

Секция 4

Экология и защита окружающей среды

Закон энергосбережения – вовлечение в круговорот энергетических и материальных вторичных ресурсов*Ю.М. Федорчук**Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Из курса экологии мы знаем, что одной из основ существования биосферы являются круговороты как живых организмов, так и биогенов - элементов, обеспечивающих их жизнедеятельность. Таким образом, у природы отходы отсутствуют.

Поэтому одной из целей деятельности человека должно быть использование так называемых отходов производства и потребления, т.е. вовлечение в круговорот энергетических и материальных вторичных ресурсов, обладающих как некоторым запасом энергии, так и ценными свойствами.

К настоящему времени известно уже значительное количество технических решений, разработанных в Томском политехническом университете, позволяющих уменьшить энергопотребление человеком без понижения качества жизни.

Например, в энергопромышленности. Перепроизводство электроэнергии – это отходы; можно осуществлять рецикл, т.е. накапливать электроэнергию в аккумуляторах, конденсаторах, или организовать рациональное электропотребления за счет изменения графика работы энергопотребителей; а можно осуществлять утилизацию отходов – получение водорода, углеводородов, СО и других энергетически ценных компонентов, таким образом, будет происходить круговорот энергии, правда, с понижением качества.

При добыче и обогащении угля образуются или терриконики, с низким содержанием угля, или отходы обогатительных фабрик, с высоким (до 50% масс.) содержанием угля во вскрышных минеральных породах.

Если организовать технологию горной добычи таким образом, чтобы не смешивать во вскрышных породах глинозем, кремнезем и известняк, а геологи знают, как это сделать, то тогда можно в таких местах создавать производство кирпича, в качестве добавки-отошителя в который будет задействован вскрышной уголь (отошитель – это добавка, которая при выгорании во время спекания керамического кирпича образует поры, пустоты).

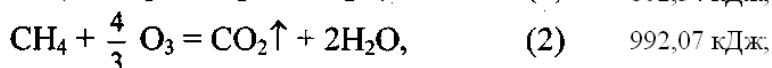
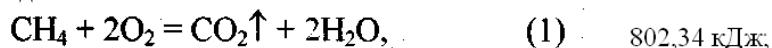
Отходы обогатительных фабрик с высоким содержанием угля или отходы амбарные нефтедобывающих скважин (содержат до 35% масс. нефти) можно использовать и как источник энергии, и как сырьевой источник получения цементного вяжущего, при введении в состав исходного сырья определенного количества природного известняка.

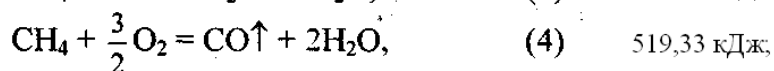
Каренгин А.Г., сотрудник ТПУ, применяет плазмохимический реактор в качестве «свечи зажигания» при сжигании нефтесодержащих амбарных отходов, получая при этом 95 % теплоты относительно 5 % затраченной на поддержание плазмы, и в лабораторных условиях получил низкомарочный цемент.

Баржа с вместимостью 5000 тонн амбарных отходов может обеспечить теплом, электроэнергией и частично цементом на протяжении 1 года такое предприятие как ЖБК-100, г. Томска. Такой проект был предложен руководству указанного предприятия, но пока – отклонен.

При вышеназванном способе получения тепла и цемента из отходов также появляется возможность утилизации твердых бытовых отходов. Во время плазменной обработки ТБО исключается основной бич мусоросжигания – образование фенолов и бензопирена. Эти соединения после плазменной обработки согласно литературным данным – не рекомбинируют.

Классическая энергетика использует кроме органического топлива также кислород воздуха. А так как в воздухе содержится 78 % объемных азота, то этот балласт понижает выход полезной энергии, с одной стороны, а с другой – провоцирует образование оксидов азота – источников азотнокислых осадков. Согласно энергетическим расчетам на примере сгорания метана получаются следующие результаты тепловыделения:





Если заменить кислород молекулярный на кислород атомарный, то можно более чем в 2 раза повысить тепловыделение. Для автотранспорта особенно показательна реакция 4. Эксплуатация старых автомобилей с повышенным содержанием СО наносит двойной урон окружающей среде: загрязнение атмосферы парниковым газом и увеличение потребления углеводородного сырья.

В 1994 году сотрудниками ТПУ были проведены следующие испытания. На автомобиле Москвич - 2141 измеряли содержание СО в выхлопных газах. В первом случае на холостых оборотах содержание СО составило 8,1 % объемных, а после того, когда всасываемый в карбюратор воздух стали облучать жестким у/ф излучением (устройство для кварцевания), содержание СО снизилось до 1,1 % объемных.

Рассмотрим апробированные технические решения по энерго- и ресурсосбережению в химической промышленности.

В технологии получения фтороводорода, который нужен при получении гексафторида урана на СХК в г. Северск и на АЭХК в г. Ангарске, при получении алюминия на Южно-Уральском криолитовом, г. Кувандык и Полевском криолитовом комбинатах, г. Полевской, при получении фторопласта и других фторидов в г. Перми, образуется в качестве побочного продукта сульфат кальция-фторангидрит. Всего по России ежегодно таких отходов сбрасывается в окружающую среду, на отвальные поля и в р. Тотьма, свыше 500 000 тонн.

В ТПУ разработаны технологии по обезвреживанию и получению различных строительных материалов из вышеназванных отходов.

С 2008 года ООО «ТПУЭкоСтрой» перерабатывает сульфаткальциевые отходы ОАО «Галоген», из которых Томский завод сухих строительных смесей «Богатырь» производит различные строительные материалы.

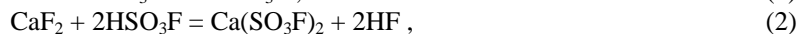
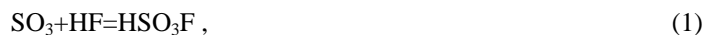
Благодаря публикациям в центральной печати сотрудники ОАО ГМК «Норильский никель» предложили Томскому политехническому университету договор на разработку комплексной технологии улавливания и обезвреживания серосодержащих газов производства с получением кальцитангидрита, который затем будет использоваться в закладочных смесях для заполнения шахтных пустот. В настоящее время получены положительные результаты, работа продолжается.

В г. Томске работает завод «Ацетилен», который производит ацетилен путем гашения карбида кальция, в результате чего образуется твердый отход – гашеная известь, который называется карбидный ил. На каф. ЭБЖ ТПУ были проведены исследования по определению свойств карбидного ила, разработана технология обезвреживания и переработки карбидного ила с целью использования его в качестве нейтрализатора кислого фторангидрита.

На каф. ЭБЖ ТПУ был разработан проект получения цемента производительностью 40 000 тонн в год путем создания шихты из карбидного ила, нефелинового шлама – твердого отхода Ачинского глиноземного комбината, угольных отходов обогатительной фабрики г. Мыски, и нагрева ее до необходимой температуры получения цементного клинкера с помощью плазмохимической установки. Теоретическими расчетами было показано, что на получение цемента из отходов потребуется почти в 5 раз меньше энергозатрат.

Существует еще одно направление энергосбережения – это энерготехнологии, т.е. совмещение процессов получения энергии и физико-химических превращений в одном технологическом аппарате.

Применительно к технологии получения фтороводорода и ангидрита в ТПУ разработана и запатентована технология получения указанных продуктов с использованием экзотермичных реакций по следующему механизму:



Перечисленные реакции проводят при температуре выше 170°C, в этом случае присутствуют только 2 фазы – твердая и газообразная; причем 1-я и 2-я реакции являются экзотермичными, выделяющими тепло в зоне реагирования, что уменьшает количество подводимого тепла извне.

В настоящее время процесс получения фтороводорода и фторангидрита проводят по реакции 4



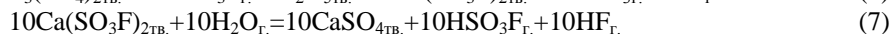
В этом случае присутствуют все 3 фазы – твердая, жидкая, газообразная; этот процесс – эндотермичен, требует внешнего подвода тепла, а присутствие жидкой фазы (H₂SO₄) провоцирует образование настыля, что в свою очередь увеличивает подвод тепла для сохранения требуемой температуры.

