотометрического прибора, требования к которому определены ГОСТ 30116-94 (ИСО 2469-77) «Бумага, картон, целлюлоза. Измерение коэффициента диффузного отражения». Такой способ оценки качества моющего действия синтетического моющего средства представляет сложную задачу, с использованием типовых загрязняющих смесей, по так называемому методу Штюпеля.

Предложенная в методике [1] рецептура приготовления пигментно-масляной или белковозагрязняющей смеси предполагает использование таких компонентов как сажа П-803 по ГОСТ 9147, смесь оливкового (или подсолнечного по ГОСТ 25465-2005) и вазелинового (по ГОСТ 3164) масел, раствора аммиака, казеина. Мелкодисперсная сажа проникает в структуру текстильных волокон и закрепляется там механически или химически. В жизни потребитель сталкивается с таким загрязнителем в том объеме, который предполагает методика лишь на специфической «грязной» работе, которая предполагает использование специальной одежды, и кажется логичным использовать для стирки таких загрязнений специальные концентрированные моющие средства, обладающие очень агрессивной средой. Загрязнения, с которыми ежедневно приходиться иметь дело рядовому потребителю не нуждаются в таком «сильном» моющем средстве, так как оно может негативно воздействовать на структуру волокон и качество окраски изделия. Поэтому имеет смысл изменить состав стандартной загрязняющей смеси, и приблизить его к бытовому загрязнению.

Наиболее часто встречающимся загрязнителем для текстильных изделий является пот. Состав загрязняющей смеси, максимально имитирующий бытовое загрязнение должен быть близким к составу человеческого пота, с учетом присутствия в окружающем воздухе взвешенных пылевых частиц (табл. 2). В состав пота входит вода (98,5÷99,5%) и растворённые в ней органические вещества (0,5%) и неорганические вещества (1,5%). Органические вещества представлены белками (альбумин, α-1-антитрипсин, глобулины, гликопротеиды, ферменты, ренинноподобные вещества, антитела) и небелковыми веществами (глюкоза, лактат, аминокислоты и др.). Неорганические вещества представлены анионами (натрий, калий, кальций, магний, аммоний и др.) и катионами (бикарбонаты, хлориды, фосфаты, сульфаты, нитраты и др.).

Таблица 2

Предлагаемый состав разрабатываемой загрязняющей смеси

Вид ткани	Компоненты, %							
	Сажа	Казеин	Подсолнечное масло	Глюкоза	Хлорид натрия	ПАВ	Водный раствор аммиака, 25%, $см^3$	Вода
Хлопчатобумажная,	2	19	7	7	4,9	0,1	10	50
Синтетическая	3	20	6	6	4,9	0,1	10	50
Шерсть, шелк	2	19	7	7	3,4	0,1	6	55,5

В работе В.А. Волкова «Роль поверхностно-активных веществ в удалении пятен машинного масла с суровых тканей» [4] изложены закономерности влияния природы и состава синергетических смешанных растворов ПАВ на удаление масляных загрязнений с хлопчатобумажных тканей. Контроль удаления загрязнения осуществлялся по изменению окраски поверхности ткани, что позволяет исследовать удаление загрязнения только с поверхности текстиля, и не учитывает проникновения масла в капилляры ткани, образующиеся между волокнами.

В работе Егоровой О.С. [5] показано, что нельзя интерпретировать данные, полученные оптическим методом и методом микрофотографии, как характеристику моющей способности синтетического моющего средства, определяющую степень удаления пигментного и масляного загрязнения. В связи с этим указанным выше автором был разработан новый метод определения моющего (очищающего) действия, который позволил бы количественно оценить степень чистоты поверхности волокон после удаления масла из ткани по величине краевого угла смачивания.

Определив косинус краевого угла смачивания чистой ткани $cos\Theta_1$ и косинус краевого угла смачивания замасленной ткани $cos\Theta_2$, можно рассчитать степень очистки ткани φ от масляного загрязнения по величине текущего краевого угла смачивания:

$$\cos\Theta = \cos\Theta_1 \cdot \varphi_1 + \cos\Theta_2 \cdot \varphi_2$$

Т.к. $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$, получаем:

$$\cos\Theta = \cos\Theta_1 \cdot \varphi_1 + \cos\Theta_2 - \cos\Theta_2 \cdot \varphi_1,$$

Откуда доля очищенной поверхности составит:

$$\varphi_1 = \frac{\cos\Theta - \cos\Theta_2}{\cos\Theta_1 - \cos\Theta_2}$$

Если $\cos\Theta_1 = const$ и $\cos\Theta_2 = const$

$$k\varphi_1 = \cos\Theta - \cos\Theta_2$$

Определение краевого угла смачивания можно проводить методом измерения давления пенетрации воды через загрязненную ткань по величине водоупорности [1]. Прохождение воды через капилляры ткани, имеющей масляное или пигментное загрязнение требуется повышенное давление, необходимое для преодоления отрицательного давления капилляров. Частный случай уравнения Лапласа позволяет рассчитать косинус угла смачивания:

$$\cos\Theta = -\frac{rp}{2\sigma},$$

где p – давление столба воды, высотой h, необходимое для продавливания воды через ткань; $p = 9{,}8 \cdot 10^3 \cdot h$(Па), r – радиус капилляров в ткани [5].

Таким образом, оптимальный объем порошкообразного синтетического моющего средства, используемого для стирки текстильных изделий, должен быть определен с учетом комплекса двух параметров: обеспечение минимальной остаточной концентрации аПАВ на ткани (наиболее близкой к значению ПДК) и достижение приемлемого качества стирки. Методики определения указанных параметров необходимо максимально адаптировать к современным условиям жизни и уровню развития науки: использовать измененный состав загрязняющей смеси, определять моющую способность синтетического моющего средства по значению краевого угла смачивания.

Литература

1. ГОСТ 22567.15-95 Средства моющие синтетические. Метод определения моющей способности. – Введ. 1999-07-01. – М., 1999. – Режим доступа: ИПС «Кодекс».

2. ГОСТ Р 51021-97 Товары бытовой химии. Метод определения смываемости с посуды. – Введ. 1998–01–01. – М., 1997. – Режим доступа: ИПС «Кодекс».

3. Волков В.А., Измайлов Б.А., Скрипникова В.С. Определние краевого угла смачивания модифицированной ткани по водоупорности / Тез. докладов научно-технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль–2005). – М.: МГТУ, 2005. – 168 с.

4. Волков В.А. Роль поверхностно-активных веществ в удалении пятен машинного масла с суровых тканей / В.А. Волков, М.Е. Кузнецова, В.Н. Ордин // Изв. вузов. – Сер. технология текстильной промышленности. – 1994. – №2. – С. 54-58.

5. Егорова О.С. Влияние природы волокон и их поверхностной модификации на смачивание и капиллярность текстильных материалов: дис. ... канд. техн. наук. – М, 2010.

6. Мальцева М.Н. Обеспечение биологической и экологической безопасности в моющем процессе // Товаровед продовольственных товаров – 2011. – № 3. – С 50-53.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ БИОМОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СРЕД

Ю.В. Машихина
Научные руководители: ***Л.Г. Рувинова****, д-р биол. наук, профессор*
Г.А. Тихановская*, канд. биол. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Основной проблемой развития современного общества является действие антропогенного фактора, который приводит к усилению токсичности природных и техногенных сред.

В настоящее время для оценки экологического состояния среды в районах интенсивной техногенной нагрузки применяются физико-химические методы, которые являются сложными в исполнении, требуют дорогостоящего специального оборудования, являются энергоемкими и определяют только концентрацию загрязняющих веществ без определения их токсичности. Данные методы контроля состояния окружающей среды чаще всего носят периодический характер и не применимы на обширных территориях. Наряду с физико-химическими методами контроля начинают широко использоваться методы биологического тестирования, позволяющие оценить всю совокупность свойств исследуемой среды с позиции восприятия ее живыми тест-объектами.

Целью данной работы является разработка новой системы экспресс контроля состояния окружающей среды, которая позволит быстро определять токсичность техногенных и природных сред и уменьшить влияние загрязняющих веществ на экосистемы и здоровье человека путем быстрого реагирования.

Для определения токсичности техногенных сред: воздуха, воды и почвы, а также жидких, твердых и газообразных отходов производства, предлагается использовать методы биотестирования, которые просты в применении, не требуют больших материальных и энергетических затрат и могут применяться для оценки токсичности обширных территорий.

Материалом для исследования явились пробы снега и пыльцы *Tussilago Farfora* с отдельных участков городских территорий, включающих крупные промышленные предприятия и автомобильные артерии города. В качестве контроля использовалась территория д. Черняево Вологодского района.

Физико-химическими методами определялись ХПК и суммарная концентрация тяжелых металлов. Для определения ХПК был применен титриметрический метод, для определения суммарной концентрации тяжелых металлов – экстрактно-колориметрический метод. Биотестирование включало определение генотоксичности на основании количественной регистрации аберрации хромосом и числа микроядер в клетках корневой меристемы *Allium cepa*, а

также определение цитотоксичности среды методом палеоиндикации. В качестве физиологического теста использовался интегральный метод, основанный на оценке спонтанной двигательной активности *Paramecium caudatum* в исследуемых средах в автоматическом режиме на приборе БиоЛАТ [1, 2]. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица

Показатели анализа качества среды отдельных пунктов г. Вологды

Пункт	Концентрации тяжелых металлов, ммоль/л·10^{-4}	ХПК $м^2O_2$/л	Клетки с аберрациями %	Клетки с микроядрами %	Жизнеспособность пыльцы, %	Выживаемость *Paramecium caudatum*
ОАО «СКДМ»	13,75	93,6	10,3	12,1	76,2	61,1
Ж/Д вокзал	11,25	248	8,4	10,8	78,1	65,0
ОАО «Вологодский оптико-механический завод»	16	187,2	11,4	12,9	65,3	49,4
ПЗ-23	27,5	350	13,5	12,5	49,5	11,7
ул. Ярославская	10,02	350	8,1	11,7	75,2	81,9
ул. Ленинградская	14,01	116,8	7,9	7,8	80,1	68,9
д. Черняево. Вологодский р-н	7,5	3,54	0,7	0,3	98,9	130

Результаты математической обработки экспериментальных данных методами аналитического выравнивания по линейной функции показали, что существует тесная линейная связь между токсичностью среды, полученной методами биотестирования, и суммарной концентрацией тяжелых металлов (рис.1). Расчетное значение F-критерия Фишера равное 11,67 больше табличного значения равного 9,87 для уровня значимости 0,02, что говорит о высокой степени достоверности установленной взаимосвязи.

Основываясь на полученных данных, предлагаем систему экспресс-контроля на базе следующих методов биотестирования: оценки спонтанной двигательной активности простейших организмов в автоматическом режиме на приборе БиоЛАТ; метода палеоиндикации; количественной регистрации аберраций хромосом и числа микроядер в клетках корневой меристемы растений.

Ранее данные методы биотестирования применялись независимо друг от друга, мы же использовали их в комплексе, учитывая их преимущества и недостатки, определяя генотоксичность и цитотоксичность территории.

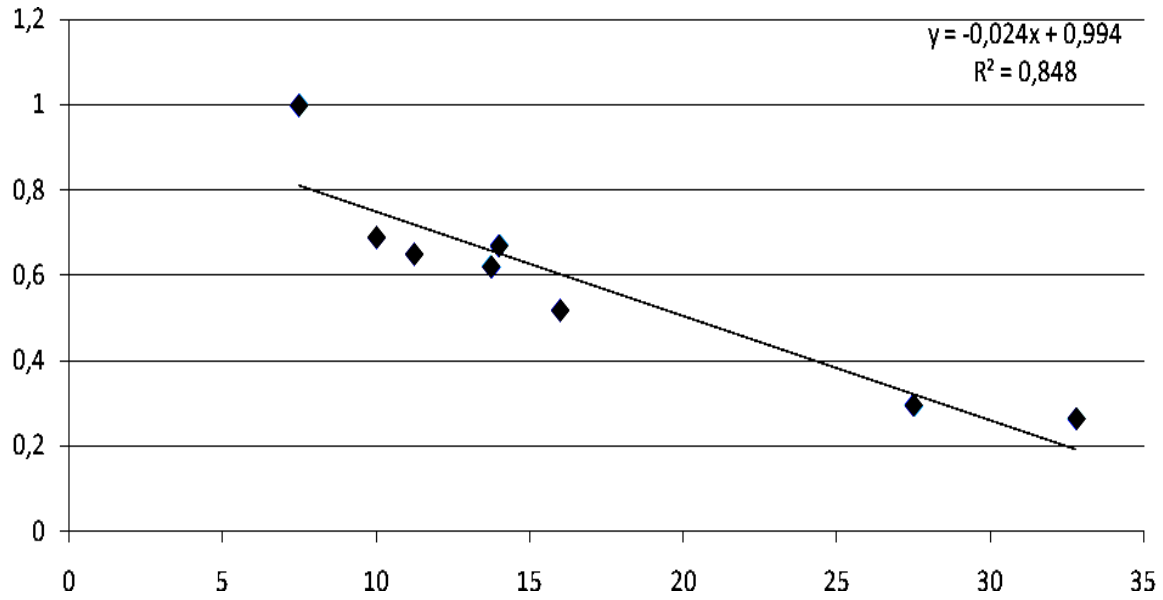


Рис. Взаимосвязь концентрации тяжелых металлов и токсичности среды

В качестве контрольных сред в представленном способе экспресс контроля могут быть использованы разные виды живых организмов, с разным видом их организации, что позволит определить токсичность техногенных сред с наибольшей достоверностью в течение короткого промежутка времени.

В отличие от физико-химических методов предлагаемые нами методы имеют ряд преимуществ, к которым относятся: интегральность, экспрессивность и экономичность. Максимальный срок проведения анализа – 3 дня, при необходимости быстрой проверки токсичность среды можно определить за несколько часов. Для сравнения: анализ одной пробы воды методом биотестирования обойдется предприятию в 200 р., а анализ одной пробы воды на содержание в ней тяжелых металлов физико-химическими методами – в 20000р.

Таким образом, представленный способ экспресс контроля окружающей среды может быть рекомендован для первоначальной оценки токсичности среды на обширных территориях, что немоловажно в условиях РФ.

Литература

1. Щеткина Т.Н., Лыков И.Н., Черемных Е.Г. Сравнительная характеристика чувствительности простейших одноклеточных организмов к отдельным факторам окружающей среды // Биоэкология. – 2007. – №3. – С. 57-61

2. Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О.П. Мелехова, Т.И., Евсеева. – СПб., 2008. – 288 с.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФТОРИРОВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Е.А. Мягичева
Научные руководители: ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Л.М. Воропай*, канд. хим. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Фторирование – одна из важнейших операций, применяемых при подготовке питьевой воды. Если исходная концентрация фторид – иона менее 0,7 мг/л, на станциях водоподготовки традиционно обрабатывают воду кремнефтористым натрием, фтористым натрием, кремнефтористым аммонием, кремнефтористоводородной кислотой [1].

Однако, процессы фторирования на территории области Вологодской области не применяются по следующим причинам: традиционные способы обесфторивания являются громоздкими и высоко затратными, а применяемые для фторирования воды реагенты - дорогостоящими и высокотоксичными [2].

Мы провели исследования [3] и разработали новый и эффективный способ фторирования питьевой воды, кроме того нами получен патент на группу изобретений №2452692 "Способ фторирования воды и устройство для его осуществления" [4].

Целью изобретения является расширение возможностей использования нового нетоксичного реагента Mg(OH)F для фторирования воды, повышение эффективности, обеспечение необходимой точности дозирования реагента в исходную воду, уменьшение строительных и эксплуатационных затрат.

Указанная цель достигается тем, что сначала готовится в течение не более чем 30 минут водная суспензия с 0,22 % содержанием Mg(OH)F, которая направляется не менее, чем на 20 минут в разбавитель, откуда раствор Mg(OH)F, имеющий концентрацию не более 67 г/м^3 по фтору эжектируется в общий поток обрабатываемой воды, причем расход раствора Mg(OH)F определяется на основании контроля содержания фтора в растворе и в общем потоке обрабатываемой воды по формуле:

$$Q_p = (Q_{о.п.} \times C_f)/Д_f,$$

где Q р – расход эжектируемого раствора, м^3/час;

$Q_{о.п}$ – расход общего потока обрабатываемой воды;

C_f - концентрация фтора в растворе, г/м^3;

$Д_f$ - расчётная доза фтора, вводимая в общий поток, г/м^3,

которая определяется по формуле:

$$Д_f = C_{f\,о.п.} - C_{f\,и.в.},$$

где $C_{f\,о.п}$ – нормативная концентрация фтора в питьевой воде, г/ м^3;

$C_{f\,и.в.}$ – концентрация фтора в исходной воде, г/ м^3.

Приготовление суспензии Mg(OH)F на основе исходной питьевой воды и последующее растворение её в этой же воде значительно расширяет возможности использования предлагаемого способа, так как в данном случае отсутствует необходимость «привязки» технологической схемы приготовления и дозирования фторсодержащего раствора к технологическим схемам, осуществляющим улучшение качества воды по другим показателям, таким, например, как мутность и цветность. Это создает возможности использования данного способа для фторирования всех видов питьевых вод, независимо от того, какие технологии применялись для их подготовки.

Возможность приготовления в течение 30 минут водной суспензии с 0,22% содержанием Mg(OH)F, создает условия для получения за относительно короткий промежуток времени качественного фторсодержащего раствора, не содержащего побочные примеси. Это, в свою очередь, способствует повышению эффективности фторирования, уменьшению строительных и эксплуатационных затрат [5].

Для определения оптимальных условий фторирования воды, выполнены следующие исследования:

Пример 1.

Для приготовления водной суспензии Mg(OH)F в питьевую воду вводились последовательно дозы реагентов в соответствии с уравнением реакции:

$$Ca(OH)_2 + MgCl_2 + NaF \Rightarrow CaCl_2 + Mg(OH)F + NaOH$$

Для соотношения количества (молей) реагентов 1:1:1 в идеальных условиях при полной их растворимости должен получиться 1 моль Mg(OH)F. Однако, в связи с тем, что растворимость в воде $Ca(OH)_2$ - (1,7 г/л) является минимальной по сравнению с растворимостью $MgCl_2$ (558 г/л) и NaF (44,4 г/л), расчет масс реагентов выполнялся по растворимости $Ca(OH)_2$ для того, чтобы избежать загрязнения суспензии Mg(OH)F гидрокидом кальция. В результате расчета было определено, что на 1,7 г $Ca(OH)_2$ приходится 2,185 г $MgCl_2$ и 0,966 г NaF. В процессе исследований контролировалось содержание Mg(OH)F в суспензии, время протекания реакции и наличие побочных веществ в осадке. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

№ опыта	Дозы реагентов, г/л			Содержание Mg(OH)F в суспензии, %	Время реакции, мин.	Наличие побочных веществ в осадке
	NaF	$Ca(OH)_2$	$MgCl_2$			
1	1	1,89	2,45	0,089	20	нет
2	1	2	2,45	0,072	20	Осадок $Ca(OH)_2$
3	1	1,89	2,45	0,18	25	нет
4	1	1,89	2,45	0,22	28	нет
5	1	1,89	2,45	0,21	26	нет
6	1,5	1,89	2,45	0,15	25	Осадок $Ca(OH)_2$

Как видно из таблицы 1, при приготовлении водной суспензии Mg(OH)F в течение 28 минут (рекомендуется принять с запасом – 30 минут), можно обеспечить концентрацию 0,22% , выдерживая соотношение реагентов: 1часть NaF; 1,89 части $Ca(OH)_2$ и 2,45 части $MgCl_2$. При такой концентрации побочные вещества в суспензии отсутствуют.

Получение в течение 20 минут раствора, имеющего концентрацию фторсодержащего раствора менее 67 г/м^3 является вполне приемлемой для условий эксплуатации, так как максимальное содержание фтора в питьевой воде не должно превышать 1 г/м3.

Пример 2.

Растворимость Mg(OH)F в пресной воде (теоретическая) составляет 170 г/м^3 . Однако, если в растворном баке ёмкостью, например, 1 м^3 производится растворение суспензии с 0,22 % содержанием Mg(OH)F (220 г/м^3), то при полном растворении в этом баке будет получено не более; (220 * 19)/60 = 69,66 граммов фтора, где 19 – молекулярная масса фтора; 60 - молекулярная масса Mg(OH)F. Такое уменьшение растворимости фтора в пресной воде, по сравнению с теоретической растворимостью объясняется обменными реакциями при растворении в воде Mg(OH)F.