Особенно требует реорганизации в химической промышленности процесс получения фосфорной кислоты и фосфорных минеральных удобрений, который проводят в настоящее время по следующей реакции:



Здесь также присутствуют 3 фазы, из 3-х продуктов используют только 1 – фосфорную кислоту, остальные – это отходы.

Для этого химического взаимодействия уместна энерготехнология, запатентованная ТПУ, которая представлена следующими реакциями:



Эти процессы также проводят при температуре выше 170°C, также присутствуют только 2 фазы – твердая и газообразная; 6-я и 8-я реакции являются экзотермичными.

В этом случае мы получаем все 3 продукта кондиционными.

Процессы энерготехнологии в настоящее время разрабатываются в ТПУ и для строительной промышленности, в частности совмещение 2-х высокотемпературных процессов, связанных кроме повышенных температур еще и некоторыми компонентами шихты. Это – технология получения цинка и свинца в металлургии цветных металлов и технология получения портландцемента. Свинцово-цинковая шихта содержит кроме основной руды, включающей в виде примесей соединения железа, алюминия, кремния, еще известняк и углерод; температура процесса - 1300°C; цементная шихта содержит повышенное содержание известняка, определенные количества соединений кремния, железа, алюминия; температура получения цементного клинкера - 1450°C. Таким образом, 2 технологии, объединенные в 2-х стадийную энерготехнологию позволяют использовать отходы цветной металлургии и отходы обогащения угля и уменьшить энергорасходы в пересчете на каждый вид продукции.

Есть еще одна перспективная для строительной промышленности в области ресурсосбережения разработка, выполненная сотрудниками ТПУ.

Это установка по электроимпульсному разрушению строительных изделий, выпущенных не кондиционно. В этом случае в рецикл вовлекается металлическая арматура, галька, гравий, таким образом, отходы превращаются также в целевой продукт.

Для машиностроительной промышленности, в частности, для завода ТЭМЗ, г. Томск, была предложена технология рециклизации тяжелых металлов (хром, никель, медь) в гальваническом производстве вместо существующего процесса нейтрализации, в результате которой образуется смесь соединений перечисленных металлов в виде отходов, к тому же периодически попадающих в ливневую канализацию и в р. Томь.

Устройство локального улавливания каждого из перечисленных металлов с помощью ионообменной смолы, позволяет возвращать данный расходный реагент в гальваническую ванну, исключает попадание тяжелых металлов в окружающую среду и минимизирует энергетические затраты.

Там же, на ТЭМЗе в 90-х годах были проведены испытания энерготехнологического процесса отжига металла с одновременным получением востребованной в строительной промышленности негашеной извести. Процесс отжига проводят при температуре (850-900) °C в инертной среде (без присутствия кислорода), которую создают путем сжигания метана с получением углекислого газа. Заменяв метан на известняк, который разлагается на оксид кальция и углекислый газ при этой же температуре, был достигнут тот же результат по отжигу металла с одновременным получением целевого продукта – извести.

Теперь коснемся такого сектора народного хозяйства, как ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство.

Как готовят воду подземного водозабора г. Томска для питья?

Вода с помощью погружного насоса через металлическую фильтрующую сетку из подземного горизонта поступает на стадию аэрации производства подготовки питьевой воды. Во время аэрации на открытом воздухе железо и марганец, концентрация которых превышает ПДК, взаимодействуя с кислородом, воздуха переходят из водорастворимого состояния в осадок в виде гетита – $\text{FeO}(\text{OH})$ и пиролюзита - MnO_2 . Так как образующийся осадок образует коллоидные частицы, то перед фильтрацией сквозь зернистый фильтр в воду вводят коагулянт – сульфат алюминия, который агрегирует, укрупняет частицы осадка, способствуя более лучшей фильтруемости. После процесса фильтрации фильтр отмывают встречным потоком воды и этот ил выливают на поле в пойме р. Кисловка, а талые воды и дожди смывают ил в р. Томь.

Было предложено заменить процесс аэрации и последующей фильтрации воды процессом улавливания примесных соединений с помощью катионитов, при этом происходит концентрирование на смоле примесей, которые после регенерации смолы направляются на раздельное извлечение и получение, в конечном итоге, 2-х целевых продуктов – пигмента для краски и сырья для изготовления

обмазки сварочных электродов. Реструктуризация Томскводоканала прервала работы в этом направлении.

Еще одно из предложений по ресурсосбережению в ЖКХ - использование энергии воды в ливневой канализации города для выработки электроэнергии. Для этих целей разработана и запатентована мини-гидростанция, теоретические расчеты показали, что в г. Томске можно получать дополнительно 500 кВт в час электроэнергии.

Напрашивается естественное предложение разделения фекальных и бытовых стоков в высотных домах, установка таких же мини-гидроэлектростанций на бытовых стоках, которые способны обеспечить работу лифта в подезде.

Что касается вопроса утилизации твердых бытовых отходов, то в развитых государствах уже полвека как существует отдельный сбор бытовых отходов. В результате первичной классификации бытовых отходов, проводимой населением, мелкий бизнес на Западе освоил согласно литературным данным уже около 80 направлений использования этих отходов.

В заключение хотелось бы высказать еще несколько предложений в области ресурсосбережения.

В области строительства.

Если вести малозатяжное строительство, то тогда прочностных качеств будет достаточно для возведения стен зданий из гипса. После морального износа строений гипсовые стены вовлекаются в круговорот с получением ангидритового вяжущего и нового строительства.

В области электротехники.

Из литературы известно, что лампочка накаливания только 5 % потребляемой энергии тратит на освещение, ртутные лампы (люминисцентные) – 22 %, а вот биохимическое свечение – 95 %. По всей вероятности, требуется объединение усилий биохимиков и электротехников, чтобы получить промышленный источник биохимического светильника.

В области преобразования солнечной энергии.

Если преобразовать весь электромагнитный диапазон солнечного излучения путем изменения частоты в диапазон рентген- или гамма излучения, то тогда не нужно ожидать солнечных безоблачных дней для солнечных батарей. Электротехники умеют изменять частоту электротока.

Надо пробовать.

Проблема сжигания попутного нефтяного газа в Томской области

А.Ф. Бархатов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

barhatov@sibmail.com

Показана актуальность проблемы сжигания попутного нефтяного газа на территории Томской области. Установлена экологическая опасность сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках. Проанализированы основные проблемы сложившейся ситуации. Предложены пути решения.

Поиски, разведка и добыча полезных ископаемых оказывают многократное техногенное воздействие на геологическую среду. Максимальный ущерб окружающей среде наносится либо из-за экологической безграмотности, либо в погоне за сиюминутной выгодой. Одной из самых серьезных экологических проблем, стоящих сегодня перед российским государством, его гражданами и нефтепользователями, является проблема утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ).

Для анализа ситуации в Томской области были рассмотрены данные по 41 месторождению Томской области, рассчитаны показатели добычи и сжигания ПНГ на факельных установках, количество вредных выбросов в атмосферу CO₂ из-за сжигания ПНГ, выявлены причины нерационального использования попутного нефтяного газа и обозначены пути решения проблемы утилизации ПНГ [1,2].

На протяжении нескольких десятилетий ПНГ сжигается на факельных установках, на нефтегазовых месторождениях, в результате чего наносится колоссальный ущерб окружающей среде и теряется невосполнимый энергетический ресурс, являющийся к тому же ценным нефтехимическим сырьем. За 2008 г. на территории Томской области добыто 764 млн. м³ ПНГ [3], а средний объем утилизации по всем месторождениям составил всего лишь 30 %. При этом, согласно постановлению Правительства РФ от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» [4], объем утилизации ПНГ с 2012 г. должен быть доведен до уровня не менее 95 %. Таким образом, за 2008 г. на месторождениях Томской области сожжено 535 млн. м³ попутного нефтяного газа, а в денежном эквиваленте, при средней цене на ПНГ в 253 руб. за 1000 м³, в атмосферу, вместе с тоннами отравляющих веществ, выброшено 135,4 млн руб. при сжигании нефтедобытчиками попутного нефтяного газа.