Для приготовления раствора фтора в природную (питьевую) воду с содержанием солей 560 г/м^3 добавлялась суспензия, содержащая 220 г/м^3 Mg(OH)F. При этом, изменялась температура воды в пределах от 5^{0}C до 20^{0}C, определялось время от введения Mg(OH)F до полного растворения и определялось содержание фтора в растворе. При времени растворения более 20 минут содержание фтора в растворе практически не изменялось. Результаты определений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты исследований

№ опыта	Температура воды, ^{0}C	Время растворения, мин	Содержание фтора в растворе, г/м^3
питьевая вода с содержанием солей 560 г/м^3			
1	5	10	26
		15	27,5
		20	28,8
2	10	10	37
		15	39,9
		20	43,4
3	15	10	51,9
		15	56,7
		20	57.2
4	20	10	57,3
		15	58
		20	58,4
дистиллированная вода			
5	2	10	65,2
		15	66,5
		20	67

Приведенные результаты исследований, позволяют сделать следующие выводы:

1. Концентрация фтора в растворе зависит от содержания солей и температуры воды.

2. Максимальная концентрация фтора в растворе не превышает 67 г/м^3.

3. Время растворения Mg(OH)F в воде не превышает 20 минут.

Эжектирование фторсодержащего раствора в общий поток обрабатываемой воды также способствует повышению эффективности процесса фторирования, так как в результате турбулентного движения воды и раствора после эжектора обеспечивается их равномерное перемешивание.

На основании приведенных результатов и расчетов методики проектирования устройства для приготовления и дозирования оксифторида магния, разработана схема устройства для приготовления оксифторида магния и дозирования в обрабатываемую воду, при введении полученного раствора в основной поток воды.

На рис. 1 показана схема устройства для фторирования воды.

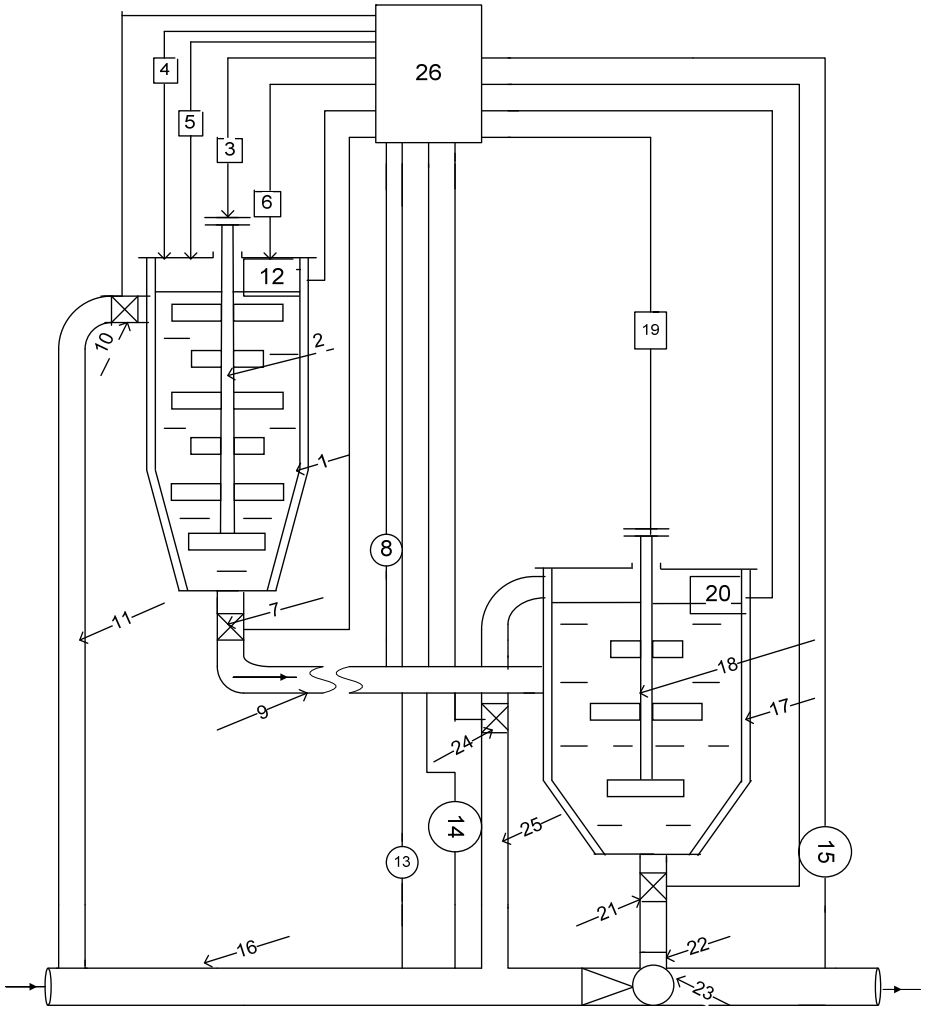


Рис. 1. Устройство для фторирования воды

Для обеспечения оперативного управления приготовлением и подачей расчетной дозой фтора при дозировании в исходную воду необходимо наличие управляющего устройства. В нашем случае блок автоматического управления позволяет полностью автоматизировать процесс управления технологией фторирования, гибко и оперативно менять настройки управления, обладать широкими защитными функциями и иметь наглядную световую сигнализацию. Он управляет датчиками уровней, датчиками фтора и расходомерами, электродвигателями лопастных мешалок, дозаторами реагентов и электрифицированными задвижками. На рис. 2 приведен алгоритм работы блока автоматического управления.

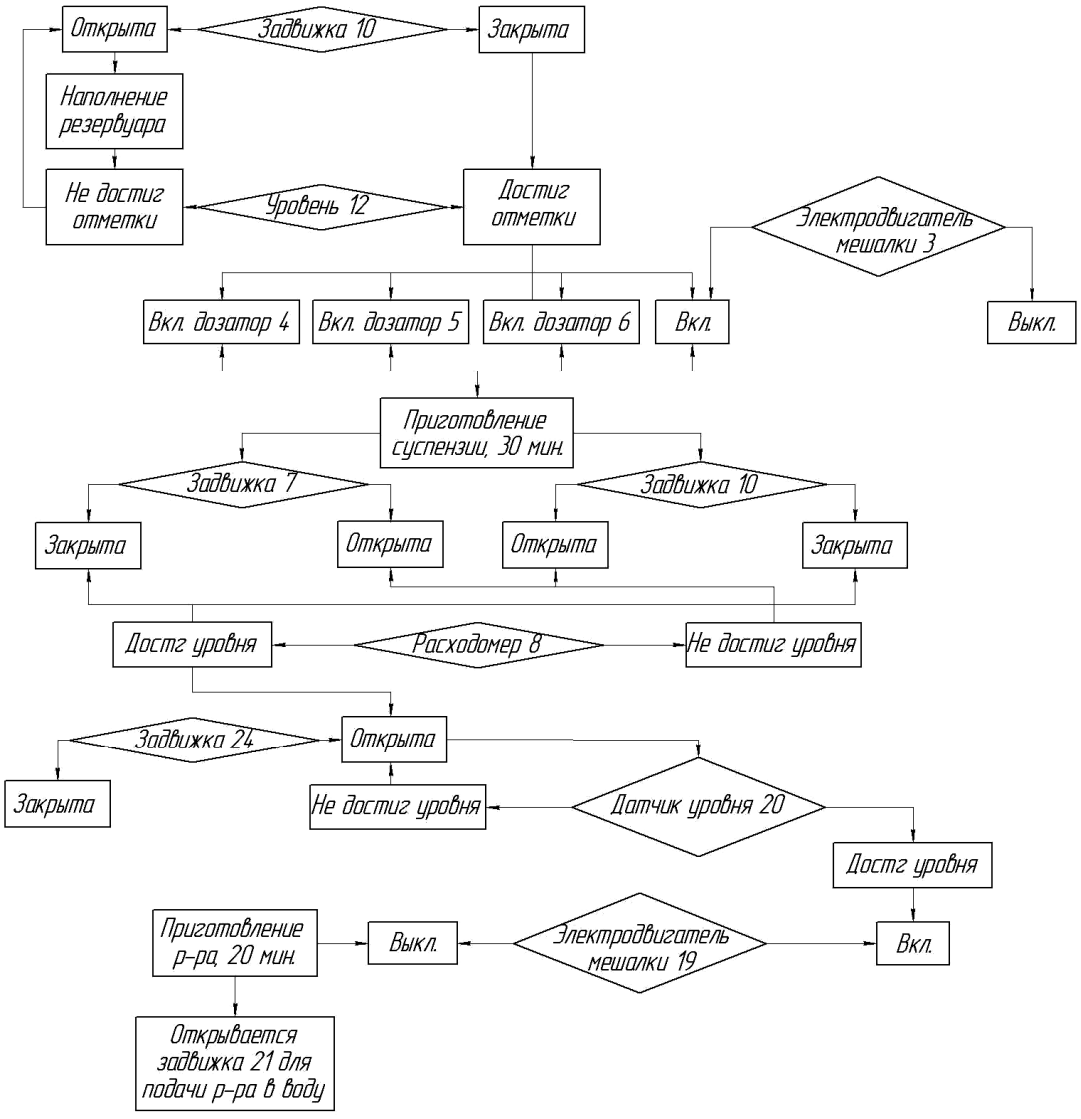


Рис. 2. Алгоритм работы блока автоматического управления

Устройство содержит реактор 1, оборудованный механической лопастной мешалкой 2 с электродвигателем 3, дозатор фторида натрия 4, дозатор хлорида магния 5, дозатор гидроксида хлора 6, электрофицированную задвижку 7 и расходомер 8 на отводной трубе 9, электрофицированную задвижку 10 на трубе подачи исходной воды 11 в реактор 1, датчик уровня воды 12 в

реакторе 1, расходомер 13 и датчики фтора 14 и 15 на трубе подачи исходной воды 16, бак – разбавитель 17, оборудованный механической лопастной мешалкой 18 с электродвигателем 19 и датчиком уровня воды 20, электрифицированную задвижку 21 на трубе подвода раствора 22 к эжектору 23, электрифицированную задвижку 24 на трубе подачи исходной воды 25 в бак – разбавитель 17 и блок автоматического управления 26.

Устройство для фторирования воды работает следующим образом:

При закрытой задвижке 7 по сигналу блока автоматического управления 26 открывается задвижка 10. Происходит наполнение реактора 1 исходной водой. После наполнения до заданного уровня в блок 26 поступает сигнал от датчика уровня воды в реакторе 12 и закрывается задвижка 10. В этот момент включаются дозаторы 4, 5, и 6, а также электродвигатель 3 механической лопастной мешалки 2. Осуществляется приготовление суспензии, содержащей твердые частицы Mg(OH)F. Через промежуток времени T=30 минут, гарантирующий окончание приготовления данной суспензии, по сигналу блока 26 открываются задвижка 7 и затем задвижка 10. Подача воды в реактор сверху необходима для обеспечения скоростного режима движения суспензии, предотвращающего осаждение частиц Mg(OH)F на стенки трубы 16. Этот скоростной режим контролируется расходомером 13 по сигналам которого, поступающим в блок 26, регулируется открытие и закрытие задвижек 7 и 10.

По отводной трубе 9 суспензия Mg(OH)F подается в бак – разбавитель 17. Для интенсификации процесса растворения в баке – разбавителе работает механическая лопастная мешалка 18 с электродвигателем 19, управление которым осуществляется от блока 26. Для соблюдения необходимого режима растворения предусмотрена подпитка бака – разбавителя исходной водой по трубе 7 с помощью электрифицированной задвижки 24. Управление этой задвижкой осуществляется блоком 26, на основании сигналов от датчика уровня 20. Кроме того, от блока 26 осуществляется управление электродвигателем 19 лопастной мешалки 18 путем изменения числа оборотов на основании показаний датчика фтора 15. На основании анализа показаний датчиков фтора 14 и 15, а также расходомера 13 осуществляется блоком 26 управление задвижкой 22, обеспечивая поступление в общий поток исходной воды (труба 16) эжектируемого расхода Q р. Для обеспечения непрерывного дозирования фторсодержащего раствора в исходную воду в общей схеме сооружений необходимо предусмотреть два реактора и один бак - разбавитель, рассчитанный на время пребывания раствора в нём – не менее 20 минут.

Наличие эжектора на трубе подачи исходной воды, всасывающий патрубок которого соединен с трубой подачи раствора из бака - разбавителя, оборудованной электрифицированной задвижкой, в совокупности с расположением на той же трубе расходомера и датчиков фтора, которые соединены с входами блока автоматического управления, один из выходов которого соединён с электрифицированной задвижкой на трубе подвода фторсодержаще-

го раствора к эжектору, позволяет обеспечить режим непрерывного, гибкого и точного дозирования фтора в исходную воду.

Расположение датчиков уровней в реакторе и баке – разбавителе, которые соединены с входами блока управления, выходы которого соединены с электрифицированными задвижками на трубе подачи исходной воды в реактор и отводной трубе позволяет обеспечить оптимальное управление режимами подготовки и транспортирования суспензии и раствора, что также способствует повышению эффективности фторирования воды.

Изобретение можно использовать для питьевого и технического водоснабжения. Устройства могут быть заводского серийного изготовления. При этом расширяются возможности применения технологии на любых системах водоподачи, например, на любой скважине или на любом объекте, потребляющем исходную воду [6].

Технологию можно использовать в установках любой производительности (от ВОС большого города до отдельно стоящего здания или коттеджа). Это могут быть любые объекты водоснабжения на территории России и за рубежом. Также в настоящее время для различных вариантов определяются технологические регламенты, и разрабатывается необходимая документация, с помощью которой будет обеспечена возможность повсеместного внедрения новой технологии.

Литература

1. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод.-М: Стройиздат, 1987.-С. 152 -153.

2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев: Вища школа, 1981. – С. 203 -209.

3. Чудновский С.М., Хазова Е.А. Новая эффективная технология фторирования питьевой воды// Молодые исследователи - регионам: материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов – Вологда: ВоГТУ, 2010. – Т.1. – С. 411-412.

4. Пат. 2452692 Российская Федерация МПК С 02 F 1 /76 , 1/ 68.

Способ фторирования воды и устройство для его осуществления/ Чудновский С.М., Воропай Л.М., Хазова Е.А.; заявитель и патентообладатель ВоГТУ- №2010125099; заявл.15.06.2010; опубл. 10.07.2012.

5. Чудновский С.М., Хазова Е.А. Повышение безопасности и надежности фторирования питьевой воды // II Международная научно-практическая конференция: Научный потенциал мира – Болгария, 2010. – №7. – С. 64-65.

6. Чудновский С.М., Хазова Е.А. Исследования возможностей применения новой технологии фторирования питьевой воды // Успехи современного естествознания – Москва, 2010. – №7. – С. 66-67.

НАНОТЕХНОЛОГИЯ В ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

М.Н. Орлова
Научный руководитель ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Для обеспечения здоровья населения и благоприятного состояния окружающей среды, которые напрямую зависят от качества питьевой воды, необходимо следить за соответствием ее нормам и стандартам по всем показателям. Поэтому чтобы обеспечить содержания железа в воде до 0,3 мг/л, требуется применение новых способов обезжелезивания.

Нашей задачей является разработка такой технологии и устройства для её осуществления, которые позволят дешево и надежно удалять железо из воды в автоматическом режиме, применение которых возможно во всех районах и регионах мира, использующих в качестве источника водоснабжения скважины.

В большинстве случаев качественный состав подземных вод является относительно стабильным по сравнению с поверхностными водами, однако подземные воды часто не соответствуют нормативным требованиям, предъявляемым к питьевой воде и, следовательно, требуют соответствующей очистки от отдельных вредных ингредиентов [1].

Нами был произведен поиск характерных особенностей ионов железа. Такими особенностями, которые можно в перспективе использовать для решения поставленной задачи, являются их «поведенческие» свойства в постоянном электрическом поле: они обладают подвижностью, причем даже в низковольтном электрическом поле их можно передвигать, изменять их скорость и направление, а, следовательно, задерживать и удалять из воды. На скорость движения ионов в электрическом поле влияют следующие факторы: размер иона, его заряд, природа растворителя и напряженность электрического поля. Для того чтобы исключить влияние последнего фактора, принято сравнивать скорости движения ионов при абсолютных градиентах потенциала: $U = 1*В*см^{-1}$.

Результаты выполненных за последнее время пробных аналитических и лабораторных исследований в лабораториях кафедр химии и КИиОПР ВоГТУ показали, что существует реальная возможность использования нанотехнологий для решения многих проблем, связанных с очисткой подземных вод. Поэтому мы считаем, что в настоящее время появилась возможность изменить сложившуюся ситуацию, то есть производить обезжелезивание подземных вод путем создания принципиально новых технологий очистки, с таким расчетом, чтобы эти технологии были предельно дешёвыми, не требовали устройства громоздких и дорогостоящих сооружений, больших эксплуатационных

затрат и чтобы каждую такую технологию было целесообразно и экономически выгодно применять для каждой скважины отдельно.

Для определения оптимальной величины градиента потенциала постоянного электрического поля при разных температурах воды был проведен цикл опытов, который заключался в следующем: через вертикальную емкость снизу вверх осуществлялось ламинарное движение исходной воды с различными содержаниями общего железа в постоянном электрическом поле с разными градиентами потенциала. Для каждого конкретного случая длина пути движения воды L определялась по выведенной формуле (1). На выходе из емкости контролировалось общее содержание железа в очищенной воде. В процессе обезжелезивания визуально наблюдалось осаждение частиц, содержащих железо, на катод. Для воды, имеющей температуру 16°С, полученные результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

Градиент потенциала, В/см	Общее содержание железа в исходной воде на входе в емкость, г/м^3	Общее содержание железа в очищенной воде на выходе из емкости, г/м^3
2	1	0,12
	5	0,15
	10	0,15
	15	0,17
4	1	0,26
	5	0,29
	10	0,32
	15	0,42
8	1	0,26
	5	0,55
	10	0,7
	15	0,93

Для гарантированного удаления всех ионов железа из очищаемой воды длина катода в камере обезжелезивания должна быть такой, чтобы за время движения очищаемой воды вдоль катода все ионы железа смогли задержаться на нем. Поэтому длина катода зависит от скорости движения воды в камере, которая должна быть ламинарной ($V_{лам}$), расхода воды Q, температуры воды t, от которой зависит реальная скорость движения ионов от анода к катоду, расстояния между анодом и катодом и градиента потенциала. Камера обезжелезивания принимается из конструктивных соображений в виде вертикального цилиндра, направление движения воды – снизу вверх, чтобы свести к минимуму влияние выделяющихся пузырьков газа на направленное движение ионов от анода к катоду.

Длина катода:

$$L = L_i \cdot K = \frac{R \cdot \upsilon_{лам}}{\upsilon_{Fe}} \cdot K = \frac{S}{2\pi h} \cdot \frac{Q}{S} \cdot K / \frac{i \cdot U}{F \cdot d} = \frac{Q \cdot F \cdot d}{2\pi h \cdot i \cdot U} \cdot K \,, \qquad (1)$$

где Q - производительность скважины, м³/с;

F - постоянная Фарадея, F = 96485,3383Кл·моль$^{-1}$

d - расстояние между катодом и анодом, м;

U - напряжение электрического поля, В;

i - подвижность ионов железа, Ом$^{-1}$.см^2.кг-экв-1;

h - высота цилиндра (камеры обезжелезивания), м;

К – коэффициент запаса, К = 1,25.

Предельная подвижность ионов железа в значительной степени зависит от температуры обрабатываемой воды [2, с. 404]. Так, например, при температуре 25°С предельная подвижность Fe^{2+} равна 53,5 см^2/г-экв, а Fe^{3+} - 68,0 см^2/г-экв [2, с. 403]. Это при градиенте потенциала 1 В/см соответствует: 5,5х10^{-6} $м \cdot с^{-1}$ и 7,05 х10^{-6} $м \cdot с^{-1}$.

Предельные подвижности при разных характерных для подземных вод температурах приведены в таблицах 2 и 3.

Для Fe^{2+}

Таблица 2

t	0	5	15	18	25
u	26,7	31,4	41,9	45,2	53,5

Для Fe^{3+}

Таблица 3

t	0	5	15	18	25
u	33,9	39,9	53,2	57,5	68

В процессе лабораторных исследований было установлено, что управление процессом обезжелезивания путем регулирования скорости движения исходной воды вдоль катода на основании контроля ее температуры затруднено из-за плохого соответствия данных и реальных результатов: погрешность в отдельных случаях составляла до 35%.

Поэтому при разработке способа обезжелезивания для гарантированного обеспечения требуемого качества воды на выходе из камеры обезжелезивания начальную скорость движения вдоль катода принято устанавливать на основе минимальной предельной подвижности (26,7 см^2/г-экв), а дальнейшее гибкое регулирование скорости – по непрерывно измеряемым показателям содержания общего железа на выходе из камеры.

После оседания частиц, содержащих железо, на катоде изучалась возможность отмывки катода от осевших частиц. Для этого вдоль катода снизу вверх пропускалась вода с повышенной скоростью (турбулентный режим) и

визуально оценивалось качество отмывки в процентах. Время отмывки во всех случаях не превышало 1 минуты. При этом было установлено, что эффективность отмывки в значительной степени зависит от величины градиента потенциала постоянного электрического поля, при котором осуществлялось обезжелезивание воды.