По имеющейся в печати информации, в Российской Федерации только 40% ПНГ (примерно 12 млрд куб. метров) подвергается переработке с целью получения сырья для нефтехимических предприятий и сжиженного газа для населения. Еще 40% сжигается без переработки на ГРЭС, а 20% уничтожается на промыслах путем сжигания в открытых факелах, при этом загрязняющие выбросы в атмосферу исчисляются тысячами тонн. Только по официальным (в несколько раз заниженным) данным, в России ежегодно сжигается около 30 млрд куб. метров ПНГ. При этом необходимо отметить, что при сжигании 1000 куб. метров ПНГ в атмосферу выбрасывается около трех тонн CO_2 , то есть 90 млн. тонн CO_2 в год. Из-за огромного потребления кислорода и теплового излучения при сжигании ПНГ усиливается парниковый эффект [1]. Сжигание ПНГ в факелах и его выброс в атмосферу потенциально опасны для здоровья, так как в результате сжигания в воздухе образуются токсичные вещества, которые абсорбируются растениями и могут попасть в пищевую цепь. Вредные металлы, содержащиеся в выбросах, могут стать причиной раковых заболеваний, врожденных пороков, заболеваний крови и центральной нервной системы.

В результате анализа данных по месторождениям были выявлены основные причины нерационального использования попутного нефтяного газа в Томской области.

Основной причиной сжигания ПНГ на факельных установках является удаленность месторождений от развитой инфраструктуры [5]. Подсоединение таких месторождений к газопроводам, подводка их к газоперерабатывающим заводам требуют больших капиталовложений, а недропользователи, как правило, стремятся к минимизации издержек. Большинство месторождений находятся в труднодоступных районах и удалены от развитой инфраструктуры.

Второй по значимости причиной нерационального использования ПНГ являются размеры месторождений. Многие из них сжигают сравнительно небольшие объемы газа, то есть, сами месторождения – относительно небольшие. В Томской области на большинстве месторождениях добывается менее 20 млрд. м^3 ПНГ.

В 2008 г. на Лугенецком месторождении – самом крупном нефтегазоконденсатном месторождении Томской области, добыто 134 млн. м^3 ПНГ, а объем утилизации составил 96 %. При этом на втором по значимости Игольско-Таловом месторождении добыто 105 млн. м^3 ПНГ, а утилизировано всего 49 % [3].

Еще одной проблемой, связанной с утилизацией попутного нефтяного газа, является низкая цена на ПНГ, которая зависит от газожидкостного состава. Чем выше содержание жидкой фракции в попутном нефтяном газе, тем меньше его цена. На протяжении нескольких лет цена на ПНГ остается примерно одинаковой и варьирует в пределах от 86 до 420 руб. В данных условиях транспортировка ПНГ на нефтехимические предприятия становится нерентабельной, т. к. издержки превышают прибыль, ведь для транспортировки требуется дорогостоящее строительство и обслуживание трубопровода. В настоящее время стоимость строительства 1 км стандартного трубопровода (530 мм) составляет 15,8 млн. руб. Эксплуатация трубопровода также является дорогим мероприятием: обслуживание трубопровода обходится в 360 тыс. руб. на 1 км, тариф на транспортировку 1000 м^3 ПНГ до Единой газотранспортной системы (ГТС) ОАО «Газпром» составляет 62,3 руб. на 100 км, по ГТС ОАО «Газпром» – 40,6 руб. на 100 км [1].

Идея выработки электроэнергии с использованием в качестве топлива ПНГ не нова, но основным препятствием в ее реализации является возможность сдачи выработанной электроэнергии в единую энергосистему Томской области и дальнейшая ее реализация внешним потребителям. Для этого необходима специальная региональная программа по созданию альтернативной энергетики на ПНГ с согласованием в правительстве Российской Федерации и РАО «ЕЭС России», а также выработка нормативно-правовых документов по этой деятельности. Нет необходимости доказывать всевозрастающее значение альтернативной энергетики в условиях неустойчивости рынка энергоресурсов и имеющегося дефицита электроэнергии в Томской области. Кроме того, при местной альтернативной энергетике появляется возможность регулирования тарифов на электроэнергию. Как показывает опыт Тюменской области, выработка собственной дешевой электроэнергии позволила значительно сократить ее закупку у сторонних производителей [1]. «Сургутнефтегаз» утилизирует до 96% ПНГ, путем строительства газотурбинных электростанций на отдаленных месторождениях и последующей сдачей выработанной электроэнергии в единую энергосистему Тюменской области.

В государственных программах уделяется большое внимание малому и среднему бизнесу — альтернативе естественных монополий, как более гибкой и самонастраивающейся части производительных сил в обществе. Для привлечения малого и среднего бизнеса к созданию производств по сжижению, переработке и транспортировке ПНГ к местам переработки и реализации необходима разработка региональной программы. Сегодня это совершенно незаполненная ниша деятельности в условиях всевозрастающего спроса на рынке сжиженного газа, ввозимого в настоящее время в область из других регионов. Стихийно рынок уже к этому идет, но без контроля государства. Со стороны нефтяников было бы гораздо честнее отдать ПНГ по бросовой цене прямо на промыслах

предпринимателям, желающим вкладывать деньги, и закрыть вопрос о выполнении лицензионных соглашений и штрафах за выбросы в атмосферу, чем вести изнурительные демагогические споры, загоняющие проблему только в тупик. Можно сказать, что в результате ведомственных противоречий сформировалась классическая схема экономической безответственности перед государством.

Для справки. Российские производители активно осваивают выпуск установок широкого спектра производительности по сжижению и переработке ПНГ со сроками окупаемости от 2 до 5 лет. Создан уникальный, не имеющий мировых аналогов мини-газоперерабатывающий комплекс «Протоген», способный работать непосредственно на промыслах и полностью утилизировать ПНГ в высокооктановые компоненты бензинов. Многие установки уже внедрены и успешно эксплуатируются в составе нефтегазохимических производств в промышленных регионах страны. Даже самое простое – исключение доступа к факелам газового бензина на первом этапе программы – уже станет прорывом в решении проблемы ПНГ. Трудно переоценить экономическое значение реализации для Томской области этой программы. В первую очередь, будет дан импульс в организации новых производств, что повлечет за собой создание новых рабочих мест, а также решение многих других социальных проблем в районах области. Также этот процесс будет способствовать развитию сети газозаправочных станций с более дешевым и экологически чистым моторным топливом. Для реализации данной программы Томская область обладает высоким научным и промышленным потенциалом.

Актуальным и рентабельным направлением в области утилизации ПНГ является газохимическая переработка. Среди разнообразных предложений по газохимической переработке газа для условий Томской области наиболее предпочтительна технология переработки ПНГ в смесь жидких синтетических углеводородов (СЖУ, синтетической нефти), реализуемых по цене нефти с подачей полученных жидких продуктов вместе с нефтью в магистральный нефтепровод. Другие технологии GTL, предполагающие производство метанола, диметилового эфира, бензол-толуольного концентрата, других «ценных» компонентов в промысловых условиях не применимы из-за отсутствия всесезонных дорог и рынка потребления.

Технологический процесс производства жидких углеводородов представляет собой автоматизированный процесс, управление которым осуществляется с использованием микропроцессорной техники. Оперативно-техническое обслуживание, мелкий и аварийный ремонт оборудования осуществляется штатами ремонтно-механических служб на промысле.

Основные работы, требующие привлечения квалифицированного персонала, приходится на периоды остановки производства на капитальный ремонт оборудования, перегрузку катализатора.

Основной недостаток рассматриваемого варианта – отсутствие примеров апробации предлагаемой технологии в промысловых условиях. Проекты по технологиям GTL представлены на Российском рынке, однако у разработчиков нет примеров пилотных (демонстрационных) проектов установок, работающих на ПНГ с получением заявленных целевых продуктов. Нет четкого представления об отходах производства и стоимости их утилизации.

Для рационального использования попутного нефтяного газа следует также рассмотреть различные варианты закачки ПНГ в продуктивный пласт с целью поддержания пластового давления, а также получения дополнительных объемов добычи нефти. Подготовка ПНГ для закачки в пласт минимальная – необходимо провести очистку газа от механических примесей и капельной жидкости на упрощенной установке подготовки газа (УПГ). Организация очистки газа от капельной жидкости позволяет извлечь из ПНГ часть ценных компонентов в виде C5+. Далее подготовленный газ компримируется до 30 МПа и подается на устья переоборудованных нагнетательных скважин по газопроводам высокого давления.

В заключение стоит отметить, что зачастую утилизация ПНГ не является прибыльным мероприятием в силу вышеизложенных причин. Для месторождений Томской области основной причиной сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках является удаленность месторождений от развитой инфраструктуры. Однако не стоит рассматривать процесс утилизации ПНГ как абсолютно нерентабельное мероприятие. Во многих случаях применение вышеперечисленных технологий делает процесс утилизации ПНГ прибыльным, однако в каждом конкретном случае необходимы расчеты эффективности внедрения на месторождение той или иной технологии.

Список литературы:

1. Князев М.А., Лукьянов В.Г. Проблемы использования попутного нефтяного газа в Томской области и возможные пути их решения // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири. – 2008. – № 7. – С.51 – 54.
2. Аксенов А.В., Широков Ю.Ф. Регулирование рынка ПНГ: уточнить терминологию, добавить меры стимулирования и ответственности // Нефтегазовая Вертикаль. – 2009. – № 8. – С.71 – 78.
3. Попутный нефтяной газ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cctc.ru (дата обращения 29.08.10).

4. Постановление Правительства РФ от 8 января 2009 г. «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» – М., 2009.
5. Гречишкина И. Разумный баланс между стимулами и принуждением // Нефтегазовая Вертикаль. – 2009. – № 9. – С.84 – 88.

УДК 622.323:33:502(571.16)

Эколого-экономическая оценка нефтегазодобывающей отрасли Томской области**В.Ф. Панин, П.Н. Черногризов, Д.М. Шрамов***

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

*Управление Росприроднадзора по Томской области, г. Томск, Россия

Показано, что объемы сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) на факелах Томской области постоянно возрастают. Установлены главные причины этого. Сделан вывод о том, что в Постановление Правительства РФ № 7 от 08.01.2009. необходимо ввести дополнения, стимулирующие утилизацию ПНГ.

Предприятия нефтегазодобывающей отрасли являются основными вкладчиками в загрязнение окружающей среды на территории Томской области[1].

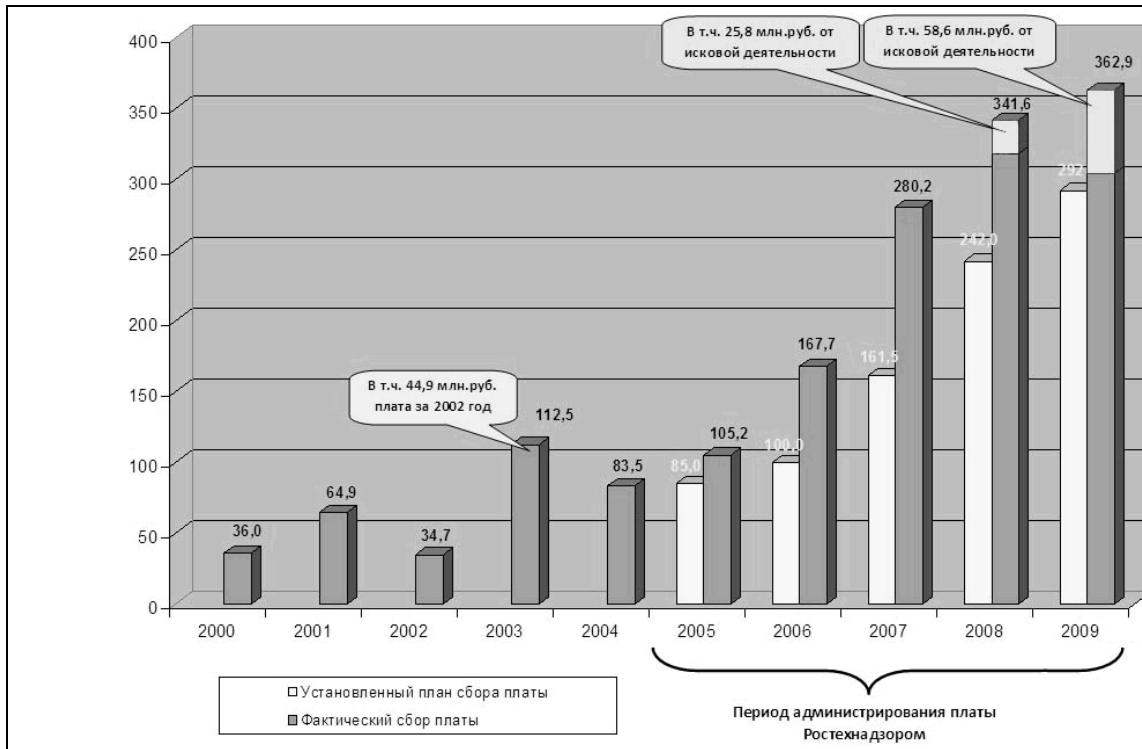


Рис. 1. Динамика сбора платы за негативное воздействие на территории Томской области

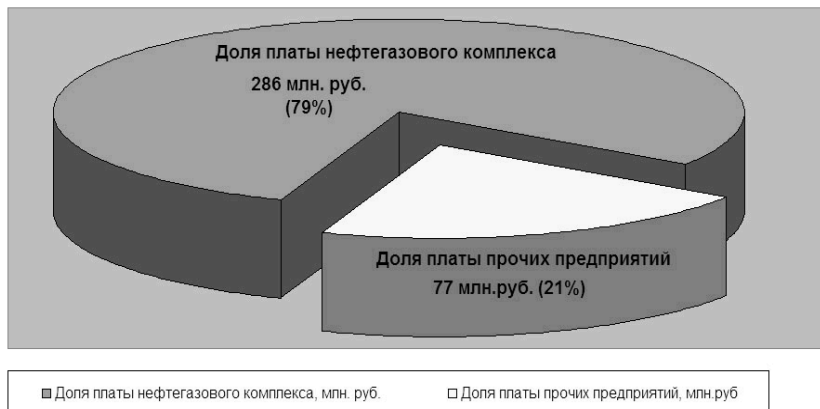


Рис. 2. Отраслевая структура платы за негативное воздействие на территории Томской области в 2009 г

В 2009 году был установлен план по сбору платы за негативное воздействие на окружающую среду в бюджеты всех уровней в размере 292,0 млн. рублей. Фактический сбор составил 362,9 млн. рублей (72,58 млн. рублей в

федеральный бюджет, 290,32 млн. рублей в областной бюджет и бюджеты муниципальных образований Томской области) (рис.1).

Анализ структуры платы за негативное воздействие показал, что 286 млн. руб. или 79% от фактического сбора платы - это плата предприятий нефтегазового комплекса (рис.2).

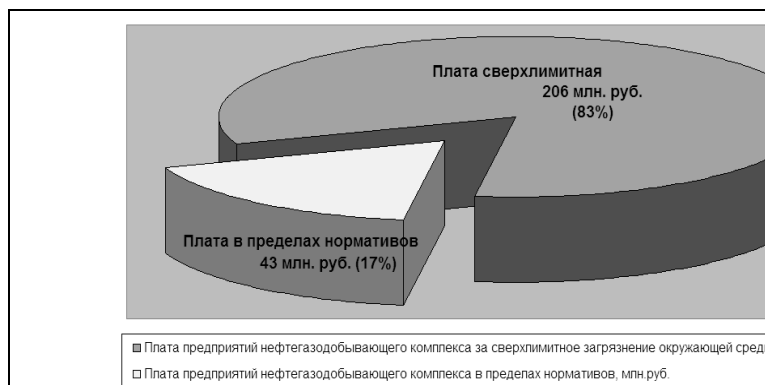


Рис. 3. Структура платы за негативное воздействие предприятий нефтегазовой отрасли в 2009 г.

документом (технологической схемой разработки месторождения), согласованным с центральной комиссией по запасам (ЦКЗ). Большинство недропользователей не занимаются всерьез вопросом утилизации попутного газа и не выполняют лицензионные требования, в результате чего показатель утилизации ПНГ ежегодно снижается и за период 2005-2009 год сократился с 77,3 % до 65,3 % (рис.5, 6).