Результаты исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты исследований

Градиент потенциала, В/см	Скорости движения промывной воды, м/сек				
	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
	Качество отмывки катода, %				
1	75	90	100	100	100
2	60	85	100	100	100
3	50	65	80	90	95
4	30	40	55	60	60
5	10	15	30	40	40
6	0	0	10	10	10
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0

Таким образом, в ходе исследований сделан вывод, что имеется возможность разработать два варианта нанотехнологии обезжелезивания:

1 вариант. Весь процесс состоит из двух этапов. На первом этапе процесс обезжелезивания осуществляется при ламинарном движении воды снизу вверх через емкость в постоянном электрическом поле с изменяющейся скоростью в зависимости от температуры исходной воды при градиенте потенциала не более 2 В/см на расстоянии не менее L. Очищенная вода направляется к потребителю. На втором этапе через ту же емкость без воздействия электрического поля пропускается поток промывной воды, со скоростью не менее 0,9 м/сек для смыва с катода задержанных частиц гидроксида железа, с последующей их утилизацией. При этом в верхней части емкости необходимо предусмотреть непрерывное удаление пузырьков выделяющихся газов (предположительно водорода).

2 вариант. Также состоит из двух этапов. Сущность первого этапа такая же, как в первом варианте, но градиент потенциала должен быть не менее 6 В/см. При этом, необходимо предусмотреть постоянное регулирование разности потенциалов в зависимости от изменяющейся массы катода. На втором этапе необходимо предусмотреть замену катодов и их утилизацию. Эти вопросы требуют проведения нескольких циклов исследований.

В итоге, на основе свойств ионов железа приходить в движение под воздействием постоянного электрического тока, был предложен новый способ обезжелезивания подземных вод.

Принцип действия его заключается в следующем: вода из скважины поступает в корпус из диэлектрика, в котором еще до начала работы устанавливается ламинарное движение потока воды блоком управления (при помощи электрофицированных задвижек). Между электродами создается однородное (постоянное) электрическое поле. Под воздействием электрического тока гидроксид железа оседает на катоде. Образующиеся газы, на катоде – водород, на аноде – кислород удаляются при помощи вантуза через вентиляционную трубу. Очищенная от железа вода подается потребителю. Содержание железа и расход воды контролируется при помощи датчика железа и расходомера, установленных на трубопроводе. Если в очищенной воде содержание железа превышает 0,3 мг/л, то блок управления автоматически (при помощи задвижек) увеличивает или уменьшает скорость движения воды в корпусе. После того, как на катоде накопилось определенное количество гидроксида железа, в корпусе создается турбулентное движение потока блоком управления. При скорости движения промывной воды не менее 0,9 м/сек, с катода удаляется гидроксид железа и вместе с промывной водой поступает в гидроциклон. В гидроциклоне гидроксид железа отделяется от промывной воды и поступает в емкость для сбора осадка. Промывная вода из гидроциклона и емкости сбора осадка сбрасывается в канализацию, накопившейся осадок гидроксида железа из емкости периодически удаляется и утилизируется.

Таким образом, если будет внедряться данная технология, то система обезжелезивания подземных вод не только сможет обеспечить гарантированное качество воды, но и значительно сократит трудовые и денежные затраты.

Практическая значимость полученных результатов заключается в обеспечении условий для оперативного, гибкого автоматического управления в режиме реального времени на основе непрерывного контроля процессом обезжелезивания воды, что существенно повысит качество питьевой воды.

Литература

1. Онищенко Г.Г. О состоянии питьевого водоснабжения в Российской Федерации / Г.Г. Онищенко// Здравоохранение Российской Федерации.– 2005.– №3. – С. 3-7.

2. Курс физической химии / под общей редакцией чл.-корр. АН СССР проф. Я.И.Герасимова. – 2-е изд., испр. – М.: Изд-во «Химия», 1973. – Т. 2.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ ИЗ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Е.Н. Паутова
Научные руководители ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Л.М. Воропай*, канд. хим. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

В настоящее время остро стоит вопрос о некачественной питьевой воде. Вода, которая используется нами в качестве питьевой, содержит в себе различные примеси и растворенные вещества, поэтому необходимо, чтобы она проходила эффективную очистку от разного вида загрязняющих веществ. Проблема чистой воды стала одной из важнейших государственных проблем нашего времени. По данным Всемирной организации здравоохранения, почти 80% всех заболеваний вызваны именно некачественной питьевой водой.

Традиционные способы очистки воды недостаточно эффективны, энергозатратны и требуют использования большого количества реагентов. Каждый из существующих способов имеет свои преимущества и недостатки.

В состав воды входят в качестве примесей такие металлы, как алюминий, свинец, барий, цинк, которые относятся ко 2 классу токсичности и при превышении их концентрации в воде относительно значения ПДК пагубно влияют на состояние здоровья людей. Алюминий также оказывает общее отравляющее действие на организм человека и способен аккумулироваться в тканях и органах. В частности, алюминий, накапливаясь в организме, не выводится из него и, тем самым, является причиной старческого слабоумия, повышенной возбудимости, различных неврологических изменений. У детей алюминий вызывает нарушения моторных реакций, анемию, головные боли, заболевание почек, печени, колиты и другие заболевания. Клинические симптомы и патологические состояния при избытке алюминия в организме: апатия, потеря памяти, дезориентировка в пространстве, деменция, мышечные подергивания и судороги, анемия [1].

Целью нашей работы является разработка эффективного способа удаления ионов алюминия из питьевой воды. В соответствии с нормативными требованиями содержание алюминия в питьевой воде в России не должно превышать 0,5 мг/л, а согласно требованиям Всемирной организации здравоохранения – не более 0,25 мг/л.

Алюминий является одним из самых распространенных элементов в земной коре, поэтому содержится практически в любой природной воде. Попадает алюминий в природные воды естественным путем при частичном растворении глин и алюмосиликатов, а также в результате вредных выбросов отдельных производств с атмосферными осадками или сточными водами. Со-

держание алюминия в поверхностных водах колеблется от единиц до сотен г/м^3. Кроме того, при добывании воды из поверхностных источников (реки, озера, водохранилища, каналы), на водоочистных сооружениях производят коагуляцию взвеси в воде, чаще всего с помощью солей алюминия. В тех случаях, когда соли алюминия не полностью расходуются в процессе коагуляции, а это бывает часто, в очищенной воде остается повышенное содержание алюминия.

Например, только на территории Вологодской области не менее 600 тысяч жителей пользуются водой с повышенным содержанием алюминия.

Анализ литературных данных показывает, что существующие методы очистки воды от алюминия, такие как, например, метод ионного обмена и метод обратного осмоса имеют существенные недостатки, в частности, очистку производят на громоздких, плохо управляемых сооружениях. Это приводит к большим строительным и эксплуатационным затратам. Поэтому в настоящее время эффективных и мало затратных систем очистки воды от избыточного алюминия практически не существует.

Нами исследованы «поведенческие особенности» алюминия в воде с целью разработки новой технологии его удаления. К таким особенностям относятся:

1. Ионы алюминия обладают определенной подвижностью в постоянном электрическом поле. Эта подвижность не зависит от концентрации ионов в воде, а зависит в основном от температуры воды и напряженности поля. Например, при температуре 25^{0}С скорость движения ионов алюминия в постоянном электрическом поле при градиенте потенциала 10 В/см составляет 6,53 *10^{-5}м/с$^{-1}$ [2].

– Стандартный электродный потенциал алюминия составляет (-1,67) эВ, поэтому на катоде сам алюминий не восстанавливается из водных растворов. Однако под действием электрического тока алюминий образует с водой гидратированные комплексы, которые группируются в околокатодном пространстве в виде осадка, если значение pH для воды находится в интервале от 6 до 7,5. При отклонении от данных значений pH осадок обычно растворяется. Данный эффект мы предполагаем использовать при очистке воды от растворенной формы алюминия.

На модельной установке выполнен цикл исследований, которые доказывают перспективность применения данного способа.

Алгоритм удаления остаточного алюминия из воды выглядит следующим образом: в воду, после коагуляции с использованием алюминиевого реагента, помещают электроды, которые подключают к источнику постоянного электрического тока и выдерживают при данных условиях в воде от 15 до 60 минут. При соблюдении значения pH водного раствора от 6-7,5 в околокатодном пространстве образуется белый осадок — гидроксид алюминия, количество которого зависит от времени обработки воды. После отделения осадка от

фильтрата в последнем определяют изменение концентрации алюминия. Осадок растворяют в растворе соляной кислоты и после полного его растворения также определяют концентрацию катионов алюминия. Результаты эксперимента показывают, что эффективность очистки воды от алюминия данным методом достигает 70% и более. Для определения эффективности удаления ионов алюминия измеряли концентрацию алюминия в воде до и после очистки. Схема данного процесса изображена на рисунке.

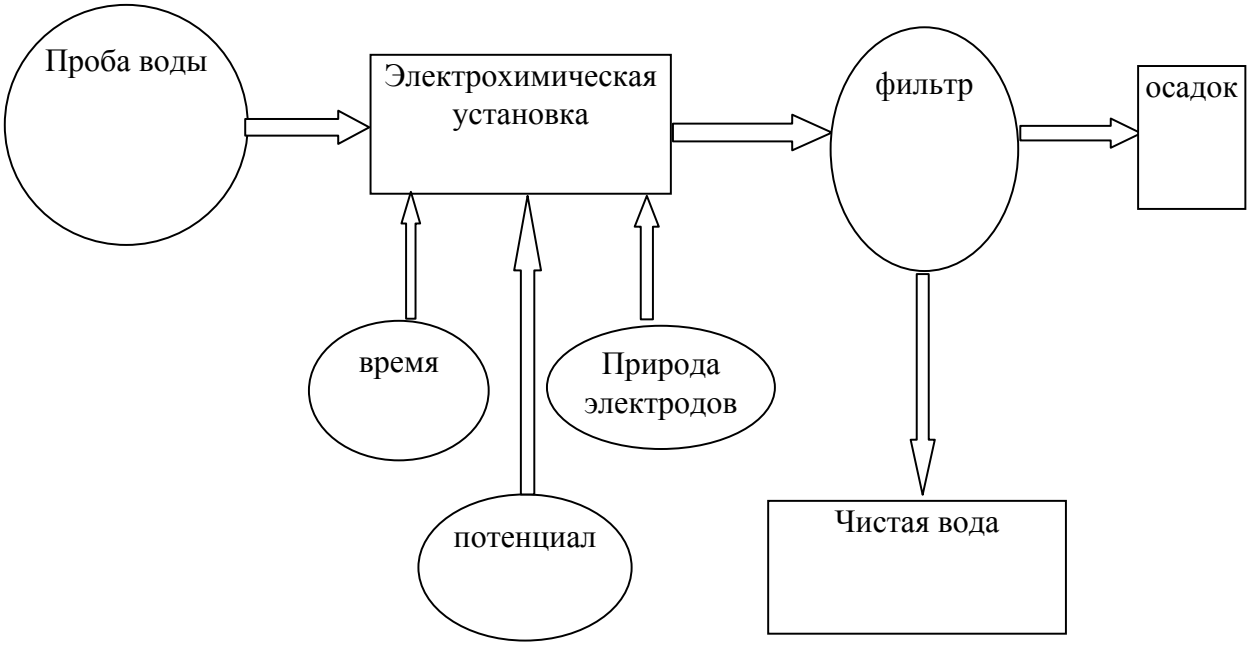


Рис. Схема процесса удаления ионов алюминия из питьевой воды

Таким образом, предлагаемая технология является довольно простой. Под действием постоянного электрического тока именно ионы алюминия выпадают в осадок, который можно отделить известными способами от водного раствора, и этим самым удалить из воды соединения алюминия.

Для реализации предлагаемой технологии не требуется дорогостоящего оборудования и больших площадей. Учитывая, что положительных результатов мы достигали при градиенте потенциала менее 2 В/см, можно предположить, что предлагаемый метод не является энергозатратным.

Проведенные исследования подтверждают целесообразность широкого использования технологий обработки воды в низковольтном постоянном электрическом поле. Следует добавить, что вода после такой обработки остается безопасной для употребления.

Литература

1. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев.: Вища школа, 1981. – С. 190 – 198.

2. Герасимов Я.И. Курс физической химии. – М.: Изд-во «Химия», 1973. – С. 410-411.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ ФТОРА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Е.И. Попова
Научные руководители ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*
Л.М. Воропай*, канд. хим. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Фтор в природе чаще всего встречается в виде плавикового шпата CaF_2, селлаита MgF_2, криолита $AlF_3 \times 3NaF$. Значительные количества его содержатся в фосфорных минералах – фосфорите, апатите.

Основным естественным источниками поступления фтора в водные объекты являются выщелачивание фторосодержащих минералов, а также вулканические выбросы. Антропогенное загрязнение водных объектов фтором обусловлено их выносом со сточными водами ряда промышленных (химического, металлургического, стекольного, керамического и др.) и сельскохозяйственных производств. Источником поступления фтора в природные воды являются также атмосферные осадки, куда он попадает при горении топлива, в виде промышленных выбросов, с почвенной пылью.

Фторид-ион относится к устойчивым компонентам природных вод. На его миграционную способность заметно влияют только ионы кальция. Щелочной характер вод способствует подвижности фторид-ионов. Выщелачиванию фторидов из пород способствуют сульфаты, поэтому для вод с высокой концентрацией сульфатов характерны более высокие концентрации фторидов. Обычно концентрация их в поверхностных водах суши ниже 1 мг/дм^3, а в подземных водах может достигать 10 мг/дм^3. Внутригодовые колебания концентрации фторидов в природных водах обычно невелики. При отсутствии источников существенного загрязнения фториды в основном поступают в реки с грунтовыми водами. В паводковый период доля питания за счёт грунтовых вод уменьшается, поэтому в паводковый период концентрация фторидов всегда ниже, чем в меженный.

Фториды имеют существенное значение для нормального течения физиологических процессов в организме человека и животных. Избыток фтора в питьевой воде вызывает заболевания флюорозом, остеопорозом и нервными расстройствами. Во многих биохимических процессах фтор выступает ингибитором, блокируя активные ферменты, содержащих катионы Mg^{2+}, Ca^{2+} и другие металлы. Имеются данные о неблагоприятном влиянии повышенных концентраций фторид-ионов на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и общее физическое состояние. В тех районах, где питьевая вода бедна йодом, повышенное содержание в ней фторид-ионов может

вызвать заболевание щитовидной железы (фтор вытесняет из тканей щитовидной железы йод) [1]. Именно поэтому в России и других странах нормативные документы, в частности СанПиН, регламентируют содержание фтора в питьевой воде от 0,7 до 1,5 мг/л в зависимости от климатической зоны. Вологодская область находится в климатической зоне, где содержание фтора в питьевой воде должно быть равным 1 мг/л.

До настоящего времени разработаны несколько методов определения массовой концентрации фторидов в воде:

1. Фотометрическое определение фторидов, вариант А – метод основан на способности фторид-иона образовывать растворимый в воде тройной комплекс сиренево-синего цвета, в состав которого входит лантан, ализаринкомплексон и фторид. Интенсивность окраски раствора фотометрируют при длине волны (1=600±10) нм. Определению фторида сильно мешают алюминий и железо, связывая его в комплекс и занижая результаты.

2. Фотометрическое определение фторидов, вариант В – метод основан на том же принципе, что и вариант А, но для повышения оперативности измерения оптической плотности определение проводят в водно-ацетатной среде, в которой полнота развития окраски тройного комплекса лантана, ализаринкомплексона и фторида достигается через 15 мин. Погрешность в этом методе также возможна при тех же массовых концентрациях алюминия и железа.

3.Потенциометрическое определение фторидов – метод позволяет определять суммарную концентрацию фторидов (всех его форм: иона фтора, его комплексных соединений). Для определения используют электродную систему, состоящую из фторидного ионоселективного электрода и вспомогательного хлорсеребряного электрода. Измерение потенциала фторидного электрода проводят высокоомным pH-метром-милливольтметром, заменив стеклянный электрод на фторидный, или прибором иономером. Недостаток этого метода состоит в громоздкости и трудоёмкости приготовления растворов [2].

Все перечисленные выше методы контроля содержания фтора в воде являются продолжительными и высокозатратными. Это одна из проблем, которая препятствует созданию гибких и дешевых технологий удаления фтора из воды. В настоящее время мы нашли возможности создания быстрого и безреагентногометоа точного контроля содержания фторид-ионов в воде.

Кроме того в настоящее время мы занимаемся поиском простой и дешёвой технологии удаления из воды избытка фторид-ионов. Традиционные способы осаждения фторид-ионов с образованием малорастворимых осадков дефторировании питьевой воды не могут быть применимы вследствие того, что растворимость фторидов во много раз превышает допустимую концентрацию фторид-иона в питьевой воде [3].

Для дефторирования воды используют ряд традиционных способов, которые можно объединить в две группы.

К первой группе относится метод фильтрования воды через фторселективные материалы. Он основан на обменной адсорбции ионов, при которой фтор удаляется в процессе пропуска обрабатываемой воды через сорбент.

Ко второй группе относятся методы сорбции фтора осадками гидроксида алюминия или магния, а также фосфатом кальция. Эти методы целесообразно применять только при обработке поверхностных вод при большой концентрации фторид-ионов. Эффективность таких процесов находится в обратной зависимости от pH воды. По мере уменьшения pH воды и подкисления раствора при введении постоянной дозы сульфата алюминия эффективность дефторивания возрастает. Эти методы являются громоздкими, дорогостоящими и сложным в эксплуатации.

Значительно упростить технологию и улучшить качество очищенной воды позволяет разработанный в Вологодском государственном техническом университете новый способ обесфторивания воды, основанный на введении в обрабатываемую воду магнийсодержащего реагента с последующим образованием и отделением полезного реагента – оксифторида магния [4]. Основным недостатком этого способа является его повышенная стоимость.

Целью нашего исследования является разработка дешевого, эффективного и надёжного безреагентного способа дефторирования воды. Для достижения поставленной цели исследовали «поведенческие» свойства ионов фтора в воде. Основным таким свойством является подвижность этих ионов в постоянном электрическом поле. Мы учитываем, что при воздействии постоянного электрического поля фтор не окисляется на аноде, а процессу окисления подвергается вода с образованием кислорода, который реагирует с фторид-ионами с образованием оксида фтора. Из-за плохой растворимости в воде оксид фтора легко подвергается дегазации. Исследования, выполненные нами в лабораторных условиях, показали, что при определенных режимах обработки электрическим полем воды, содержащей фторид-ионы, происходит её дефторирование, причем, эффективность очистки составляет 63% и более.

Для повышения эффективности очистки в качестве анода использовался растворимый алюминиевый провод. В этом случае одновременно с процессами окисления анода происходило комплексообразование окисленных форм алюминия с фтором в виде нерастворимых соединений. В этих случаях эффективность очистки воды от фторид-ионов была увеличена до 76%.

Предлагаемая технология дефторирования позволяет значительно уменьшить габариты водоочистной установки, повысить надёжность очистки и многократно уменьшить себестоимость дефторирования воды.

Литература

1. ГОСТ 4386-89 «Методы определения массовой концентрации фторидов».

2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев: Вища школа, 1981. – С. 203 – 209.

3. Алексеев Л.С., Гладков В.А. Улучшение качества мягких вод. – М.: Стройиздат, 1994.

4. Прончева Л.Е., Тихановская Г.А., Чудновский С.М. Способ обесфторивания подземных вод и устройство для его осуществления. Патент RU 2274608; Опубл. 20.04.06 Бюл. № 11.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКСИМЕРНЫХ ЛАЗЕРНЫХ АППАРАТОВ ГЛАЗНОЙ ХИРУРГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

А.С. Петухов

Научный руководитель ***М.Ф. Умаров****, д-р физ.-мат. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Недостатком существующих лазерных аппаратов является высокая стоимость эксплуатации лазера из-за повышенного расхода дорогостоящих благородных газов. Кроме того, при работе криогенной очистки расходуется жидкий азот, что также повышает стоимость эксплуатации. Другим недостатком системы является необходимость работы с чистыми галогенами (F2, Cl2, газообразный HCl) или их смесями с благородными газами (He или Ne), поэтому всегда существует опасность отравления обслуживающего персонала и пацентов в случае утечки газа, общее количество которого может быть значительным для обеспечения необходимого времени работы лазера. Поэтому должны быть приняты соответствующие меры безопасности, например использование дорогостоящей химической стойкой газовой арматуры, вентиляции адсорбентов, что приводит к еще большему удорожанию системы.

Предложение состоит в том, чтобы использовать геттер, выполненный на основе щелочных и щелочноземельных металлов (Ca, Ba, Mg, K, Na, Li) или их смеси, которые взаимодействуют с большинством продуктов распада газовой среды эксимерного лазера, а также со всеми компонентами атмосферного воздуха (кроме Ar) с N2, O2, CO2 и H2O. Рабочий диапазон температур геттера лежит в пределах от 20 до 600oC, в зависимости от энергии активации используемого металла.

В цепь по току газа следует включить генератор (1) газообразного HCl, который добавляют в газовую смесь (2) благородных металлов (Ne:Ar, He: Xe, Ne:Kr и некоторые др.).