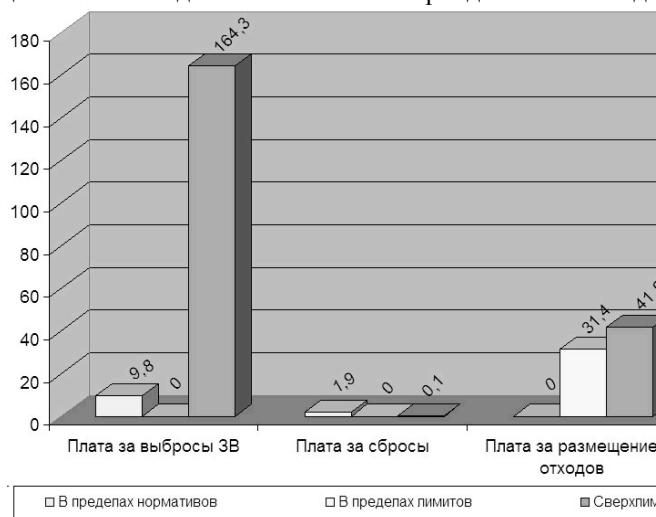


Рис. 4. Структура платы за негативное воздействие по видам негативного воздействия (выбросы, сбросы, отходы) по крупнейшим предприятиям Томской области (плата свыше 150 тыс.руб./год) в 2009 г.

нефтегазового комплекса предпринимать решения по рациональному использованию природных ресурсов, а государство теряет значительные финансовые средства за потерю невозполнимых ресурсов при сжигании ПНГ на факелах.

Бережное и рациональное использование природных ресурсов на сегодняшний день является одним из приоритетных направлений государственной политики. И одним из таких ресурсов является попутный газ. Специалисты Управления Ростехнадзора в Томской области были одними из инициаторов по выработке механизмов стимулирования повышения утилизации ПНГ нефтедобывающими предприятиями.

Работа по выработке мер экономического стимулирования проводилась Управлением государственного экологического надзора Ростехнадзора (Москва) совместно с ФГУП «Центр экологических программ» (Москва). В качестве экспертов в этой работе участвовали специалисты Управления Ростехнадзора в Томской области, поскольку ежегодно на территории Томской области РФ добывается 2,2 млрд. м³ попутного нефтяного газа. При этом на факелах сжигается почти 35% (более 760 млн. м³), а доля платы за сверхлимитные выбросы загрязняющих веществ является основной в объеме поступающих платежей (рис. 1-3).

Из диаграмм рис.3, рис.4 видно, что основной вклад вносит сверхлимитная плата за выбросы загрязняющих веществ (ЗВ).

Основной вклад в долю сверхлимитной платы за выбросы ЗВ вносят выбросы в результате сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) на факельных установках в объемах, сверх установленных регламентными документами.

В настоящее время вопрос утилизации попутного нефтяного газа регламентируется лицензионными соглашениями либо проектным

Основными причинами увеличения объема сжигания ПНГ на факелах в Томской области: увеличение газового фактора на нефтяных месторождениях, отсутствие в лицензионных соглашениях утвержденных уровней утилизации ПНГ и слабое внедрение технологических решений по утилизации ПНГ. Другие причины: недостаточно развитая инфраструктура приема и транспортировки газа, а также тенденции к ограничению приема ПНГ от нефтедобывающих организаций со стороны ОАО «Газпром».

Налоговым Кодексом РФ определена «нулевая» ставка платежа за извлечение попутного нефтяного газа. Это не понуждает предприятия

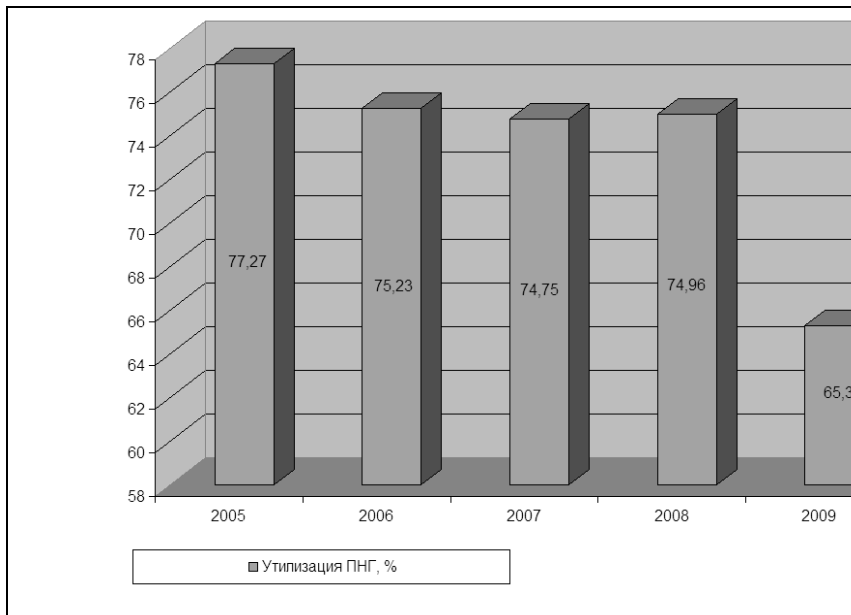


Рис. 5. Доля утилизации ПНГ на территории Томской области за 2005-2009 гг.

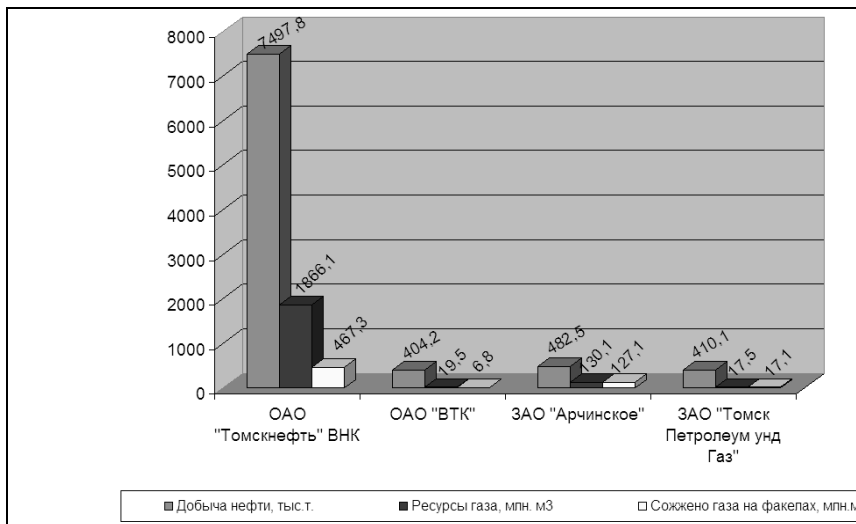


Рис. 6. Показатели утилизации ПНГ по некоторым недропользователям Томской области.

ровочно до 1 млрд. руб.

Дополнительной мерой стимулирования утилизации ПНГ может быть, прежде всего, внесение изменений в Налоговый Кодекс в части исключения нулевой ставки и определения фиксированной ставки платы за извлечение попутного нефтяного газа. Представляется необходимым внести дополнение в Постановление правительства №7 от 08.01.2009г. в части, обязывающей газотранспортные организации (например, ОАО «Газпром») разработать комплекс мер по обеспечению приема ПНГ от нефтедобывающих предприятий. Кроме того, Администрации Томской области необходимо инициировать разработку программы по ужесточению требований к утилизации попутного нефтяного газа на территории Томской области и осуществлять мониторинг ее выполнения.

Список литературы:

1. Черногринов П.Н., Жукова Н.С., Шрамов Д.М. Обзор выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на территории Томской области за 2006 год. – Томск: Изд. Управления по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора по Том. Обл., 2007. – 217 с. Их же. Обзор...за 2007 год. – Томск: Изд. Управления..., 2007. – 62 с.; Их же. Обзор...за 2008 год. – Томск: Изд. Управления..., 2009. – 204 с.; Их же. Обзор...за 2009 год. – Томск: Изд. Управления..., 2010. – 325с.

На примере нефтедобывающих предприятий Томской области сформирован коэффициент нерационального использования ПНГ. Он положен в основу механизма стимулирования утилизации попутного нефтяного газа.

Результатом проведенной работы является Постановление Правительства РФ от 08.01.2009 № 7 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках»:

- установлен целевой показатель сжигания ПНГ на факельных установках не более 5 % с 2012 года;

- пересмотрен порядок взимания платы за выбросы ЗВ при сжигании ПНГ на факелах с учетом дополнительного коэффициента нерационального использования ПНГ равного 4,5 (6,0 при отсутствии средств измерения и учета ПНГ);

- разработаны коэффициенты нерационального использования природных ресурсов, которые введут в действие механизм экономического стимулирования.

Принятие данной программы приведет к увеличению платы в бюджет Томской области ориенти-

УДК 614.8

Исследование влияния коэффициента риска на величину экологической опасности в регионе с применением автоматизированного комплекса работы с многомерными данными

Т.С. Дмитриева, А.Е. Бакланов, Е.А. Куриленко

*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан
dmitrieva.t2009@gmail.com*

Представлена автоматизированная система расчета величины экологической опасности на примере г. Усть-Каменогорска с использованием многомерной обработки данных OLAP. Представлены графики зависимости величины экологической опасности от величины экологического риска.

В настоящее время расчёт экологической опасности для населения является актуальной и востребованной задачей. При этом для оценки рисков используются количественные показатели загрязнения окружающей среды. В данной работе представлена информационная система оценки рисков на основе расчёта, моделирующего поведение концентрации вредных веществ, попавших в атмосферу в результате выбросов промышленного предприятия с учётом категории стабильности атмосферы и розы ветров в регионе [1].

Общая схема информационной системы «УК Эко риски» (Усть-Каменогорские экологические риски) представлена на рис 1.

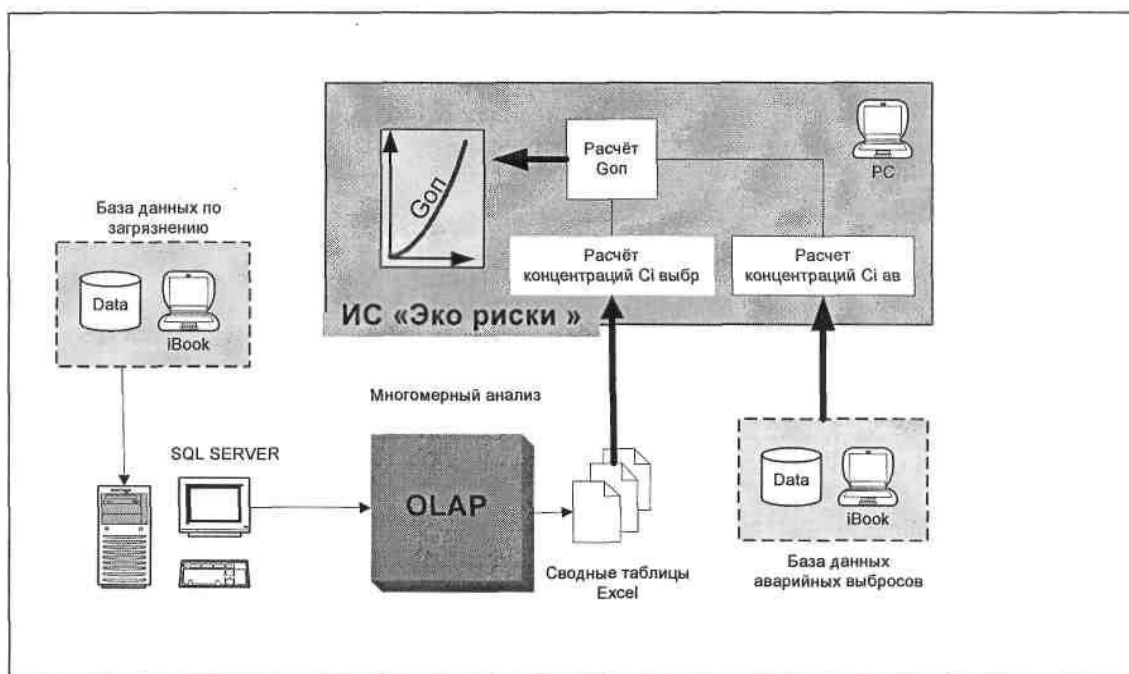


Рис. 1. Общая схема информационной системы «УК Эко риски»

Данные из базы данных по загрязнению атмосферы поступали на SQL-сервер, где с использованием OLAP технологии строились многомерные кубы и путём среза создавались сводные таблицы Excel, где появлялась уже необходимая нам информация – концентрация тех веществ, по которым происходил дальнейший расчёт. Информация по аварийным выбросам поступала из независимой базы данных в отдельный модуль информационной системы. На основе поступающих данных производился количественный анализ и осуществлялся расчёт экологической опасности в регионе.

В общем виде величина экологической опасности зависит от большого числа параметров, поэтому выделение влияния коэффициента риска позволит реально оценивать возможное влияние существующих промышленных предприятий, а также строящихся или проектируемых, на появление экологической опасности в регионе и масштабы возможных нарушений связанных с риском.

Наши исследования проводились для характерных данных Усть-Каменогорских промышленных предприятий. На рисунке 1 представлены результаты исследований изменения величины экологической опасности от коэффициента риска г. Усть-Каменогорска

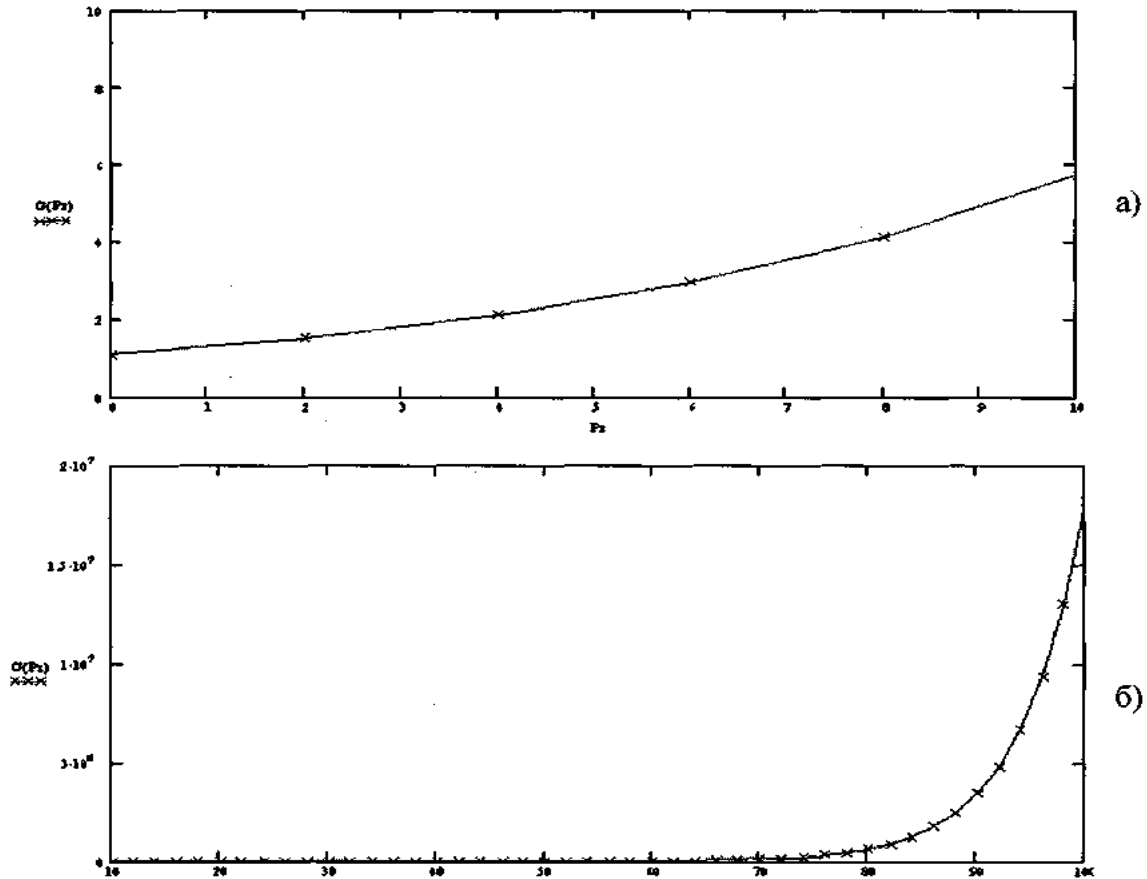


Рис. 1. Графики зависимости величины экологической опасности от величины экологического риска а) при малых значениях риска, б) при больших значениях риска

Расчёт проводился по методике, предложенной в [2], а результатом проведённого исследования стало выделение области значений коэффициента риска, где наблюдается нелинейное увеличение экологической опасности. Так в области малых значений риска (рис.1а) наблюдается незначительное изменение величины экологической опасности, а в области значений риска Pz 60 и выше происходит значительное увеличение экологической опасности. Такая информация позволяет спрогнозировать вероятность появления экологической опасности, приводящей к необратимым геоэкологическим изменениям.