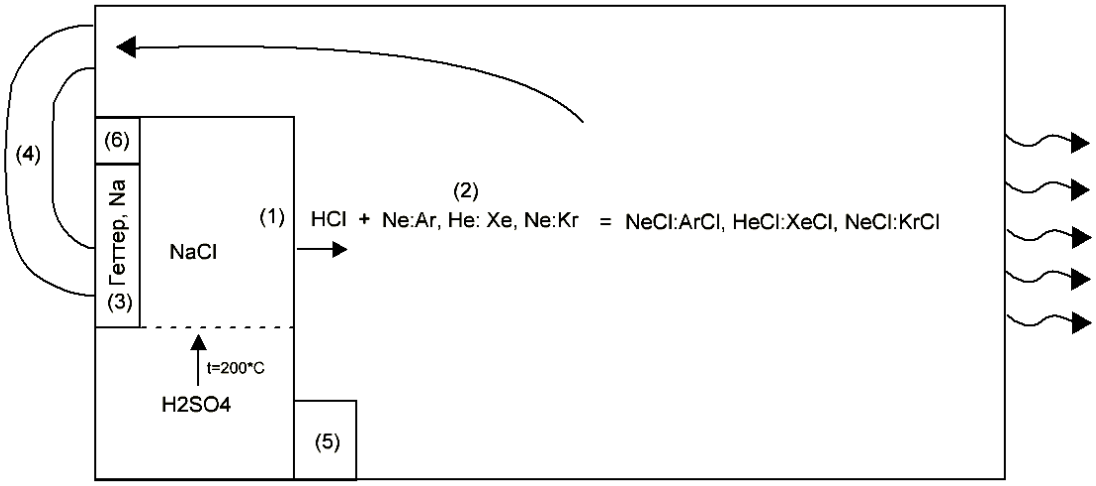


Рис. Принципиальная схема эксимерного лазера

Газовая смесь, откачиваемая из лазерной камеры с помощью системы прокачки (4), попадает в геттер, где происходит удаление примесей в результате химических реакций с ним. Устройство управления генератором HCl (5) поддерживает требуемую в данный момент времени концентрацию HCl в лазерной смеси. Изменяя температуру нагревателя в диапазоне от 20 до 200оС можно контролировать количество и скорость выработки хлористого водорода. Также предлагается внести генератор ультразвуковых волн с частотой 20 кГц, позволяющий в непрерывном режиме очищать геттер от продуктов реакций.

В предлагаемом генераторе HCl с двухкамерным объемом осуществляется нагрев только одного химического компонента - серной кислоты, которая заполняет нижнюю камеру. Температура нагрева 20 - 200оС. Образующиеся в результате нагрева пары серной кислоты проникают сквозь решетку в верхнюю камеру, в которой находится твердый хлорид натрия:

$$2NaCl + H_2SO_4 \xrightarrow{200^o C} Na_2SO_4 + 2HCl \uparrow \qquad (1)$$

Геттер предлагается выполнять из того же Na:

$$\begin{cases} 4Na + O_2 \rightarrow 2Na_2O \\ 2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2 \uparrow \\ Na_2O + H_2O \rightarrow 2NaOH \end{cases} \qquad (2)$$

Система 2 показывает, что реагирует не только сам натрий, но и продукты первичных реакций.

Система 3 показывают, что в результате реакции геттера со смесью газов и галогена образуются твердые и жидкие соединения, не влияющие на дальнейшую работу лазера, значит, способствуют улучшению качества рабо-

ты. Также за счет замкнутого кругооборота веществ достигается высокий уровень экономии газовой смеси и высокая чистота последней.

$$\begin{cases} 6Na + N_2 \rightarrow 2Na_3N \\ Na_2O + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 \\ 2Na + H_2 \rightarrow 2NaH \\ 2Na + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2 \uparrow \\ 2HCl + Ne : Ar \rightarrow NeCl : ArCl + H_2 \uparrow \\ 2HCl + He : Xe \rightarrow HeCl : XeCl + H_2 \uparrow \\ Na + ArCl \rightarrow NaCl + Ar \uparrow \\ Na + XeCl \rightarrow NaCl + Xe \uparrow \\ Na + KrCl \rightarrow NaCl + Kr \uparrow \end{cases} \quad (3)$$

Благодаря предложенному геттеру и системе ультразвуковой очитски, хлорид натрия NaCl вновь поступает в генератор, где вступает в реакцию с парами серной кислоты. Полученный хлористый водород реагирует со смесью благородных газов, и цикл повторяется.

Из-за высокой степени реакции натриевого геттера с продуктами реакции газовой смеси данный метод позволяет с высокой точностью очищать последнюю, получая обратно дорогостоящие галогеновые газы и увеличивая срок их исстощения.

Введение натриевого геттера, системы ультразвуковой очистки и двухкамерного генератора HCl создает новый тип получить высокоточный безопасный эксимерный лазер, в котором расход благородных газов, серной кислоты и хлорида натрия снижен в 4-5 раз по сравнению с использованием баллона с готовым хлоридом водорода и превращает лазерную систему в экологически чистую и безопасную.

Литература

1. Жуков Б.Н. Лекции по лазерной медицине: учебное пособие / Б.Н. Жуков, Н.А. Лысов, В.Н. Бакуцкий, В.И. Анисимов. – Самара: СМИ, 1993. – 52 с.

2. Канюков В.Н. Развитие научно-технических решений в медицине: учебное пособие / В.Н. Канюков, Н.Г. Терегулов, В.Ф. Винярский, В.В.Осипов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 255 с.

СИНЕРГИЗМ ДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ

М.В. Румянцева
Научные руководители ***Л.М. Воропай****, канд. хим. наук, доцент*
Т.К. Карандашева*, канд. геогр. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Основным направлением природоохранной деятельности предприятий является разработка безотходных и малоотходных способов производства, в которых отходы производства используются в качестве сырья для других технологических процессов. К таким способам обработки техногенных отходов относится сорбция, включающая адсорбцию и десорбцию, которую используют при очистке жидких и газообразных отходов производства.

Известно, что эффективность десорбции зависит от природы адсорбатов и адсорбентов; растворяющей способности растворителей, используемых для десорбции; технологических параметров производственного цикла (температуры, давления, плотности насыпного слоя адсорбента, способа подачи растворителя через адсорбер, перемешивания, ультразвукового воздействия, дополнительной обработки паром). Однако даже при соблюдении одинаковых условий процесса очистки эффективность сорбции может быть разной.

Цель настоящей работы: оценить суммирующий эффект взаимодействия загрязняющих веществ, поступивших в адсорбент, на процессы адсорбции и десорбции.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ процессов адсорбции модельных растворов, содержащих один компонент загрязняющего вещества 2-го и 3-го классов токсичности (Cu^{+2}, Ni^{+2}, Fe^{+2}, Co^{+2}).
2. Анализ эффективности адсорбции на модельных системах, содержащих несколько компонентов загрязняющих веществ.
3. Анализ селективности и синергизма процессов десорбции загрязняющих веществ с поверхности адсорбента, содержащих одно (или несколько) примесное соединение.
4. Разработка рекомендаций по применению особенностей данного яаления в производственных условиях.

На первом этапе были приготовлены модельные растворы загрязняющих веществ ($CuSO_4$; $CoCl_2$; $FeCl_3$; $NiSO_4$), одинаковой концентрации (0,025 экв/л). В модельные растворы одинакового объёма были помещены разные виды адсорбентов с одинаковой массой адсорбента (3г). Адсорбенты выдерживались в разных растворах при комнатной температуре в течение 5 минут, 20 минут, 40 минут, недели. Затем раствор фильтровали, и фотоэлектроколо-

риметрическим методом в фильтрате определялась концентрация загрязняющего вещества.

На втором этапе адсорбент с примесями вновь помещался в растворитель (типовые растворители – вода или раствор соляной кислоты) и промывался в течение 20 – 30 минут. После промывки раствор фильтровался, определялась концентрация загрязняющих компонентов в фильтрате, и рассчитывалась эффективность десорбции.

Таким образом, было проведено 250 опытов.

На третьем этапе проводилась аналитическая обработка экспериментальных данных. В результате установлено, что если в растворе присутствует только один компонент загрязняющего вещества, то максимальная эффективность адсорбции характерна для катионов железа, минимальная – для катионов кобальта (рис. 1).

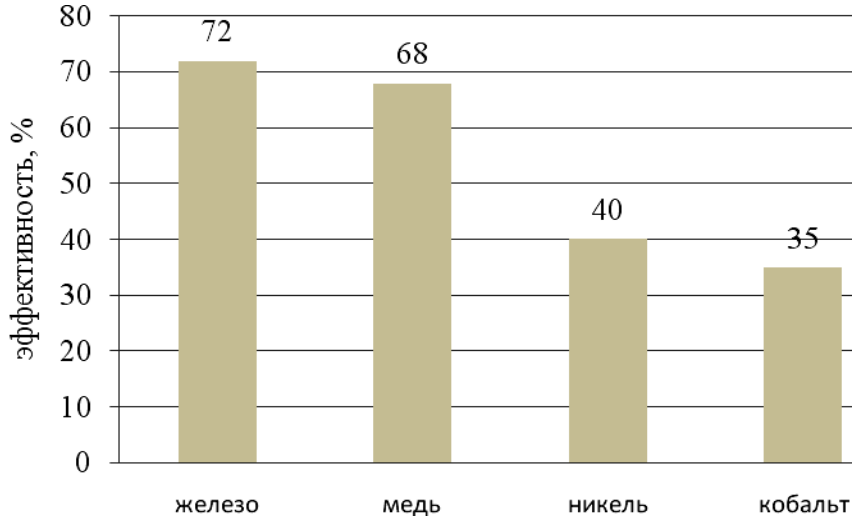


Рис. 1. Эффективность адсорбции однокомпонентных систем

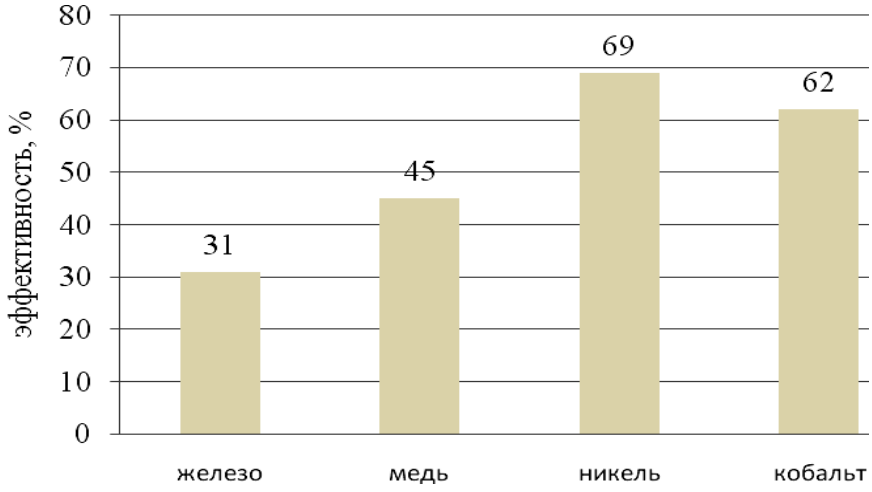


Рис. 2. Эффективность адсорбции многокомпонентных систем

То есть ряд изменения эффективности адсорбции выглядит следующим образом: $Fe^{+3} > Cu^{+2} > Ni^{+2} > Co^{+2}$ (ряд №1).

В присутствии смеси компонентов поверхностью адсорбентов в первую очередь сорбируется катионы Ni и Co и ряд эффективности адсорбции меняется: $Ni^{+2} > Co^{+2} > Cu^{+2} > Fe^{+3}$ (ряд №2) (рис. 2).

Определены ряды эффективности десорбции, если в растворе присутствует один компонент загрязняющего вещества: $Ni^{+2} > Cu^{+2} > Co^{+2} > Fe^{+3}$(ряд №3) (рис. 3); или смесь компонентов: Ряд № 4 $Co^{+2} > Ni^{+2} > Cu^{+2} > Fe^{+3}$(ряд №4) (рис. 4).

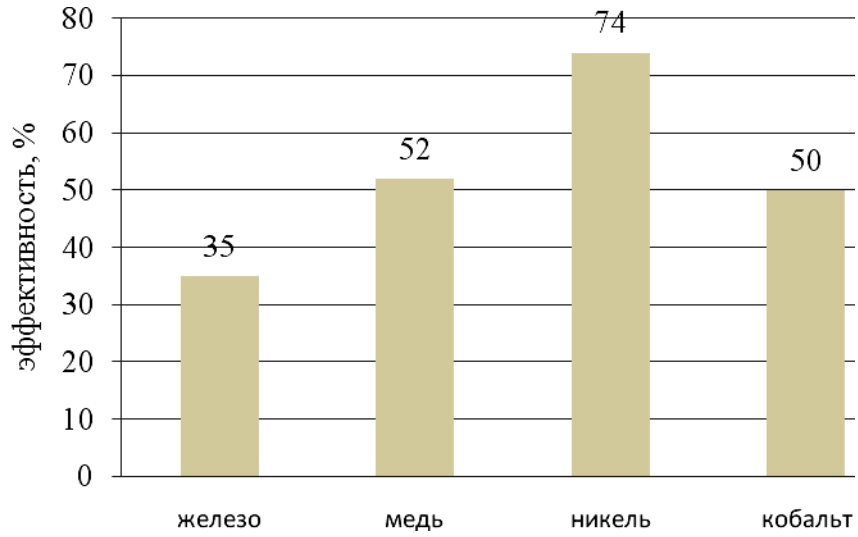


Рис. 3. Эффективность десорбции однокомпонентных систем

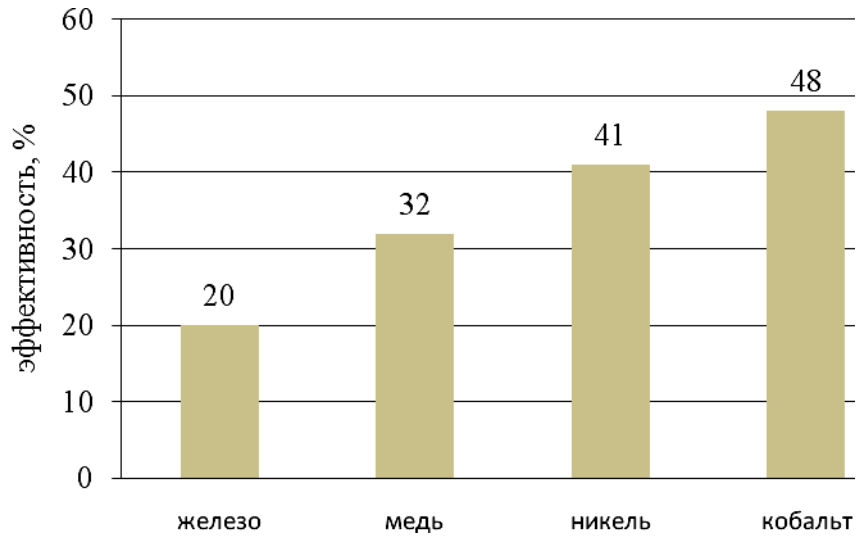


Рис. 4. Эффективность десорбции многокомпонентных систем

Таким образом, установлено, что эффективность десорбции зависит не только от природы примесей, но и от синергизма их действия, то есть в присутствии нескольких компонентов загрязняющих веществ эффективность де-

сорбции изменяется по сравнению с эффективностью десорбции отдельного компонента.

Установлено, что минимальная эффективность десорбции характерна для железа. Вероятно, это объясняется тем, что катионы железа в присутствии других компонентов в водных средах подвергаются гидролизу с образованием гидратированных комплексов, которые образуют пробки в порах и препятствуют процессам десорбции. Для удаления данных "пробок" рекомендуется для обработки адсорбентов использовать кислые растворы, в которых гидратные комплексы железа переходят в растворимое состояние.

Работа имеет практическое значение, выполняется в течение полутора лет, и полученные данные воспроизводимы.

Литература

1. Родионов, А.И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектировния технологических процессов: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьёв. – М.: Химия, КолоС, 2005. – 392с.

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОСВЕТЛИТЕЛЯХ СО ВЗВЕШЕННЫМ ОСАДКОМ

К.А. Семенова

Научный руководитель ***С.М. Чудновский****, канд. техн. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Основной целью научной работы является достижение наилучшего качества воды при значительном уменьшении стоимости сооружений и себестоимости очистки воды. Для решения поставленной цели необходимо решить задачу, связанную с разработкой технологии переоборудования технологической схемы с осветлителями со взвешенным осадком (ОСВ) для адаптации к местным условиям.

В настоящее время используемые практически во всех регионах Российской Федерации сооружения с ОСВ не соответствуют местным условиям, в частности, на Севере и Северо-западе Европейской части России, где воды в поверхностных источниках относятся к маломутным, высокоцветным.

Существует 5 основных технологических схем водоподготовки для добывания воды из поверхностных источников. Одна из них содержит осветлители со взвешенным осадком коридорного типа (рисунок 1).

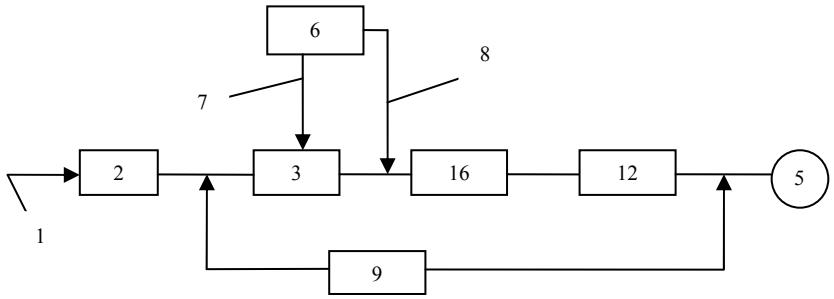


Рис. 1. Технологическая схема водоподготовки с ОСВ

По трубе подачи 1 исходная вода поступает на барабанные сетки или микрофильтры 2, где она очищается от крупных твердых загрязнителей. Затем она направляется в смеситель 3, где смешивается с раствором коагулянта 7, поступающим из реагентного хозяйства 6. В дальнейшем по пути движения воды из смесителя в ОСВ 16 в воду добавляются вспомогательные реагенты: флокулянты и щелочь 8. В осветлителях со взвешенным осадком происходит осветление и частичное обесцвечивание воды. Затем вода направляется на фильтры 12, где она проходит окончательную очистку до требований стандарта по мутности и цветности, откуда направляется в резервуар чистой воды 5. Кроме того перед смесителем и после фильтра в воду добавляются обеззараживающие реагенты из устройства 9.

Принцип действия осветлителей со взвешенным осадком заключается в осветлении воды при прохождении ее через слой взвешенных хлопьев (образовавшихся в результате коагуляции), где происходит укрупнение их и более эффективное осветление воды. Осветлители представляют собой вертикальные отстойники, в которых вода поступает через нижние дырчатые трубы, поднимается вверх, проходит через слой осадка и затем - в сборные желоба. Осадок поступает через осадкоотводящие окна в камеру уплотнения и удаляется по трубопроводу.

Схема осветлителя со взвешенным осадком (ОСВ) коридорного типа приведена на рис. 2.

При использовании схемы с ОСВ для очистки маломутных вод количество образующегося в коридорах осветлителя взвешенного осадка явно недостаточно для эффективной очистки. Кроме того, данная технология очень чувствительна к температурному режиму воды, особенно при низких температурах: при малейшем изменении температуры хлопья взвешенного осадка изменяют своё направление движения и, таким образом, нарушается весь режим очистки, что недопустимо.

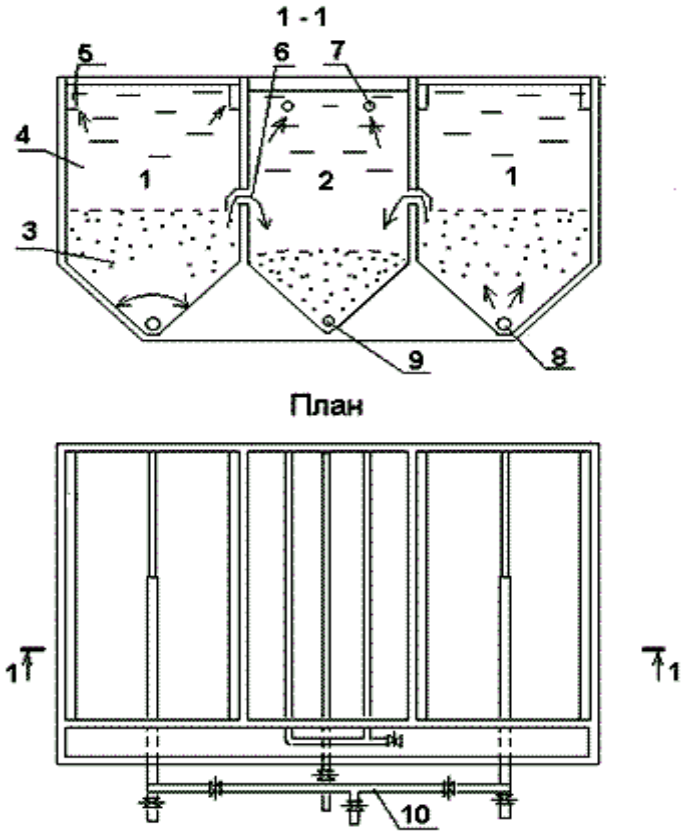


Рис. 2. Конструкция осветлителя со взвешенным осадком коридорного типа: 1 – коридоры осветления; 2 – осадкоуплотнитель; 3 – слой взвешенного осадка; 4 – зона осветления; 5 – сборные желоба; 6 – осадкоприемные окна; 7 – трубы принудительного отвода осветленной воды; 8 – трубопровод распределения исходной воды в коридорах осветления; 9 – трубопровод сброса осадка; 10 – подача исходной воды в осветлитель

Изначально схема с осветлителями со взвешенным осадком разрабатывалась для очистки вод большой и очень большой мутности, средней цветности в регионах с теплым и жарким климатом. В таких условиях она показывает неплохие результаты. В соответствии со СНиП 2.04.02-84 схема с ОСВ должна применяться для вод с мутностью не менее 50 мг/л (в поверхностных источниках, используемых для водоснабжения Вологды, мутность не превышает 10 мг/л). В этом и заключается несоответствие данной схемы местным условиям Севера и Северо - Запада.

Для решения данной проблемы предлагаем схемы переоборудования технологических схем с ОСВ и перевод их на новые технологии. В частности, предлагается поэтапная реконструкция (модернизация) очистных сооружений путем перевода их на схему с контактными осветлителями, где будет обеспечена эффективная коагуляция воды, опробованная в наших регионах. В контактных осветлителях обеспечивается эффективный процесс слипания частиц коллоидной системы при их столкновениях в процессе броуновского (теплового) движения. Коагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц (увеличением размера и массы агрегатов) в объёме дисперсионной среды.

Контактные осветлители представляют собой разновидность фильтровальных устройств, работающих по принципу фильтрования воды в направлении убывающей крупности зерен через слой загрузки повышенной толщины,

который реализуется применением восходящего фильтрования, снизу вверх. Схема контактного осветлителя представлена на рисунке 3.

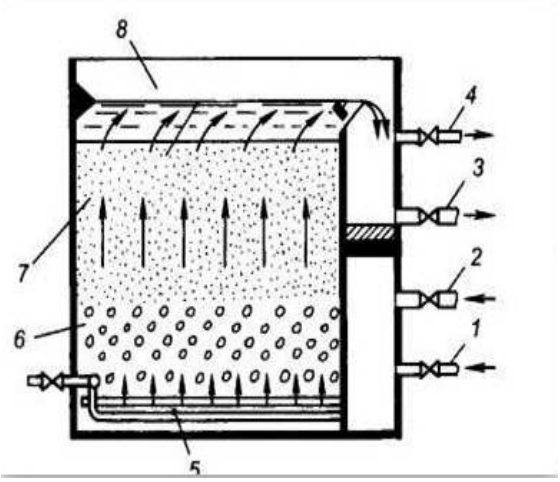


Рис. 3. Контактный осветлитель: 1 – трубопроводы для подачи промывной и осветляемой воды; 2 – трубопроводы для отвода промывной и осветленной воды; 3 – распределительная система из перфорированных труб; 4 – гравий; 5 – песок; 6 – желоб

Принцип действия контактного осветлителя основан на том, что после добавления в исходную воду коагулянта, при движении воды через слои зернистой загрузки в её порах происходит образование и задержание хлопьев.

Эффективность процессов коагуляции зависит не только от оптимальной дозы коагулянта, но также от размеров пор фильтрующей загрузки, а также от направления и скорости движения воды через эту загрузку.

Переоборудование схемы с ОСВ на схему с контактными осветлителями (КО) – это наиболее подходящий вариант для условий Северного и Северо-западного регионов, так как схема с КО предназначена для осветления и обесцвечивания маломутных вод со средней и высокой цветностью для любых климатических условий.

Таким образом, имеется возможность в осветлителе со взвешенным осадком сначала отключить одну секцию из нескольких. Эту секцию переоборудовать путем перевода на технологическую схему с контактными осветлителями, предусмотрев автоматизацию процессов очистки. Отключение одной секции не окажет особенного влияния на работу всего комплекса сооружений. После переоборудования производительность одной секции увеличится в несколько раз, а расход коагулянта уменьшится. Это создаст условия для поэтапного отключения и переоборудования следующих секций.

Кроме того, в Вологодском государственном техническом университете разработан новый способ очистки маломутных цветных вод [1]. Особенность этого способа заключается в том, что перед коагуляцией в течение не менее 15 минут осуществляется обработка воды напорной флотацией.

Как показал многолетний опыт эксплуатации таких сооружений, реализованных по этому способу в поселке Надеево, Вологодской области, предварительная напорная флотация позволяет в несколько раз снизить дозы коагулянта, отказаться от флокулянтов, подщелачивающих реагентов, уменьшить

содержание остаточного алюминия в очищенной воде, сократить затраты времени на процесс коагуляции. В результате, при обеспечении высокого качества очищенной воды получается значительный экономический эффект.

Таким образом, внедрение предлагаемой схемы модернизации позволит получить реальную выгоду, которая будет заключаться в:

- гарантированном качестве воды на выходе из водоочистных сооружений;
- снижении до минимума влияние остаточных реагентов на здоровье потребителей;
- значительном уменьшении затрат на водоподготовку и на строительство очистных сооружений.

Литература

1. Патент RU 2142419. Способ очистки маломутных цветных вод / Чудновский С.М., Миронова Н.Л.; заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех.ун-т. – опубл.10.12.1999, Бюл.№23.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ЗООЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

Д.А. Сенина
Научный руководитель ***Н.Я. Поддубная****, канд. биол. наук, доцент*
Череповецкий государственный университет
г. Череповец

В настоящее время для решения различных проблем и практических задач используются самые разнообразные методы. Однако самыми современными в настоящий момент, из наиболее широко использующихся, являются молекулярно-генетические методы. Они используются повсеместно как в медицинских целях, так и в зоологических исследованиях.

Зоологи исследовательской группы ЧГУ исследуют видовое разнообразие куньих на Северо-Западе, а также изучают статус редкого вида – европейской норки на уникальной территории, где никогда не производили выпуска в природу американской норки. Интродуцированная американская норка отличается хорошей приспособляемостью и активно вытесняет европейскую норку, поэтому ареал распространения европейской норки сильно сократился за два десятилетия. К сожалению, последние данные представлены 94 г, таким образом, мы видим актуальность изучения современного распространения вида.

Традиционные методы изучения встречаемости диких животных, к которым относятся изучение по следам, в том числе в специальных ловушках, по краниологическим останкам, происходят с изьятием животных из природы, а также связаны с большими временными и финансовыми затратами. В на-

стоящее время большую актуальность приобрели методы исследования без изъятия животных из среды обитания. Это такие, как фото- и видеофиксация, различные радиомаячки, но такие методы технически сложны и дороги, поэтому большой интерес и воодушевление вызывают возможность молекулярно-генетической идентификации животных по ДНК, содержащейся в экскрементах, как альтернатива традиционным методам изучения.

В 2001 году Fernandes с соавт. [1] опубликовали статью по изучению возможности видовой идентификации куньих по их экскрементам методом секвенирования маркерной последовательности участка митохондриальной ДНК генов cytB/т-РНК/D-петли. Ему удалось получить ампликоны для дальнейшего анализа у 25% образцов, а сделать видовую идентификацию для 2,6% образцов. По мнению автора такой низкий процент идентификации связан с деградаций ДНК в образцах и присутствием большого количества ингибиторов при выделении из фекалий. Неудача могла быть вызвана также и тем, что автор использовал набор для выделения из тканей (DNeasy Tissue Kit), специально не предназначенным для выделения из фекалий.

Нами были апробированы праймеры из этой статьи, однако, полный анализ каждого образца на 7-8 пар праймеров является трудоемким процессом, при низкой температуре отжига, на которую запланированы праймеры часто образуются неспецифические продукты, а также праймеры для определения наиболее интересующего нас вида - европейской норки плохо апробированы на образцах и дают специфический продукт на ДНК черного хоря, с которым европейская норка находится в наибольшем родстве.

В 2008 году похожий метод был применен В.В. Рожновым с соавт. [2]. Ими была выделена ДНК сорбентным методом , специфический участок митохондриальной ДНК амплифицирован методом nested-PCR и получившиеся продукты размером 260 н.п. были секвенированы и идентифицированы путем сравнения с аналогичными последовательностями в программе BLASTn. В итоге, из 50 образцов мы идентифицировали 17,таким образом, процент успешных определений был всего 34%, что связано с низкой специфичностью праймеров к сем. куньи.

Таким образом, нам пришлось разработать собственную методику определения видовой принадлежности куньих на основе специфической ПЦР и последующего секвенирования контрольного участка D-петли митохондриальной ДНК.

На основе имеющихся в GenBank **(http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/)** последовательностей был проведен сравнительный анализ гипервариабельного участка 1 митохондриальной ДНК интересующих видов куньих, обитающих на территории Северо-Западного региона РФ. Анализ включал последовательности европейской норки, американской норки, хорька, лесной куницы, обыкновенной ласки, соболя, горностая, выдры. В результате были выбраны праймеры на консервативные для всех видов участки, ограни-

чивающие вариабельный участок 409 н.п., позволяющий провести видовую идентификацию.

Была проведена предварительная апробация праймеров на ДНК, выделенной из мышц и образцов шкурок интересующих видов. В результате были получены контрольные последовательности, позволяющие провести идентификацию с высоким уровнем достоверности 70%.

Далее была проведена идентификация экскрементов, собранных во время полевой практики летом 2011 с территории Вологодской области, респ. Коми, а также была взята контрольная группа экскрементов животных (европейской норки) из Ильменского заповедника. Использовались различные методы консервации, такие как замораживание и фиксация спиртом.

В результате по этой методике мы исследовали 125 образцов, из которых было успешно определено 87 образцов. Таким образом, процент успешного определения равен 70%, из которых 51 образец(41%) принадлежит американской норке, 29 образцов (23%) выдре, 6 образцов (5%) кунице и 1 образец (1%) европейской норке.

Таким образом, мы видим, что использование молекулярно-генетических методов в зоологии дает очень неплохие результаты, этот метод менее трудоемок и сложен, чем остальные и полностью оправдывает свою себестоимость.

В медицине данные методы уже давно активно используются как для выявления различных инфекционных, включая ЗППП, определение отцовства и материнства и для решения ряда других проблем. Однако, нередко требуется различная корректировка каких-либо параметров в ходе проведения анализа, или как в нашем примере, синтез новых праймеров, что медицинские лаборанты не всегда могут квалифицированно осуществить. Поэтому, на наш взгляд, необходимо создание научных лабораторий в каждом регионе или крупном городе, которая имеет возможность связаться с центрами, имеющими доступ к суперсовременному оборудованию и высококвалифицированными кадрами.

Литература

1. Fernandes C.A., Catarina Ginja,Iris Pereira, Roge´rio Tenreiro, Michael W. Bruford, Margarida Santos-Reis. Species-specific mitochondrial DNA markers for identification of non-invasive samples from sympatric carnivores in the Iberian Peninsula // Conserv Genet (2008) 9:681–690.

2. Rozhnov V. V., A. L. Morgulis, M. V. Kholodova, and Meshcherskii I. G. The Use of Molecular Genetic Methods for Identification of Mustelid Species by Analyzing Feces // *Russian Journal of Ecology, 2008, Vol. 39, No. 1, pp. 70–72*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БЕЛОЗЕРСКОМ РАЙОНЕ

М.А. Соколова, Е.А. Попова
Научный руководитель ***Л.Г. Рувинова****, д-р биол. наук, профессор*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

С развитием цивилизации водные ресурсы стали использоваться в несоизмеримых количествах. В настоящее время проблема снижения качества воды является одной из самых главных. Оценка качества поверхностных вод очень важна для определения влияния воды на здоровье населения, проживающего на различных территориях, в целях рационального природопользования [10].

Цель данной работы: проанализировать экологическое состояние поверхностных вод в Белозерском районе.

Задачами являлось проведение геоэкологической характеристики и изучение качества вод Белого, Лозского и Азатского озер, а также изучение перспектив сохранения водных природных ресурсов.

Предмет исследования: экологическое состояние поверхностных вод. Объектами исследования являлись Белое, Лозское и Азатское озера, которые связаны между собой рекой Куность.

Экологический анализ рассматриваемых озер проведен М.А. Соколовой, анализ по данным результатов качества воды по Лозскому и Азатскому озерам представлены Е.А. Поповой.

В работе проанализированы данные наблюдений МУП «Райводоканал» в Белозерском районе за период с 2006 по 2011 года, выполненные в соответствии с:

1) СанПиН 2.1.4.1074-01 от 01.01.2002 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [9];

2) Приказом Росрыболовства от 18.01.2010 №20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [9].

Также проанализированы данные докладов Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области за период с 2006 по 2011 года, представленные по РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» с применением программного комплекса «УКИЗВ-сеть» [1-5, 8]. Данный комплекс разработан и введен в действие в 2002 году Гидрохимическим институтом Федеральной службы России по гидрометеорологии

и мониторингу окружающей среды. В качестве норматива используются ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов и частота обнаружения концентраций, превышающих нормативы. Классификация качества воды, проведенная на основе значений удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), позволяет разделить поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности, при этом для более детальной оценки 3-й и 4-й классы опасности разбиты соответственно на два и четыре разряда:

1-й класс – условно чистая;
2-й класс – слабо загрязненная;
3-й класс – загрязненная;
разряд «а» – загрязненная;
разряд «б» – очень загрязненная;
4-й-класс – грязная;
разряд «а», «б» – грязная;
разряд «в», «г» – очень грязная;
5-й класс – экстремально грязная [6].

Оценка качества водных объектов проводится на основе статистической обработки результатов гидрохимических наблюдений [6].

Контроль качества воды, забираемой из озера Белого и подаваемой населению после очистки на водопроводные очистные сооружения, производится в соответствии с «Рабочей программой производственного контроля качества питьевой воды». Данная программа разработана в соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения [9].

Контроль качества воды в МУП «Райводоканал» ведется по микробиологическим, паразитологическим, органолептическим, радиологическим, обобщенным и химическим показателям. Анализ воды производится:

1. В ведомственной лаборатории МУП «Райводоканал», которая имеет Свидетельство о состоянии измерений от 09.06.2006 года №443 со сроком действия до 09.06.2013 года. Измерения проводятся выше и ниже сброса сточных вод на 500 м и ниже сброса на 12 м.

2. В лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Вологодской области в г. Белозерске».

3. В автономной некоммерческой организации «Аналитический центр» в г. Вологде [9].

В результате проведенного экологического анализа Белого озера выяснено, что имеет место токсикологическое и органическое загрязнение, ускорение темпов эвтрофирования, снижение видового богатства и видового разнообразия обитателей озера. Первопричиной является интенсивная и разноплановая многолетняя эксплуатация озера, связанная с водоснабжением, су-

доходством, промышленным рыболовством, лесопереработкой, сельским и коммунальным хозяйством [9].

Централизованными системами водоснабжения из Белого озера обеспечены город Белозерск, деревни Глушково, Панкратово и Ямская [7].

По данным Белозерского межрайонного «Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора» вода в Белом озере за 2006 - 2011 гг. не соответствовала санитарным нормам по химическим показателям в 26% проб, по бактериологическим в 16% [9].

На основе значений УКИЗВ по данным гидрохимического мониторинга Вологодского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2006-2011 года можно заключить, что к 2011 году наблюдается некоторое улучшение качества воды и переход от разряда «очень загрязненная» к разряду «загрязненная» [1-5, 8]. При этом наблюдались превышения ПДК по показателям железо, ХПК, медь, а в 2006-2009 годах дополнительно по цинку [1-3, 8] и в 2007 году – по сульфатам [2].

Повышенное содержание железа, ХПК, меди, цинка, влияющее на уровень загрязнения озера, определяют в основном природные факторы.

Рост концентраций меди и цинка является следствием особенностей водовмещающих грунтов. Интенсивное судоходство и дноуглубительные работы способствуют поступлению мелкодисперсной глинистой взвеси, обогащенной медью, в воду и переносу меди по Белому озеру. Превышение ПДК по железу связано с высоким природным содержанием железа в воде. Находясь сравнительно недалеко от крупного промышленного центра – города Череповца, Белое озеро испытывает на себе и воздействие загрязняющих веществ через воздушный перенос с дождями. Это, прежде всего, связано с превышением ПДК в 2007 году по сульфатам. Низкая прозрачность и очень высокие значения минерализации, содержания сульфатов, органических веществ приводят к превышению ПДК по ХПК [2].

Из стационарных загрязнителей Белого озера можно выделить следующие:

1. «Белозерский пекарь», который сбрасывает ежегодно 761 килограмм органики в каждой тысяче кубометров сточных вод;

2. МУП «Районный водоканал»;

3. ОАО «Белозерский леспромхоз» (Мегринский и Георгиевский лесопункты, ОП «Лесозавод»);

4. Колхоз «Рассвет», расположенный в деревне Глушково и занимающийся разведением крупного рогатого скота, выращиванием зерновых, зернобобовых и кормовых культур, а также заготовкой растительных кормов [7].

Проводятся следующие природоохранные мероприятия:

- ежегодный гидрологический мониторинг;

- обеспечение эксплуатации очистных сооружений канализации в соответствии с требованиями экологической безопасности;

- организация зоны санитарной охраны первого пояса источника питьевого водоснабжения согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого водоснабжения»;

- предотвращение попадания в воду озера случайных проливов нефтепродуктов на Мегринском лесопункте Белозерского «Леспромхоза» и своевременный вывоз хозяйственно-бытовых стоков на очистные сооружения МУП «Райводоканала» [7].

В результате проведенного экологического анализа Лозского и Азатского озер выяснено, что их водосбор можно оценить как ценную для поддержания ландшафтного и биологического разнообразия территорию. Опираясь на материал исследований, можно сделать вывод, что основную нагрузку на экосистемы Лозского и Азатского озер оказывают сельское хозяйство, промышленное рыболовство, использование в хозяйственно-питьевых и коммунально-бытовых целях [9].

Для обеспечения 75 сельских населенных пунктов питьевой водой из Лозского и Азатского озер работают следующие водозаборы: МУП «Антушево» и МУП «Гулино». Пункты наблюдения за качеством воды установлены в селе Антушево (Лозское озеро) и в деревне Никоновская (Азатское озеро) [7].

По данным Белозерского межрайонного «Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора» за 2006 - 2011 года качество воды в Лозском озере соответствовало требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода», а в Азатском озере не соответствовало по органолептическим показателям. Причины превышения связаны с природным органолептическим свойством воды – повышенным содержанием цветности и мутности [9].

Гидрохимический мониторинг Вологодский центр на Лозском и Азатском озерах не производит. Но на реке Куность, в которую впадает Лозское озеро, оборудован пункт контроля качества вод реки. На основе значений УКИЗВ по данным гидрохимического мониторинга за 2006 – 2011 года можно заключить, что к 2011 году наблюдается ухудшение качества воды и переход от разряда «загрязненная» к разряду «очень загрязненная». При этом наблюдаются превышения ПДК по показателям железо, ХПК, медь, а в 2011 году дополнительно и по $БПК_5$, аммонию, нитритам [1-5, 8].

Повышенное содержание железа, ХПК, меди, цинка, влияющее на уровень загрязнения озера, определяют в основном природные факторы.

Повышенное содержание в воде биогенных элементов (аммония, нитритов, $БПК_5$) является следствием аномально высокой температуры воздуха летом 2010 года, вызвавшей активное развитие водной растительности, последующее отмирание которой и привело к ухудшению показателей по биогенным веществам. Также возможная причина увеличения показателей в 2011 году – это продолжение сброса большого количества хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод преимущественно в Лозское озеро [2].

Из стационарных загрязнителей Лозского и Азатского озер можно выделить следующие:

1. Очистные сооружения МУП «Антушево» и МУП «Гулино»;

2. Колхозы ООО «Антушево» и ООО «Согласие»;

3. Неорганизованный сток хозяйственно-бытовых вод [7].

Проводятся следующие природоохранные мероприятия:

- гидрологический мониторинг на реке Куность;

- организация зоны санитарной охраны первого пояса источника питьевого водоснабжения согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого водоснабжения»;

- обеспечение эксплуатации очистных сооружений канализации в соответствии с требованиями экологической безопасности в деревне Никоновская и селе Антушево;

- расположение охраняемых территорий – ландшафтного памятника природы «Васькин бор» и нескольких охраняемых болотных массивов [7].