Список литературы:

1. Дмитриева Т.С., Тлебаев М.Б., Квасов И.А., Бакланов А.Е. Свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности под названием «Информационная система расчета рисков загрязнения атмосферы промышленными предприятиями «Эко-риски» (программа для ЭВМ) в комитете по правам интеллектуальной собственности республики Казахстан № 858 от 09.12.2009 ИС 03924.
2. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. - М.:МГУ, 2004. - 124 с.

УДК 533.6.071.4

Эмпирическая модель распространения газообразных примесей от сосредоточенных приподнятых источников в воздухе

К.Г. Добросельский

Дальневосточное высшее военное командное училище, г. Благовещенск, Россия

dobroselsky@mail.ru

Разработана физическая модель рассеяния вредных газообразных примесей, распространяющихся от точечных источников в приземном атмосферном слое. Получена эмпирическая формула для расчета концентрации газовых примесей на различных расстояниях от источника выбросов.

Вредные газообразные примеси наиболее опасны для окружающей среды, так как трудно улавливаются и легко переносятся на большие расстояния. Распространенными загрязнителями атмосферы являются трубы, которые можно считать точечными сосредоточенными источниками.

Детальное исследование рассеяния примесей в атмосферном воздухе затруднительно, поэтому моделирование – одна из первоочередных задач природоохранных мер. Оно должно обеспечивать достоверную информацию о распространении примесей при небольшом количестве параметров, времени и материальных средств.

Существующие модели и методики рассеяния примесей содержат большое количество параметров, зависимость которых от метеоусловий сложна и плохо изучена. Расчеты по ним сильно разнятся [1, 2]. Наиболее достоверные результаты получаются для высоких источников вредных выбросов и далеко от них.

Наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают низкие и средние источники, располагающиеся вблизи жилых и промышленных зон. Действие таких источников исследовано недостаточно. Данная работа частично восполняет этот пробел.

Предпосылки построения модели:

1. Основными параметрами, влияющими на распространение газообразных примесей в атмосферном воздухе, являются направление и скорость ветрового потока, скорость выбросов [3].
2. Выбросы газообразных примесей, скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю, – турбулентные струи, распространяющиеся в поперечном ветровом потоке.
3. Газовоздушную струю выбросов можно считать практически воздушной уже вблизи источника. Рассеяние примесей в атмосферном приземном слое осуществляется в конечном итоге под действием диффузии переносимой среды (ветрового, воздушного потока).
4. Профиль концентраций газообразной примеси подобен профилю избыточных температур в поперечном сечении струи [4, 5].

Для моделирования рассеяния газообразных примесей в реальной атмосфере необходимо соблюдать механическое (физическое) подобие модели, под которым подразумеваются одновременно геометрическое, кинематическое и динамическое подобия [6, 7]. Выполнение полного подобия практически невозможно, однако и частичность его, тем более в случае развитых турбулентных течений, вполне достаточна в пределах качественной оценки рассеяния газообразных веществ.

Для двух геометрически подобных потоков, если их линейные размеры отличаются величиной масштаба, можно записать («н» - натура, «м» – модель):

$$M_l = \frac{l_n}{l_m}, \quad (1)$$

где l_n, l_m – какой-либо размер соответственно природы и модели.

Для сходных скоростей в геометрически и кинематически подобных потоках аналогично можно ввести масштаб скорости:

$$M_u = \frac{u_n}{u_m}, \quad (2)$$

где u_n, u_m – характерные скорости исследуемых течений соответственно в натуре и модели.

Критерий частичного подобия, обеспечивающий пропорциональность сил вязкости и давления, число Рейнольдса:

$$Re = \frac{d_n \times u_n}{\nu_n} = \frac{d_m \times u_m}{\nu_m}, \quad (3)$$

где d_n, d_m – характерные размеры исследуемых течений соответственно в натуре и на модели; ν_n, ν_m – кинематические вязкости исследуемых течений.

Для динамического подобия слабонеизотермических потоков используется критерий Архимеда:

$$Ar = \frac{g \times d \times \Delta T_0}{2 \times u^2 \times T_1} = idem, \quad (4)$$

где d – размер потока (диаметр источника); g – ускорение свободного падения в некоторой характерной точке потока; u – характерная скорость течения (например, осевая); ΔT_0 – разность температур струи в устье источника и окружающей среды; T_1 – абсолютная температура окружающей среды.

Физическая модель изучаемого нами распространения газообразных примесей от точечных приподнятых источников представляет собой воздушную осесимметричную струю, выбрасываемую из трубки диаметром d под прямым углом к направлению движения воздушного потока. Основные характеристики струи и потока представлены на рисунке 1. Для исследования струи в сносящем потоке

применялся аэродинамический канал [8] длиной 5,5 м и поперечным сечением $0,8 \times 0,5$ м. Исследования проводились для относительных скоростных напоров струи и потока $q = 0,85 \dots 6,12$ ($q = u_0^2 / u_1^2$).

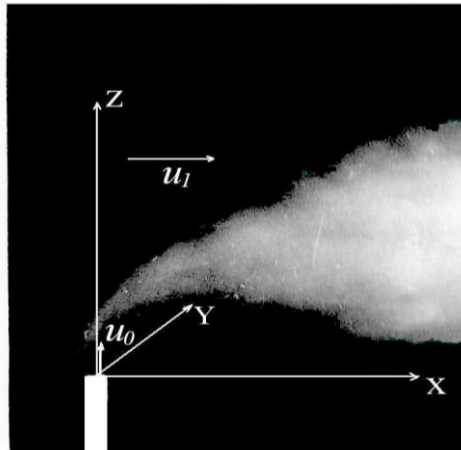


Рис. 1. Вертикальная струя в поперечном потоке

Геометрическое подобие (1) легко достижимо. Натурные диаметры источников выбросов (например, котельные, вентиляционные трубы) лежат в пределах $0,5 \dots 1,5$ м. Для диаметра используемых нами трубок коэффициент $M_t \approx 23 - 68$. Высота трубок $H = 0,22 \dots 0,3$ м, что соответствует высотам реальных труб $h = M_t \cdot H \approx 5 - 20$ м.

Масштаб скорости (2) $M_u = 1,6 \dots 6$, что соответствует скорости атмосферных течений $3 - 10$ м/с и воздушному потоку в канале $u_1 = 1,7 \dots 1,9$ м/с. Отсюда скорость выбросов в «натуре» $u_n \approx 4 - 28$ м/с при скорости «модельных» струй (в устье источника) $u_0 = 2,4 \dots 4,7$ м/с.

Значения чисел Рейнольдса (3) для воздушных струй, формирующихся в вертикальных трубках, составляли $Re_0 = 2,7 \times 10^3 - 6,9 \times 10^3$ м/с, где $Re_0 = u_0 d / \nu$ (ν – кинематическая вязкость воздуха). В центральной части канала был сформирован равномерный поток с числом $Re_1 \approx 8,5 \times 10^4$, где $Re_1 = u_1 D / \nu$ (D – условный диаметр канала, который определялся из равенства площадей поперечного сечения канала и круглой трубы: $a \times b = \pi D^2 / 4$. Откуда $D = \sqrt{(4ab) / \pi} \approx 0,71$). Реальные атмосферные течения имеют числа $Re_1 > 10^5$, а струи газообразных выбросов – $Re_0 > 10^4$. Однако это неполное подобие чисел Рейнольдса для «натуры» и «модели» не оказывает серьезного влияния на достоверность модельного исследования, так как расширение струи не зависит от плотности, вязкости и числа Рейнольдса, если оно достаточно велико [5].