Таким образом, для сохранения и воспроизводства фауны и флоры Белого, Лозского и Азатского озер необходима дальнейшая разработка профилактических мер по снижению и предотвращению негативного влияния на биоту промышленной и сельскохозяйственной деятельности, осуществляемой в непосредственной близости от границ рассматриваемых озер; а также важно использование ландшафтного памятника природы «Васькин бор» для задач фонового экологического мониторинга, сравнительного анализа тенденций в изменениях окружающей природной среды в условиях общего возрастания антропогенной деятельности.

Литература

1. Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области и итогах деятельности Департамента в 2006 году / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды в Вологодской области. – Вологда, 2007. – 52 с.

2. Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области и итогах деятельности Департамента в 2007 году / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. – Вологда, 2008. – 62 с.

3. Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области и итогах деятельности Департамента в 2008 году / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. – Вологда, 2009. – 232 с.

4. Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области и итогах деятельности Департамента в 2010 году / Правительство Во-

логодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. – Вологда, 2011. – 62 с.

5. Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области в итогах деятельности Департамента в 2011 году / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. – Вологда, 2012. – 69 с.

6. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – М.: Росгидромет, 2002. – 21 с.

7. Обеспечение населения Белозерского района питьевой водой: программа / Администрация Вологодской области, Комитет по охране окружающей среды Вологодской области, Комитет районного самоуправления Белозерского муниципального района. – Вологда, 2008. – 294 с.

8. Оперативный доклад об итогах деятельности департамента и экологической обстановке на территории Вологодской области в 2009 году / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. – Вологда, 2010. – 63 с.

9. Проект нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в Белозерский обводной канал для МУП «Районный водоканал»: утв. ООО Рацио 19.08.2008. – Вологда: Б. и., 2008. – 132 с.

10. Стадницкий, Г. В. Экология : учеб. пособие для вузов / Г.В.Стадницкий, А. И. Родионов; под ред. В. А. Соловьева, Ю. А. Кротова . - 3-е изд. . - СПб. : Химия , 1997 . – 240 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

М.В. Степырев

Научный руководитель ***Л.Г. Рувинова****, д-р биол. наук, профессор*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Современный уровень развития общественного производства характеризуется особой актуальностью целого ряда взаимосвязанных проблем, относящихся к природопользованию – основной форме взаимодействия общества и природной среды. В технической литературе этот термин давно используется для отражения взаимосвязи различных форм и проявлений современной жизни с окружающей средой. Экологические аспекты хозяйственного развития страны, включая энергетику, подчеркивают необходимость учета экологических и социальных последствий. Научно-техническая революция во всех сферах общественного производства, а в энергетике особенно, в значительной степени усложнила характер связей в системе «человек – природа – общество» и прив-

несла в нее целый ряд негативных сторон. Экологические проблемы развития производительных сил приобрели глобальные масштабы. Антропогенное загрязнение атмосферы приводит к существенному изменению ее состава, который, в свою очередь, вызывает изменение теплового состояния планеты, геохимические аномалии и т. п. Некоторые зарубежные ученые рассматривают вопрос о невозможности дальнейшего развития производительных сил с сохранением среды, пригодной для обитания человека, но при этом недооценивают возможности положительных изменений в связи с развитием научно-технического прогресса в области «экологически чистых» производств [1].

Деградация природной среды может быть предотвращена путем вмешательства государства в хозяйственную деятельность предприятий с оптимизацией их взаимоотношений с природной средой. Экологическая ситуация в стране вызывает необходимость применения системного подхода для учета всей совокупности процессов взаимодействия общества с природной средой и рассмотрения их как единой эколого-экономической системы.

Увеличение мощности и выработки электроэнергии, необходимое для обеспечения прироста потребительского спроса на электроэнергию, создает предпосылки для усиления отрицательного воздействия электроэнергетики на окружающую среду. Дополнительные воздействия могут выражаться в изъятии земельных и водных ресурсов, загрязнении земель, вод и атмосферного воздуха. В связи с этим одной из важнейших проблем экологической оптимизации развития электроэнергетики является всемерное сокращение этих воздействий с использованием различных природоохранных мероприятий.

Масштабы воздействия объектов электроэнергетики на природную среду определяются для различных целей – от решения задач, связанных с проектированием отдельных объектов и обоснованием их эффективности, до оптимизации условий развития электроэнергетики и размещения ее основных объектов. При проектировании конкретного объекта оценка масштабов его влияния на окружающую среду необходима для расчета и обоснования природоохранных мероприятий, экономической и экологической эффективности, т. е. оценивается, в какой мере проектируемый объект удовлетворяет санитарным требованиям, и, в первую очередь, нормативам по ПДК.

Оценки должны подтвердить (или опровергнуть) допустимость строительства объекта в данном районе с экологической точки зрения. Для детальных объектных экологических обоснований требуются не только данные о рассматриваемом объекте, но также гидрологическая, топографическая, геологическая и экологическая характеристики площадки и района его размещения, показатель плотности населения, характеристики промышленного, сельского, коммунального хозяйств района и других внешних условий.

Экологические проблемы, связанные в основном с оптимизацией развития электроэнергетики, должны решаться с учетом необходимости обеспечения надежного и экономически эффективного энергоснабжения потребителей

при удовлетворении высоких требований по охране окружающей среды при развитии электроэнергетики на достаточно продолжительный период времени (20–30 лет) [2].

Основным методом решения такой задачи является сопоставление различных вариантов, каждый из которых обеспечивает полное удовлетворение всех нормативных требований по охране окружающей среды и размещается на территориях, где имеются соответствующие природные и экологические ресурсы.

Варианты развития электроэнергетики не исключают необходимости учета экологической составляющей воздействий на окружающую среду. Они могут различаться по количеству используемых земельных и водных ресурсов, масштабам загрязнения воздушного и водного бассейнов, воздействия на почвы, объекты народного хозяйства и т. д. Как правило, варианты будут различаться и размерами затрат на природоохранные мероприятия. Очевидно, указанные различия вариантов по условиям воздействия на окружающую среду энергетических объектов должны учитываться при комплексном энергоэкономическом сопоставлении. В то же время необходимо считаться с тем обстоятельством, что прогнозная оценка масштабов воздействия электроэнергетики на окружающую среду имеет свою специфику, связанную в первую очередь с тем, что при рассмотрении долгосрочной перспективы редко представляется возможность опираться на детальные проектные проработки по конкретным объектам электроэнергетики. Такие проработки по объектам возможного строительства в отдаленной перспективе, а тем более их экологическое обоснование и согласование, как правило, отсутствуют. В связи с этим возникает задача получения и использования укрупненных показателей и оценок. Для этого необходимы глубокий анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта, а также тенденций в развитии не только природоохранных технологий, но и природных и антропогенных процессов, формирующих экологическую обстановку в различных регионах. Методы укрупненных оценок воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду, предназначенные в первую очередь для экологического сопоставления вариантов долгосрочного развития этой отрасли [3].

Также не маловажен вопрос о компенсации земель, отводимых под строительство объектов электроэнергетики.

Если работы по рекультивации земель на объектах электроэнергетики в определенных объемах систематически ведутся, то снятие плодородного слоя пока осуществляется в единичных случаях и в самых минимальных размерах. Нанесение плодородного слоя почвы на малопродуктивные угодья может быть одним из способов восстановления изымаемых сельскохозяйственных угодий. В этом случае возмещение потерь сельскохозяйственных земель может не производиться. После широкого применения компактного элегазового оборудования для распределительных устройств на ПС 500, 750 и 1150 кВ

площади этих подстанций могут уменьшиться на 30–40 %. Площадь ПС 1150 кВ с применением обычного оборудования достигает 46,5 га, а с применением элегазовых комплектных устройств (КРУЭ) снижается до 27 га.

При строительстве ВЛ на ценных сельскохозяйственных землях, а также в районах тундры и в других аналогичных условиях необходимо максимально использовать для транспортирования материалов и конструкций, а также для проезда и производства работ на трассе вертолеты, транспортные средства на воздушной подушке и другие машины и механизмы, чтобы свести до минимума потравы (повреждения растительности и грунта). С той же целью, когда это экономически обосновано, следует более широко использовать фундаменты, не требующие разработки котлованов: винтовые анкеры, сваи, поверхностные фундаменты и т. п.

При проектировании ВЛ в ценных лесных насаждениях (парки, заповедники, охранные зоны и т. п.) следует предусматривать минимальную ширину просек (вырубку) и рекультивацию земли (корчевку пней и планировку) на всей площади просек. С той же целью в этих условиях следует более широко применять многоцепные и компактные ВЛ.

Для сокращения площади подстанций целесообразно устанавливать на них компактное элегазовое оборудование, распределительные стройства и шинопроводы, практиковать подземное расположение подстанций, а также применять блочные устройства.

Для защиты птиц от поражения электрическим током необходимо продолжить разработку и совершенствование различных конструкций птицезащитных устройств.

Важным техническим средством, обеспечивающим безопасность работающих в полосе санитарно-защитной зоны ВЛ, является применение на всех машинах и транспортных средствах заземляющих устройств для снятия потенциала с машин и предотвращения опасных разрядов.

Для обеспечения безопасности труда механизаторов открытые кабины и сидения тракторов, комбайнов, сеялок должны снабжаться навесами в виде козырьков и экранов из проводящего материала. Хорошим средством оповещения являются широко используемые щиты-транспаранты, устанавливаемые вблизи границ санитарно-защитной зоны. Эти щиты, содержащие основные требования режима безопасности, особенно важны для лиц, случайно оказавшихся вблизи ВЛ.

Несмотря на то что габариты проводов ВЛ сверхвысокого напряжения определяются принятыми нормативами на напряженность электрического поля, в некоторых местах, например, над автодорогами или над плантациями культур, требующих длительной обработки, целесообразно применение экранов из заземленных тросов [2].

Экологические проблемы при строительстве объектов электроэнергетики должны решаться на самой первой стадии при подготовки экологически

обеспеченных проектов. Качество и обоснованность оценки воздействия на окружающую среду во многом зависит от того, как организованы инженерно-экологический изыскания. Используемые строительные нормы и правила, регламентирующие изыскательскую деятельность требуют актуализации и совершенствования.

Литература

1. Мазур, И. И. Курс инженерной экологии : учеб. для вузов/ И. И. Мазур, О. И. Молдаванов ; под ред. И. И. Мазура. – М.: Высш. шк., 1999. – 447 с.

2. Электроэнергетика и природа. Экологические проблемы развития электроэнергетики / под ред. Г. Н. Лялика, А. Ш. Резниковского. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 352 с.

3. Астапов К. Реформирование электроэнергетики в России и за рубежом // МЭИМО. – 2004. – №4.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ ТЕХНОГЕННЫХ СРЕД ОТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Н.С. Травкин, Е.С.Никитинская

Научный руководители ***Л.М. Воропай****, канд. хим. наук, доцент,*

Т.К. Карандашева*, канд. геогр. наук, доцент*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Основной проблемой технологических процессов является разработка финишной очистки техногенных сред от загрязняющих веществ. В производственных условиях используются разные способы очистки газовых, жидких и твердых технологических систем от компонентов загрязнителей. К таким технологиям относится обработка техногенных сред с помощью ультразвука.

В промышленности применяют разные типы ультразвуковых установок, в которых отсутствует прямое контактное взаимодействие обрабатываемых сред с источниками ультразвука, что приводит к снижению эффективности очистки.

Ультразвуковую обработку можно применять при очистке адсорбентов, которые используются на финишной очистке техногенных сред (жидкости и газов). Процесс очистки проводят в типовых адсорберах, где отсутствует ультразвуковое воздействие, и вымывание загрязняющих веществ с поверхности адсорбентов происходит за счет физико-химических процессов.

К существенным недостаткам типовых адсорберов относятся:

1) Недостаточная эффективность (60 – 70 %).

2) Из-за малой эффективности десорбции на стадии регенерации адсорбентов технологический процесс приостанавливают на 2 - 3 смены.

3) Процессы регенерации сопровождаются спеканием слоя адсорбентов, что увеличивает сопротивление воздушному или водному потоку, в результате происходит деструктурирование адсорбента и резко снижается эффективность технологического процесса.

4) При охлаждении происходит процесс конденсации воды, что приводит к снижению адсорбционной емкости адсорбента.

5) Процесс регенерации адсорбентов максимально проводят 7-9 раз, после чего адсорбенты вывозятся на свалку, происходит вторичное загрязнение окружающей среды, и увеличиваются экономические затраты[1].

Целью данного исследования является разработка технологических параметров очистки реальных технологических средс помощью ультразвука в контактной ультразвуковой установке. Объектом исследования являются отработанные смолы ОАО «Вологодский вагоноремонтный завод».

Ранее на базе кафедры химии ВоГТУ проводились исследования ультразвукового воздействия на модельные системы [2].

Растворы готовились в лабораторных условиях одинаковой концентрации (0,025 экв/л и 0,005 экв/л), в них помещались адсорбенты (активированные угли, селикагели, диатомитовые земли, ионобменные смолы) и выдерживались в течение 20-30 минут до окончания процесса адсорбции. После фильтрации и отделения адсорбентов от жидкостей адсорбенты помещались в ультразвуковой реактор и подвергались ультразвуковому воздействию. Полученные результаты свидетельствуют, что ультразвуковой способ очистки жидких и твердых сред от загрязняющих веществ является более эффективным в сравнении с традиционными методами, применяемыми в промышленности.

На основании экспериментальных данных была разработана установка, основанная на технологии контактного ультразвука, в которой осуществляют обработку техногенных сред (твердых, жидких, растворенных или контактирующих с жидкостью газов) в динамическом состоянии, приближенным к производственным условиям (рис.).

Многофункциональный ультразвуковой реактор состоит из блока управления и ультразвуковой установки.

В блоке управления технологическим процессом располагаются ультразвуковой генератор, обеспечивающий работу излучателей, система охлаждения, а также элементы защиты и управления технологическим процессом.

Ультразвуковая многофункциональная установка предполагает следующие конструкционные элементы: реактор цилиндрической формы для обработки сред, выполненный из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т, что позволяет обрабатывать как чистую воду, так и любые другие среды, применяемые в технологическом процессе; перфорированные ячейки для твердых техногенных сред.

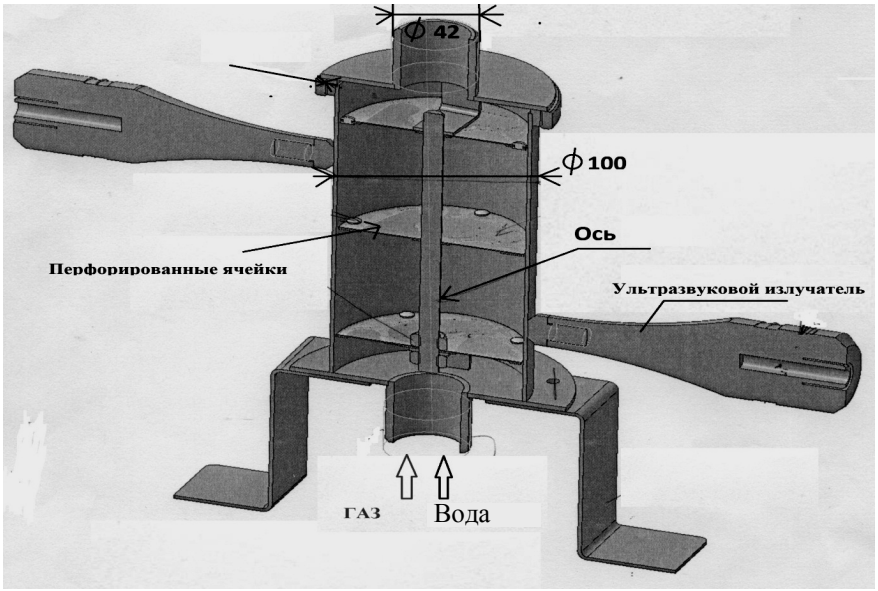


Рис. Многофункциональный ультразвуковой реактор

Для активации процессов монтируются в стенки реактора два ультразвуковых излучателя мощностью 100 Вт каждый, которые передают ультразвуковые волны на стенку установки и последняя становится излучателем. Величина кавитации в этом случае возрастает в 1,5 – 2 раза в сравнении с существующими технологиями. Для обеспечения необходимой безопасности ультразвуковые излучатели помещаются в футляр, изготовленный из фторопласта. Подача жидкости и (при необходимости) газа, которые обеспечивают равномерное перемешивание техногенных сред, осуществляется снизу.

Максимальное время регенерации адсорбентов составляет 5-10 минут, число кавитации - 1000 - 1200. При уменьшении числа кавитации до 500 – 600, которое определяется кавитометром, увеличивается время десорбции до 20 – 30 минут, при этом не сохраняется структура адсорбентов.

Эффективность десорбции на модельных системах в лабораторных условиях составляет 85 - 90 %.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что при наличии в обрабатываемых средах органических смолянистых отложений обработка твердых сред с помощью растворителей, использующихся в производственных условиях (вода или раствор соляной кислоты) недостаточна.

В настоящей работе в качестве обрабатываемых сред использовались отработанные адсорбенты финишной очистки сточных вод Вологодского вагоноремонтного завода. В результате установлено, что химический состав отложений в порах адсорбента включает следующие неорганические компоненты:Fe^{+2},Fe^{+3},Pb^{+2}, Cu^{+2}, Al^{+3}, Ca^{+2}, Mg^{+2},SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^{-1}, которые при ультразвуковом воздействии в водных растворах практически не удаляются с поверхности адсорбентов. При применении в качестве растворителей растворов сульфокислот происходит растворение органической поверхностной пленки,

препятствующей процессам десорбции, и последующее вымывание неорганических компонентов.

Нами предлагается следующая технологическая схема очистки твердых сред, содержащих как органические, так и неорганические соединения, с помощью контактного ультразвука на примере адсорбентов:

1. Ультразвуковая обработка адсорбентов в растворе ПАВ (сульфокислоты);
2. Ультразвуковая очистка в воде.

Таким образом, с помощью многофункционального ультразвукового реактора разработана технология очистки производственных твердых отходов, содержащих как органические, так и неорганические загрязняющие вещества. Определены технологические параметры для процессов ультразвуковой очистки техногенных сред и экспериментальным путем установлена эффективность процесса.

Потенциальными потребителями данного метода могут являться предприятия:

- тепло-энергетического комплекса;
- водоподготовки;
- металлургии;
- машиностроительного комплекса;
- лесохимического комплекса;
- пищевая промышленность.

Литература

1. Воропай Л.М., Тихановская Г.А., Агафонова Н.И. Ультразвуковой метод очистки адсорбентов // Вузовская наука – региону: мат. 8-й всерос. научно-техн. конф. В 2-х т. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – Т.1. – С. 383 – 386.

2. Вашко В.Ю., Ультразвуковой метод регенерации адсорбентов // Молодые исследователи – регионам: мат. всероссийской научной конф. В 2-х т.- Вологда: ВоГТУ, 2011. – Т. 1. – С. 337-338.

ПРОБЛЕМА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛОГДЫ

И.А. Травкина
Научный руководитель ***Т.К. Карандашева****, канд. геогр. наук, доцент*
Вологодский государственный технический университет
г. Вологда

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) актуальна на всех территориях, где проживает человек, и особенно остро она воспринимается в городских условиях. Важнейшими аспектами проблемы ТБО являются:

- Объем ТБО непрерывно возрастает как в абсолютных величинах, так и на душу населения;
- Состав ТБО постоянно усложняется: добавляются все возрастающее количество экологически опасных компонентов [1, 2].

Спецификой проблемы твердых бытовых отходов в Российской Федерации является то, что абсолютное большинство отходов (96-98%) свозится на свалки [1].

Цель настоящего исследования – оценка накопления, сбора и удаления твердых бытовых отходов в городских условиях на примере г. Вологды.

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области [3] за период с 2002 по 2010 гг. суммарные отходы предприятий г. Вологды имеют тенденцию роста (рис.).

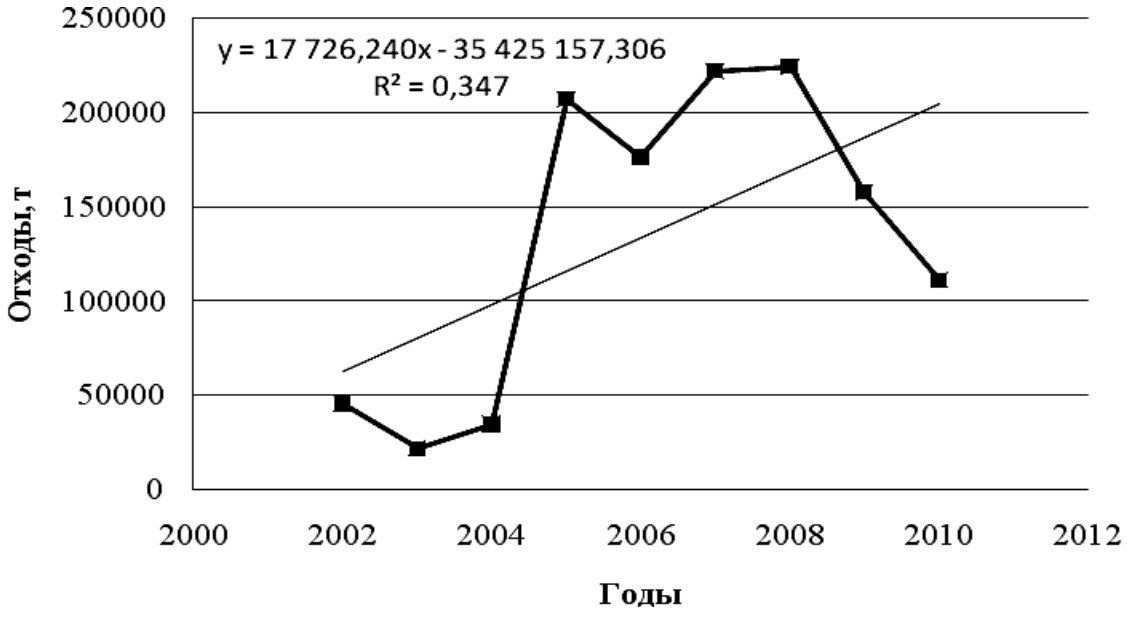


Рис. Динамика суммарных отходов предприятий г. Вологды

Достоверность аппроксимации изменения отходов во времени линейным трендом оценена по коэффициенту детерминации (R^2 =,0347), который

показывает, что изменения массы отходов на 34,7% определяются течением времени.

Линейный коэффициент корреляции:

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0{,}347} = 0{,}589$$

составляет более 0,5, что также свидетельствует о заметной линейной связи.

Оценка статистической значимости уравнения линейного тренда в целом, то есть проверка адекватности линейной модели, проведена с помощью критерия Фишера. Эта задача решается путем расчета критерия Фишера и сопоставления его с критическим значением.

Расчетное значение критерия Фишера

$$F_{расч} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m}{m-1},$$

где R - линейный коэффициент корреляции;

m – число параметров в уравнении регрессии;

n – число наблюдений [4].

В данном случае

$$F_{расч} = \frac{0{,}347}{1-0{,}347} \cdot \frac{9-2}{2-1} = 3{,}7.$$

Расчетное значение критерия Фишера сопоставляется с критическим значением, определяемым для числа степеней свободы $k_1 = m-1$ и $k_2 = n-m$ и заданного уровня значимости α [4].

В данном случае $k_1 = 1,\ k_2 = 7$. Уровень значимости принимаем $\alpha = 0{,}10$, что соответствует вероятности 0,90, и получаем

$$F_{крит} = 3{,}6.$$

Так как $F_{расч} > F_{крит}\ (3{,}7 > 3{,}6)$, то уравнение тренда признается существенным. Таким образом, с вероятностью 0,90 можно утверждать, что суммарные отходы предприятий г. Вологды имеют тенденцию к росту.

По уравнению тренда, признанному статистически значимым, заключаем, что ежегодный прирост массы отходов г. Вологды составляет в среднем 17 700 т.

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области за 2010 г. в суммарной массе отходов предприятий г. Вологды 95,6 % составляют отходы, декларированные ЗАО «Экопром-Вологда» - предприятием, которое в основном и занимается городскими отходами.

Для муниципального образования г. Вологды норма накопления твердых бытовых отходов для жилищного фонда независимо от формы собственности и степени благоустройства, составляет 482,5 кг или 1,93 м^3 на 1 человека в год. Численность населения МО «Город Вологда» на 1 января 2010 года составляет

309,167 тысяч человек [5], то есть объем образования твердых бытовых отходов от жилого сектора за год составляет 149 173,1 т или 596 692,3 м^3 [5].

Накопление отходов населением осуществляется на специально оборудованных контейнерных площадках. Сбор твердых бытовых отходов производится в металлические контейнеры объемами 0,7 м^3 и 1,1 м^3, расположенные на специальных площадках. Всего на территории города находится 1507 контейнерных площадок, на которых размещается 4447 контейнеров.

Сбор и вывоз отходов на территории г. Вологда осуществляется организациями, имеющими лицензию на обращение с опасными отходами. По состоянию на 01.09.2011 г. вывоз твердых бытовых отходов осуществляют 11 организаций [5]. Вывоз твердых бытовых отходов от жилого сектора производится по графику, согласованному с управляющими организациями.

В мировой практике известно более 20 методов обезвреживания и утилизации ТБО. Методы обезвреживания и переработки ТБО делятся:

- по конечной цели - на ликвидационные (решающие, в основном, санитарно-гигиенические задачи) и утилизационные (решающие и задачи экономики - использование вторичных ресурсов);
- по технологическому принципу – на биологические, термические, химические, механические и смешанные.

Большинство этих методов не нашли значительного распространения в связи с их технологической сложностью и сравнительно высокой себестоимостью переработки ТБО [5]. Повсеместно применяется наиболее простое и дешевое сооружение - полигон ТБО.

С территории г. Вологды вывоз отходов производится на свалку ТБО, расположенную по адресу ул. Мудрова, 40. Эксплуатацию свалки осуществляет ЗАО «Экопром-Вологда» [5].

На данном объекте уже долгое время складируются отходы промышленных предприятий, отходы от жилого фонда города, от уборки улиц и площадей. Складирование ведется методом навала без тары [5].

Свалка на ул. Мудрова введена в эксплуатацию в 1954 г. Площадь свалки составляет 24,7 га и на ней разрешено размещение отходов 4 и 5 классов опасности. Размеры санитарно-защитной зоны от границ свалки составляют: север – 1025 м; северо-восток – 1350 м; восток – 1225 м; юго-восток – 700 м; юг – 625 м; юго-запад – 500 м; запад – 500 м; северо-запад – 825 м.

В настоящее время свалка на ул. Мудрова выработала свой ресурс. В ближайшие 5 лет планируется завершить эксплуатацию свалки на ул. Мудрова и закончить строительство нового полигона.

Общая площадь нового полигона составит 305000 м^2, в том числе площадь захоронения твердых бытовых отходов за весь период эксплуатации полигона – 233600 м^2. Планируемый объем захоронения твердых бытовых отходов за весь период эксплуатации полигона составит 16,4 млн. м^3 при плотности 0,200 т/м^3. Планируемый срок эксплуатации Полигона – не менее 22 лет [5].

Таким образом:

1. За исследуемый период суммарные отходы предприятий г. Вологды имеют тенденцию к росту: средний ежегодный прирост составляет 18 000 т.

2. Масса твердых бытовых отходов, образующихся в жилом секторе г. Вологды, за год составляет в среднем 150 000 т. Сбор отходов в жилом секторе осуществляется на специально оборудованных контейнерных площадках. Вывоз твердых бытовых отходов осуществляют 11 организаций.

3. Свалка отходов на ул. Мудрова действует с 1954 г. и в настоящее время выработала свой ресурс. Ведется строительство нового Полигона с планируемым сроком эксплуатации не менее 22 лет.

Литература

1. Проблема твердых бытовых отходов (ТБО), 2005, [электронный ресурс] / ООО «ЭкоПроект» – режим доступа: http://ecoproect-stp.ru/inform_2.html

2. Проблема ТБО: ее история и современные масштабы, 2003, [электронный ресурс] / Эрудиция. Российская электронная библиотека – режим доступа: http://www.erudition.ru/

3. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. - Вологда, 2000 - 2010.

4. Теория статистики: учебник / под ред. проф. Г.Л. Громыко. – М.: ИНФРА-М, 2000. - 414 с.

5. Генеральная схема санитарной очистки территории города Вологды. Финансово-проектная компания. – Ульяновск, 2011. – 256 с.

СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИТОКОВ РЕКИ ВОЛОГДЫ

Л.Н. Трусова, Е.И. Федченко

Научный руководитель ***Л.Г. Рувинова****, д-р биол. наук*

Вологодский государственный технический университет

г. Вологда

Обязательный элемент в реализации основных направлений государственной политики в области экологии – это наличие информации о состоянии природной среды и уровня ее загрязнения, изменении этого состояния во времени, воздействии природной среды на качество жизни населения.

Данная работа проведена с целью анализа гидрохимического состояния водных объектов, выявления тенденций изменения качества воды р. Содимы, р. Шограш, р. Тошни. Для анализа качества воды использованы материалы

мониторинга Государственной службы наблюдений Росгидромета 2005-2011 г.г. Основными задачами работы являлись:

• Сбор и обработка данных регулярных наблюдений Государственного мониторинга за химическим составом р. Содимы, р. Шограш, р. Тошни.

• Расчет удельных комбинаторных индексов загрязнения воды.

• Оценка качества поверхностной воды.

• Оценка динамики загрязненности поверхностной воды.

• Выявление причин загрязнения водотоков.

Представленная информация ориентирована на её использование для комплексной оценки последствий влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на водные экосистемы. Информация об изменениях и фактическом загрязнении может быть использована также для оценки эффективности природоохранных мероприятий.

При выполнении данной работы использован метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по основным гидрохимическим показателям на основе УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), согласно РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» с применением программного комплекса «УКИЗВ–сеть». Проведена классификация степени загрязненности воды, т.е. условное разделение всего диапазона состава и свойств поверхностных вод в условиях антропогенного воздействия на различные интервалы. При этом были использованы следующие классы качества воды: 1-й класс – «условно чистая»; 2-й класс – «слабо загрязненная»; 3-й класс: разряд а) – «загрязненная», разряд б) – «очень загрязненная»; 4-й класс: разряды а) и б) – «грязная», разряды в) и г) - «очень грязная»; 5-й и 6-й класс – «экстремально грязная» [2].

При оценке загрязненности поверхностных вод использованы «Нормативы качества водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [1].

Гидрографическая сеть в пределах города Вологды и его окрестностях представлена крупной рекой Вологдой, рассекающей городскую застройку на две равные части, и её притоками: реками Тошня, Шограш, Содима.

Анализ гидрохимического состояния водных объектов – рек Шограш, Содимы, Тошни указывает на то, что в течение всего анализируемого периода вода в данных реках обладала высокой комплексностью загрязненности. Наибольшее загрязнение наблюдается в период летней и зимней межени, когда уровни воды достигают минимальных значений, и в период весеннего половодья, когда происходит таяние снежного покрова и смыв загрязняющих веществ с прилегающих территорий. Следует отметить значительный вклад в загрязнение поверхностных водных объектов неорганизованного стока, поступающего с водосборной площади.

Длина реки Тошни составляет 103 км, площадь водосборного бассейна — 1130 км², используется для водоснабжения г. Вологды. Гидрохимические исследования состояния реки проводились в черте г. Вологды – в 500 м выше устья реки.

Основными источниками загрязнения р. Тошня являются промышленные сточные воды, сточные воды от дачных поселков, ливневые сточные воды, засоренность бытовыми и производственными отходами.

Анализ гидрохимических данных 2005-2011 гг. показал, что характерными загрязняющими веществами р. Тошни являются органические вещества, фенолы (рис. 1).

Рис. 1. Повторяемость концентраций загрязняющих веществ выше 1 ПДК в воде р. Тошни

В 2005 г. качество воды р. Тошни характеризовалось 4 классом качества, разряда «А» (грязная) УКИЗВ – 4,03. С 2006 г. по 2007 гг. на р. Тошне произошло улучшение качества воды - смена класса качества с 4 «А» (грязная) на 3 «Б» (очень загрязненная) УКИЗВ 3,20-3,48. В 2008 г. зафиксировано ухудшение состояния водного объекта, качество воды р. Тошни характеризуется 4 классом качества, разряда «А» (грязная) УКИЗВ – 4,63. В 2009-2011 гг. качество воды на уровне 2008 г., УКИЗВ 4,39-5,33 (рис. 2).

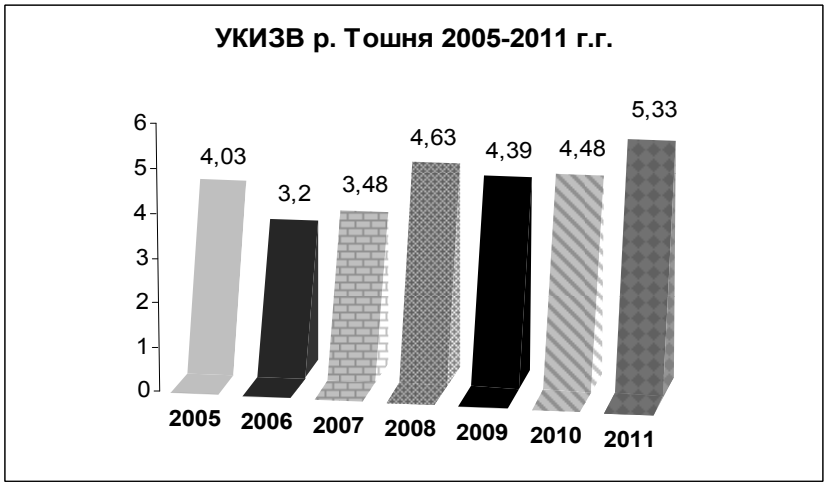


Рис. 2. Динамика изменения качества воды р. Тошни

Длина реки Шограш составляет 20 км. Гидрохимические исследования состояния реки проводились в черте г. Вологды в трех пунктах наблюдения:

- в районе Окружного шоссе;
- в районе ул. Козленской;
- 100 м выше устья реки.

Основными источниками загрязнения реки являются сточные воды предприятий г. Вологды, ливневые сточные воды, засоренность бытовыми и производственными отходами.

Анализ гидрохимических данных 2005-2011 г.г. показал, что характерными загрязняющими веществами р. Шограш являются вещества азотной группы, органические вещества, нефтепродукты, фенолы, свойственен недостаток кислорода в воде (рис. 3).

Рис. 3. Повторяемость концентраций загрязняющих веществ выше 1 ПДК в воде р. Шограш

В верхнем течении р. Шограш (в районе Окружного шоссе) в 2005 году уровень загрязнения реки характеризовался 4 классом качества, разряда «А» (грязная) УКИЗВ – 4,90. В 2006 году произошло улучшение качества воды - смена класса качества с 4 «А» (грязная) на 3 «Б» (очень загрязненная) УКИЗВ 3,44. Улучшение качества воды связано с уменьшением количества азота аммонийного в воде. В 2007 г. в связи с увеличением концентраций азота аммонийного в воде произошла смена класса качества с 3 «Б» (очень загрязненная) на 4 «А» (грязная) УКИЗВ 4,03. С 2007 по 2010 гг. состояние водного объекта оставалось неизменным и характеризовалось 4 классом качества, разряда «А» (грязная). В 2011 г. в связи с увеличением концентраций нефтепродуктов произошла смена качества воды с 4 «А» на 4 «Б» (грязная) УКИЗВ 5,93 (рис. 4).

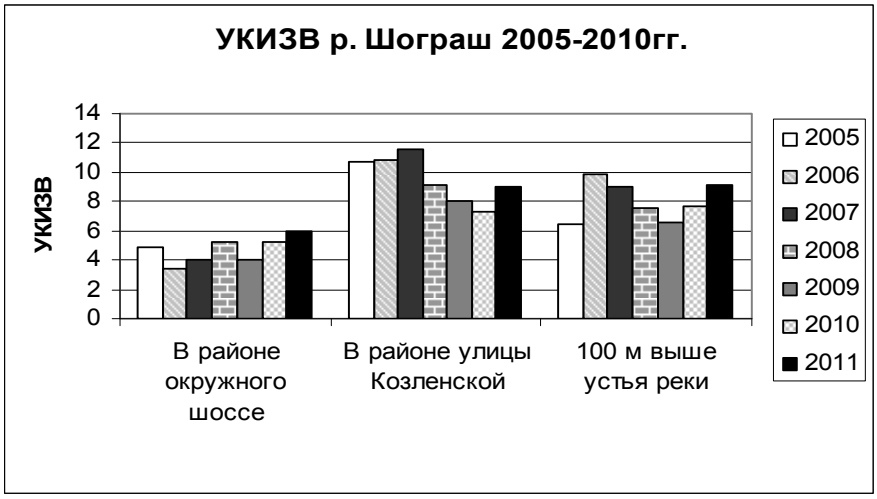


Рис. 4. Динамика изменения качества воды р. Шограш

В районе ул. Козленской загрязненность р. Шограш увеличивается по сравнению с верхним створом. С 2005 по 2009 гг. качество воды р. Шограш характеризовалось 5 классом качества (экстремально грязная), УКИЗВ изменялся от 8,09 до 11,60. В 2010 году произошла смена класса качества с 5 (экстремально грязная) на 4 «В» (очень грязная), УКИЗВ – 7,34. В связи с увеличением концентраций азота аммонийного и нефтепродуктов в 2011 г. качество воды ухудшилось и характеризовалось, как 4 «Г» УКИЗВ 9,01 (рис. 4).

Анализ гидрохимических данных поверхностной воды р. Шограш в районе ул. Козленской показал, что в течение 2005-2011 г.г. зафиксированы максимальные концентрации в водном объекте: в 2006 году трудноокисляемые органические вещества по ХПК = 147,0 мг/л (9,8 ПДК); в 2009 году азот нитритный = 0,148 мг/л (7,4 ПДКр/х). За период 2005-2011 г.г. зарегистрированы 4 случая высокого загрязнения реки - в 2006 году по азоту аммонийному = 6,65 мг/л (16,6 ПДКр/х), в 2007 году по нефтепродуктам = 1,52 мг/л (30,4 ПДКр/х), в 2011 году по азоту аммонийному = 6,92 мг/л (17,3 ПДКр/х) и в связи с низким содержанием растворенного в воде кислорода в 2008 году - 2,62 мгO_2/л. За период 2005-2010 г.г. зарегистрированы 4 случая экстремально высокого загрязнения реки – в 2007 году по легкоокисляемым органическим веществам по $БПК_5$ = 58,2 мг/л (29,1 ПДКр/х), в связи с низким содержанием растворенного в воде кислорода в 2006 году - 1,25 мгO_2/л, в 2007 году - 1,04 мгO_2/л, в 2009 - 1,79 мгO_2/л.

В нижнем створе р. Шограш (100 м выше устья реки) в 2005 году уровень загрязнения характеризовался 4 классом качества, разряда «Б» (грязная) УКИЗВ – 6,43. С 2006 по 2007 гг. зафиксировано ухудшение состояния водного объекта, качество воды характеризуется 5 классом качества (экстремально грязная) УКИЗВ 9,88-9,00. Ухудшения качество воды связано с увеличением органических веществ по $БПК_5$ и азота аммонийного. В 2008 году произошло улучшение качества воды - смена класса качества с 5 (экстремально грязная) на 4 «В» (очень грязная), УКИЗВ – 7,51. В 2009 году произошло незначитель-

ное улучшение качества воды - 4 «Б» (грязная), УКИЗВ – 6,55. В 2010 году качество воды возвращается к 5 классу качества (экстремально грязная), УКИЗВ – 7,73. В 2011 году качество воды на уровне 2010 года, УКИЗВ 9,15 (рис. 4).

Анализ гидрохимических данных поверхностной воды р. Шограш, 100 м выше устья показал, что в течение 2005-2011 гг. зарегистрированы 3 случая высокого загрязнения реки - в 2006 году по азоту аммонийному = 5,62 мг/л (14,1 ПДКр/х), в 2010 году по азоту нитритному = 0,286 мг/л (14,3 ПДКр/х), в 2011 году по азоту аммонийному = 4,78 мг/л (11,95 ПДКр/х), а также 2 случая экстремально высокого загрязнения реки – в 2010 году по легкоокисляемым органическим веществам по $БПК_5$ = 48,3 мг/л (24,2 ПДКр/х); в связи с низким содержанием растворенного в воде кислорода в 2006 году - 0,90 мгO_2/л.

Длина реки Содима составляет 13 км. Гидрохимические исследования состояния реки проводились в черте г. Вологды в трех пунктах наблюдения:

- в районе Окружного шоссе;
- в районе ул. Чехова;
- 100 м выше устья реки.

Основными источниками загрязнения реки являются сточные воды МУП «Вологдазеленстрой», ЗАО «Тепличный», ливневые сточные воды.

Анализ гидрохимических данных 2005-2011 гг. показал, что характерными загрязняющими веществами р. Содимы являются вещества азотной группы, органические вещества, нефтепродукты, свойственен недостаток кислорода в воде (рис. 5).

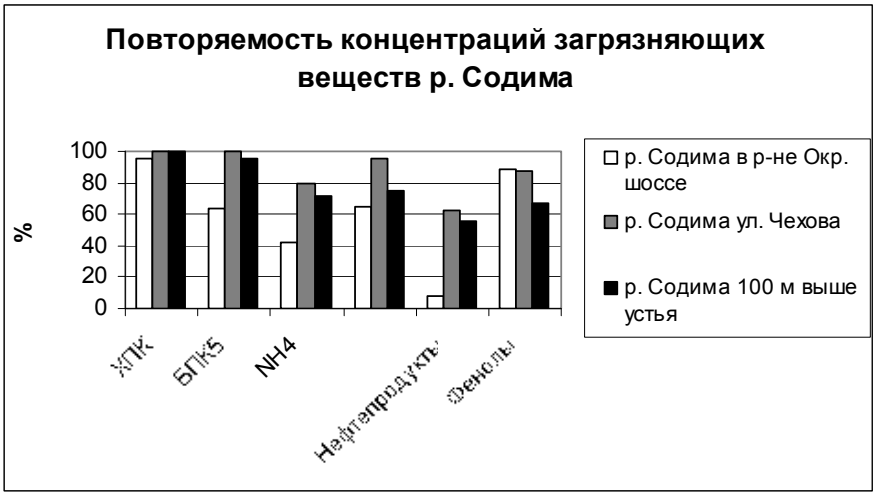


Рис. 5. Повторяемость концентраций загрязняющих веществ выше 1 ПДК в воде р. Содимы

Комплексная оценка качества воды р. Содимы в районе Окружного шоссе свидетельствует о том, что на протяжении 2005-2009 гг. состояние водного объекта стабильно оставалось на уровне класса качества 4 «А» (грязная) УКИЗВ 4,26-5,83. В связи с увеличением концентраций легкоокисляемых веществ по БПК5 и нефтепродуктов в 2010 г. произошло ухудшение качества поверхностной воды, смена класса на 4 «Б» (грязная) УКИЗВ – 6,25. В 2011 г.

качество воды перешло на уровень 2005-2009 г.г., УКИЗВ 5,03 (уменьшение легкоокисляемых веществ по БПК5) (рис. 6).

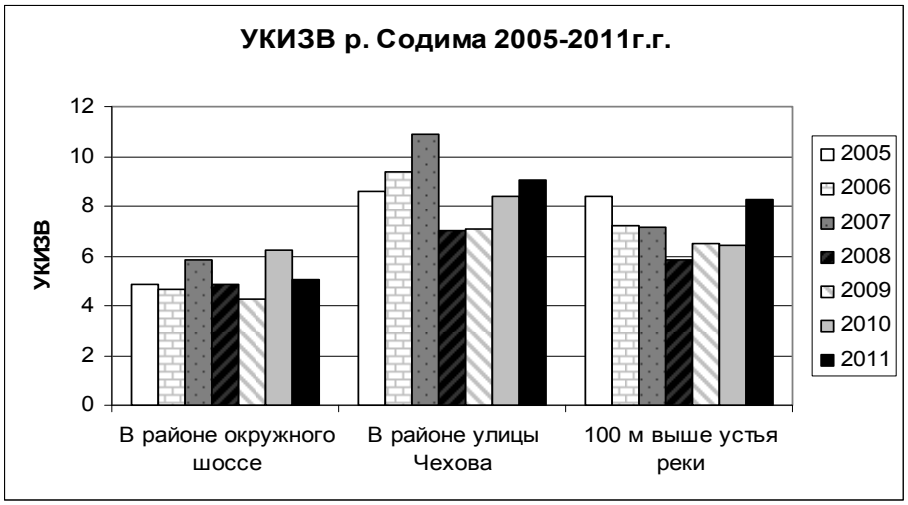


Рис. 6. Динамика изменения качества воды р. Содимы

Загрязненность р. Содимы в районе ул. Чехова увеличивается по сравнению с верхним створом. Комплексная оценка качества воды свидетельствует о том, что на протяжении 2005-2007 гг. состояние водного объекта характеризовалось 5 классом качества (экстремально грязная) УКИЗВ 9,38–10,88. В 2008 г. в связи с уменьшением содержания легкоокисляемых веществ по БПК5, азота аммонийного и нефтепродуктов зарегистрировано улучшение качества поверхностной воды, произошла смена класса на 4 «Б» (грязная) УКИЗВ – 7,01. В 2009-2011 гг. произошло ухудшение качества поверхностной воды, загрязненность р. Содимы в районе ул. Чехова вновь достигла уровня 2006 г. – 5 класс качества (экстремально грязная) УКИЗВ 8,38-9,05 (рис. 6).

Анализ гидрохимических данных поверхностной воды показал, что в течение 2005-2011 гг. зарегистрированы 6 случаев высокого загрязнения реки - в 2006 году по азоту нитритному = 0,34 мг/л (17 ПДКр/х), в 2007-2009 гг. по легкоокисляемым органическим веществам по $БПК_5$ – 0,24 (12 ПДКр/х) и в связи с низким содержанием растворенного в воде кислорода в 2010 году - 2,41 мгO_2/л, в 2011 году по азоту нитритному = 0,20 мг/л (10 ПДКр/х). За период 2005-2011 гг. зарегистрированы 2 случая экстремально высокого загрязнения реки – в 2007 году по легкоокисляемым органическим веществам по $БПК_5$ = 56,6 мг/л (28,3 ПДКр/х) и в связи с низким содержанием растворенного в воде кислорода в 2007 году - 1,68 мгO_2/л.

Комплексная оценка качества воды р. Содимы (100 м выше устья реки) свидетельствует о том, что на протяжении 2005-2008 гг. состояние водного объекта ежегодно незначительно улучшалось, произошел переход класса качества воды с 4 «Г» (очень грязная) УКИЗВ - 8,37 (2005 г.) на 4 «Б» (грязная) УКИЗВ - 5,86 (2008 г.), в течение 2009-2010 гг. ситуация оставалась неизменной 4 класс качества разряда «Б» УКИЗВ 6,49–6,40. В 2011 г. в связи с увели-

чением концентраций азота нитритного качество воды ухудшилось – 4 «В» УКИЗВ 8,26 (рис. 6).

На протяжении периода исследования поверхностной воды р. Содимы в 100 м выше устья зафиксирована максимальная концентрация по трудноокисляемым органическим веществам по ХПК в 2005 г. = 149,0 мг/л (10 ПДК) и 1 случай высокого загрязнения в 2006 г. по азоту аммонийному = 0,23 мг/л (11,5 ПДКр/х).

Таким образом, вода в реках Шограш, Содима, Тошня обладала в течение всего анализируемого периода высокой комплексностью загрязненности. Большее число определенных ингредиентов являлось загрязняющими, как правило, это были легкоокисляемые и трудноокисляемые органические вещества по $БПК_5$ и ХПК, вещества азотной группы: азоты аммонийный и нитритный, фенолы. Причинами негативных факторов в области охраны водных объектов на территории г. Вологды являются отсутствие локальных очистных сооружений на выпусках ливневой канализации, наличие бесхозяйных сетей ливневой канализации. Гидрохимическое состояние рек Шограш, Содимы, Тошни оказывает негативное влияние на качество воды р. Вологды и ставит вопрос о необходимости принятия эффективных и технически обоснованных управленческих решений, осуществления мероприятий по охране водотоков.

В целях сохранения окружающей среды и улучшения качества вод в г. Вологде необходимы:

1. Сокращение объема сброса сточных вод водопользователем в период летней и зимней межени, когда уровни воды достигают минимальных значений, для нормализации гидрохимического состояния водных объектов и предотвращения заморных ситуаций.

2. Проведение капитального ремонта и реконструкции действующих, а также строительство новых очистных сооружений сточных вод на промышленных, коммунальных объектах.

3. Информирование водопользователем уполномоченных органов государственной власти и органов местного самоуправления об аварийных и залповых сбросах, чрезвычайных ситуациях на водных объектах.

4. Разработка программы по восстановлению водных объектов. Усиление государственного контроля.

Литература

1. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. – М.: Изд-во ВНИРО, 2011. – 257 с.

2. Руководящий документ 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 49 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «УПРАВЛЯЮЩИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И БИЗНЕСЕ»

Бажинов А.Н. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного учета энергоресурсов в сфере ЖКХ 3

Бахтенко Е.А. Разработка и внедрение готовых решений интернет-представительств 9

Варухин А.Е. Разработка методики для моделирования систем автоматического управления 13

Варфоломеев И.А. Программный модуль интеллектуального управления процессом полимеризации оцинкованного листа 17

Вересова О.В., Волков В.Н. Нейросетевое управление динамическими объектами 23

Вязников М.Н. Методы противодействия алгоритмам автоматического распознавания CAPTCHA 29

Каберов А.И. Архитектура структурированного хранилища документов 32

Калинин А.С., Клюшин Н.А. Беспроводные системы управления. Управление удалёнными объектами по GSM-каналу 36

Комлев К.Г. Реализация частных IaaS облаков на примере свободного программного обеспечения 42

Лобачев И.В. Кроссплатформенная система бухгалтерского учета 48

Лукьянова Н.А. Моделирование систем на базе аппарата нечетких сетей Петри 52

Малафеев А.М. Имитационное моделирование технологических процессов на основе сетей Петри 56

Мунцева Н.М. Виртуальные стенды для учебного процесса на основе FLASH 59

Пыж С.В. Мобильная автоматизированная система видеонаблюдения и активной охраны объектов 62

Стружков П.В. Распознавание речи и видеоинформации 67

Теслевич С.Ф. Измерение координатно-информативных параметров радиосигналов на основе Стоквелл-преобразования 73

Федоров А.Е. Автоматизированная система контроля и управления доступом 77

Фомичев К.Г. Проектирование отказоустойчивого кластера серверов виртуальных машин с высокой плотностью размещения 80

Шишигин Д.С. Расчет электромагнитных экранов в системах управления электрических подстанций 85

Шушков М.А. Пульт управления резервуаром-охладителем 89

Секция «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ»

Ананьина Е.Л. Расчеты электромагнитных полей в задачах электромагнитной экологии 93

Ковалева Т.А. Снижение последствий однофазного замыкания на землю в сетях среднего напряжения 98

Мещеряков В.Е. Методы расчета зон защиты молниеприемников 102

Мошков А.А. Реконструкция сети г. Вологды с целью повышения надёжности и снижения потерь 106

Смирнова Е.В. Моделирование режимов сети в программе Power Factory 111

Суслова А.А. Применение цифровой подстанции в энергетике 115

Секция «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ»

Вострое А.В. Составление расписания движения общественного транспорта с дифференцированными интервалами 120

Вострое А.В., Ульяновский И.А. Повышение эффективности использования основных фондов нормированием амортизационных отчислений 125

Гуляев А.В., Силинский С.П. Определение среднего значения мощности, необходимой транспортному средству для движения в городских условиях 129

Домрачев Д.А. Теплотехническая оптимизация плотного слоя древесной коры 134

Иванова Е.А. Влияние выбора отсечки шага на результат измерения шероховатости поверхности 141

Калита В.В. Врезка в действующий газопровод под давлением 145

Костюков Д.М. Высокоэффективная технология производства лактулозо-минеральной пищевой и кормовой добавки 151

Куренкова Л.А. Разработка молочного продукта, сбалансированного по углеводному составу и обогащенного витаминами 155

Курилова Н.В. Безопасность дорожного движения на пассажирском транспорте 160

Махмадякубова К.Ф. Метод и установка для определения влажности дисперсного материала 165

Меньшикова М.О. Разработка принципов автоматической корректировки режимов вулканизации гуммированных изделий 169

Минюхин Е.В. Универсальный фланцевый центросместитель 173

Новичихин А.А. Модернизация мостового крана с целью повышения надежности 177

Сальников А.Ю. Исследование возможности ускорения прогрева двигателя автомобилей путем частичного использования тепла выпускных газов 183

Смирнова К.В. Применение технологии твердого резания в подшипниковом производстве 187

Смирнова О.В. Режущий инструмент для высокоскоростной обработки 192

Шалашов С.В. Исследование процесса литья под давлением 197

Шилова А.А. Анализ и разработка устройства корректировки режимов термообработки материалов 201

Ярушкин С.А. Разработка инновационной пленки для тонирования автомобильных стекол 208

Секция «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Данилов С.В. Проблемы строительства, реконструкции и эксплуатации мостов 211

Зимин А.Ю. Моделирование стыка плита-колонна в системах автоматизированного моделирования 214

Львова Т.А. Методика расчета эксплуатационной надежности сжатой трубобетонной колонны круглого сечения 218

Молева Д.А. Повышение эксплуатационных характеристик металлических конструкций дымовых труб 222

Тихомиров А.О., Бусыгин Н.С. Расширение сырьевой базы для производства керамического кирпича 228

Угловский В.Н. Исследование пространственной работы каркаса здания с помощью ПК «SCAD Office» 233

Шепелина Е.А. Методика расчета надежности основания фундамента с использованием усеченного интервального распределения 237

Ширикова Е.А. Исследование деревянных изгибаемых элементов с трещиной 243

Секция «ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ ЧС ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА»

Аксенчик К.В. Комплексная методика назначения режимов тепловлажностной обработки бетона 248

Девочкин М.В. Утилизация промышленных сточных вод в производстве серной кислоты.....255

Иванова К.А. Реконструкция очистных сооружений канализации города Вологды 262

Козинец И.В. Гидродинамическая модель мелководного водоема Lattice Boltzmann методом 266

Кулаков А.А. Экологическая оценка работы малых очистных сооружений канализации Вологодской области 273

Тютин А.А. Технология очистки шахтных вод рудника «Карнасурт» Мурманской области 280

Секция «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

Апанасенко М.А., Никулина А.Е. Отходы ведущих отраслей промышленности Вологодской области.....287

Вашко В.Ю.Ультразвуковой многофункциональный реактор для обработки техногенных сред 290

Газиева Н.Б., Фалёв И.Н. Содержание тяжелых металлов в геосферах территории Вологодской области 294

Данилова Е.А. Контроль седиментационных и электрокинетических показателей воды 299

Иванов И.А. Влияние выбросов автомобильного топлива на окружающую среду.....302

Королева Е.А. Разработка новой технологии удаления из воды ионов бария.....306

Кротова М.А. Автомобили и антропогенное загрязнение территории Вологодской области 309

Кудрявцева Е.В., Ежова О.И. Моделирование и исследование новой технологии удаления бора из воды 313

Лаптев С.В. Перспективы использования электрофореза для очистки природных вод 317

Левин П.С. Разработка новых нанотехнологий для очистки природных вод 321

Макушина М.Э. Разработка схемы гибкого управления процессами подготовки питьевой воды на осветлителях со взвешенным осадком ... 325

Мальцева М.Н. Зависимость отстирываемости текстильных изделий от краевого угла смачивания 328

Машихина Ю.В. Перспективные методы биомониторинга природных и техногенных сред 333

Мягичева Е.А. Разработка оптимального способа и устройства для фторирования питьевой воды 336

Орлова М.Н. Нанотехнология в обезжелезивании подземных вод 343

Паутова Е.Н. Разработка новой технологии удаления алюминия из питьевой воды 348

Попова Е.И. Разработка новой технологии удаления ионов фтора при подготовке питьевой воды 351

Петухов А.С. Модернизация эксимерных лазерных аппаратов глазной хирургии в экологическом аспекте 354

Румянцева М.В. Синергизм действия загрязняющих веществ на процессы очистки 357

Семенова К.А. Применение новых технологий для модернизации систем водоподготовки на осветлителях со взвешенным осадком 360

Сенина Д.А. Новые методы для зоологии и медицины 364

Соколова М.А., Попова Е.А. Экологическая оценка состояния поверхностных вод в Белозерском районе 367

Степырев М.В. Экологические проблемы развития электроэнергетики 372

Травкин Н.С., Никитинская Е.С. Ультразвуковой способ очистки техногенных сред от загрязняющих веществ 376

Травкина И.А. Проблема твердых бытовых отходов в городских условиях на примере г. Вологды 380

Трусова Л.Н., Федченко Е.И. Современное экологическое состояние притоков реки Вологды 383

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР
ОАО «БАНК СГБ»

«БАНК СГБ» - банк, в котором Вас ждут!

ОАО «БАНК СГБ» основан в 1994 году. До 2012 года ОАО «БАНК СГБ» носил фирменное наименование ОАО КБ «СЕВЕРГАЗБАНК». Решением Собрания акционеров в 2012 году ОАО КБ «СЕВЕРГАЗБАНК» переименован в ОАО «БАНК СГБ».

Подразделения БАНКА СГБ работают в Москве, Санкт-Петербурге, Архангельской, Вологодской, Новгородской, Ивановской, Ярославской областях, в Республике Коми, Красноярском крае. Головной офис расположен в г. Вологде.

Универсальность, открытость и доверительность в партнерских отношениях с клиентами, скорость расчетов, комфорт и благополучие каждого клиента – основополагающие принципы, в соответствии с которыми выстроены все аспекты работы БАНКА СГБ в Вологодской области и в других регионах его присутствия.

Новое имя – БАНК СГБ стало символом процессов обновления и развития, которые проводятся в банке. Открыты новые филиалы в Москве и Норильске. Крупнейшими стратегическими партнерами и клиентами Банка стали НПФ «Норильский Никель» и другие компании холдинга «Норильский Никель», авиакомпания «Нордавиа», Архангельский морской порт, и др.

БАНК СГБ становится ближе к клиентам. Оптимизированы процентные ставки по программам кредитования, вкладам, ипотеке, тарифы на различные услуги – платежи, денежные переводы и др. Ориентируясь на возможности различных групп населения в регионах присутствия, ОАО «БАНК СГБ» предлагает ряд специальных доступных кредитов для работников бюджетной сферы, сотрудников крупных предприятий и организаций, держателей зарплатных карт банка. Идет активный процесс внедрения ряда современных сервисов, таких как система дистанционного обслуживания клиентов «SGB-ONLINE».

«Севергазбанк» и ВоГТУ являются многолетними партнерами. Студенты экономического факультета вуза имеют возможность на практике в Банке закрепить полученные знания. В настоящий момент в «Севергазбанке» трудятся 150 выпускников «политеха», из них 20 – на руководящих постах.

Россия, 160001, г. Вологда, ул. Благовещенская, д. 3
Телефон справочной службы: 8-800-100-55-22
Телефоны: (8172) 573-600; 573-700. Факс: (8172) 573-701
Сайт: www.severgazbank.ru
Генеральная лицензия Банка России № 2816

ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР
ЗАО «Вологодский хлебокомбинат»

ЗАО «Вологодский хлебокомбинат» является одним из крупнейших предприятий Вологодской области и входит в число наиболее значимых предприятий отрасли Северо-Западного региона. Благодаря высококвалифицированным специалистам разрабатываются и создаются все новые и новые шедевры хлебобулочных и кондитерских изделий, всего насчитывается более 600 видов.

На сегодня это предприятие оснащено самым современным оборудованием импортного производства, которое позволяет обеспечить высокие объемы производства, стабилизировать качество выпускаемой продукции и осуществлять ее 100-процентную упаковку. На предприятии действует центральная лаборатория, в которой проводится постоянный контроль качества сырья и готовой продукции.

Вся продукция ЗАО "Вологодский хлебокомбинат" прошла подтверждение соответствия по системе добровольной сертификации "Настоящий Вологодский продукт".

Предприятие регулярно принимает участие в различных выставках, конкурсах и дегустациях на региональном, федеральном и международном уровнях, таких как "100 лучших товаров России, «Лучший пекарь России», «Серебряный Меркурий», «Зеленая неделя» и др. Кроме того, уже не первый год вологжане по итогам народного голосования выбирают ЗАО «Вологодский хлебокомбинат» в номинации «Лучший производитель хлебобулочных изделий» на городском смотре-конкурсе «Мы выбираем» среди всех производителей хлебобулочных изделий Вологодской области.

ЗАО Вологодский хлебокомбинат –www.volhleb.ru
г. Вологда, ул. Самойло 20; тел.:(8172) 54-59-74; e-mail: info-volhlreb@rambler.ru

ПАРТНЕР
ВООО «КЛУБ ДЕЛОВОГО ОБЩЕНИЯ»

Клуб делового общения
Основан 1 марта 1844 г.

Вологодская областная общественная организация сохранения и развития национальной духовной культуры и искусства «Клуб делового общения» создана в 1999 году по инициативе руководителей предприятий крупного и среднего бизнеса. Ее основная задача – возрождение славных традиций меценатства и попечительства дореволюционного Вологодского дворянского клуба.

На протяжении многих лет работы Клуба делового общения проявились все заявленные цели – «благотворительность», «попечительство», «партнерство», «социальная ответственность».

Основными направлениями деятельности организации являются содействие социально-экономическому развитию Вологды, поддержка культуры и искусства, помощь творчески одаренной молодежи.

Клуб оказывает финансовую помощь учреждениям культуры и образования, выплачивает стипендии деятелям культуры и искусства, издает работы молодых ученых, поддерживает многие социальные проекты. Значительные средства выделяются на восстановление храмов.

Россия, 160035, г. Вологда, ул. Лермонтова, д. 21
Телефон: (8172) 70-81-70. Сайт: www.clubdo.ru

Научное издание

Материалы
VI Ежегодной научной сессии
аспирантов и молодых ученых
по отраслям наук

Том I
Технические науки

Редактор Сажина Н.В.

Оригинал-макет подготовлен Подхомутовой Н.В.

Подписано в печать 8.11.12.
Формат 60×90 1/16. Бумага офисная.
Печать офсетная. Усл.печ. л. 27,67.
Тираж 160 экз. Заказ №

Отпечатано: ИП Киселев А.В.
г. Вологда, Пошехонское шоссе, 18, корпус Н