Критерий Архимеда (4) для исследуемых нами слабонеизотермических струй составлял $Ar = 2,8 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-3}$ при разности абсолютных температур в струе и сносящем потоке $\Delta T_0 = 12,5 - 16$ К. Реальная струя примесей достаточно быстро приобретает температуру, близкую к окружающей среде. Поэтому можно не учитывать подъем струи за счет плавучести, связанной с разностью температур выбросов и окружающего воздуха [3, 9].

Идентификация струи производилась по полю температуры. В условиях нашего эксперимента изменение температуры струи относительно потока невелико. Поэтому поле температуры подобно полю концентрации пассивной примеси [4].

Была получена эмпирическая формула для расчета относительной концентрации газообразных примесей, выбрасываемых в атмосферный воздушный поток через одиночные источники:

$$\frac{c}{c_0} = A(\bar{x}) \cdot \exp \left\{ -0,7 \left(\frac{\bar{z} - (\bar{z}_0 + \bar{h})}{\bar{x}} \right)^2 \right\} \cdot \exp \left\{ -0,7 \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right)^2 \right\},$$

где $A(\bar{x}) = 1 / \bar{x}^{0,75}$ вблизи источника ($\bar{x} = x / d$); c_0 – концентрация примеси в устье источника; \bar{z}_0 – положение осевой линии струи (точки максимальной температуры в поперечных сечениях неизотермических струй) выбросов относительно устья источника: $\bar{z}_0 = \frac{z_0}{d} = q^{0,51} \left(\frac{h}{d} \right)^{0,33}$ [10] (подъем струи происходит до $\bar{x} \approx 15$ в зависимости от q); $\bar{h} = \frac{h}{d}$ – относительная высота источника выбросов;

$\bar{z} = \frac{z}{d}$ – относительная вертикальная координата, отсчитываемая относительно подстилающей

поверхности; $\operatorname{tg}\alpha$, $\operatorname{tg}\beta$ – тангенсы углов, образованных точками половинной избыточной максимальной температуры (максимальной концентрации) и продольной осью X, в рассматриваемом поперечном сечении струи соответственно в вертикальной XZ и горизонтальной XY плоскостях.

Вблизи источника ($\bar{x} < 15 - 20$ в зависимости от q): $\operatorname{tg}\alpha^+ = \frac{0,39q^{0,43}}{\bar{x}^{0,75}}$, $\operatorname{tg}\alpha^- = \frac{0,54q^{0,28}}{\bar{x}^{0,75}}$ [11], где "+" соответствует значениям тангенса выше оси струи (наветренная сторона), знак "-" соответственно ниже оси (подветренная сторона); $\operatorname{tg}\beta = \frac{0,29q^{0,86}}{\bar{x}^{0,75}}$. Далеко от источника ($\bar{x} > 15 - 20$), $\operatorname{tg}\alpha \approx 0,10$, а $\operatorname{tg}\beta \approx 0,12$.

Разработанная модель позволяет оценить концентрации газообразных примесей, распространяющихся от точечных источников высотой 5 – 20 м в воздухе и на поверхности Земли для скоростей ветровых потоков 3 – 10 м/с.

Список литературы:

1. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: В 2-х ч. Ч.2. Пер. с англ. /Под ред. С.Калверта, Г.М.Инглунда. - М.: Металлургия, 1988. - 712 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. - Л.: Гидрометеоздат, 1987. - 94 с.
3. Лейкин И.Н. Проектирование вентиляционных и промышленных выбросов в атмосферу. - М.: Химия, 1970. - 132 с.
4. Аксенов А.А., Гудзовский А.В., Дядькин А.А., Тишин А.П. Смешение газов при вдуве низконапорной струи в поперечный поток // Изв. РАН. Сер. МЖГ. - 1996. - №3. - С.67-74.
5. Рейнольдс А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях / Пер. с англ. - М.: Энергия, 1979. - 408 с.
6. Мхитарян А.М. Аэродинамика. - М.: Машиностроение, 1976. - 448 с.
7. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. - М.: Наука, 1965. - 388 с.
8. Добросельский К.Г. Установка для исследования динамики воздушных потоков и струй // Информ. листок. - Благовещенск: ЦНТИ, 1997. - №9.
9. Шагапов В.Ш., Гудкова О.С. Распространение паро-газокапельных струй в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. - 2001. - Т. 37. - №3. - С. 313 – 321.
10. Добросельский К.Г. Вертикальная слабинапорная струя в поперечном потоке // Инженерно-физический журнал. - 2005. - Т.78. - №6. - С. 143 – 147.
11. Добросельский К.Г. Динамические и тепловые характеристики струи, вдуваемой по нормали к поперечному потоку // Теплофизика и аэромеханика. - 2004. - Т.11. - №1. - С. 79 – 86.

Математическое моделирование процессов самоочищения сточных вод

Е.В.Дорожук, М.Д. Михайлов

Томский Государственный университет, г. Томск, Россия

e_lenochka@sibmail.com

Проводится численное исследование модификаций классических моделей Моно и Герберта.

Классические модели Моно и Герберта используются для описания динамики роста микроорганизмов и потребления субстрата [1]. Математически обе модели представляют собой задачу Коши для системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка вида:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = \frac{\mu_m XL}{K_L + L} - bX; \\ \frac{dL}{dt} = -\frac{1}{Y} \frac{\mu_m XL}{K_L + L}; \\ X(0) = X^0, L(0) = L^0, t \in [0, T]; \end{cases} \quad (1)$$

где X - биомасса микроорганизмов, мг/л; L - лимитирующий субстрат, мг/л; μ_m - максимальная удельная скорость роста микроорганизмов, сут⁻¹; K_L - константа полунасыщения, равная концентрации субстрата L , при которой скорость процесса равна $\mu_m / 2$, мг/л; $Y = \left| \frac{dX}{dL} \right|$ -

коэффициент трансформации субстрата в биомассу, или экономический коэффициент; b - константа скорости самоокисления бактерий, сут^{-1} ; X^0, L^0 - начальные значения; t - время, на протяжении которого длится процесс, сут; T - количество суток. Отметим, что для случая модели Моно $b = 0$.

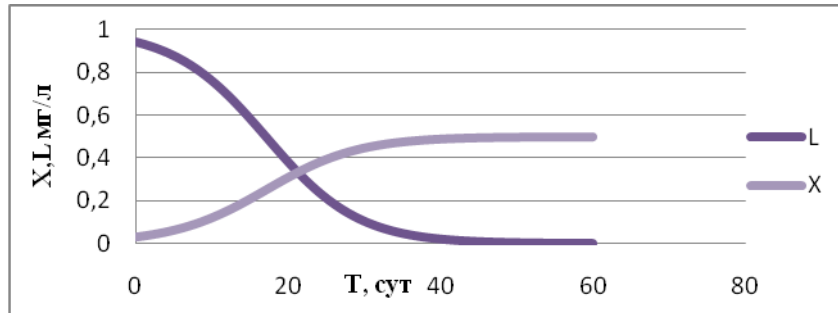


Рис. 1. Модель Моно, загрязнитель нефтепродукты

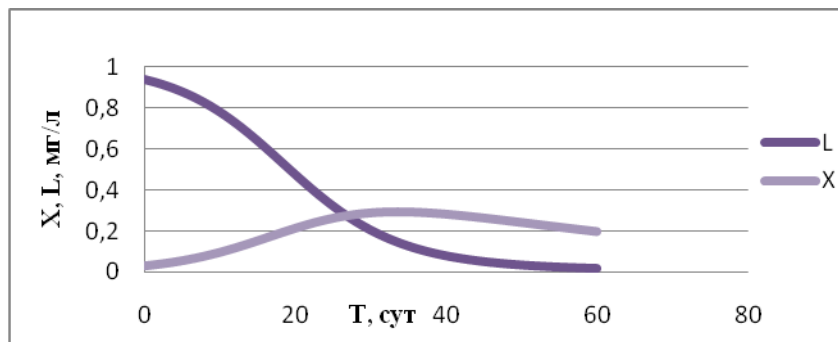


Рис. 2. Модель Герберта, загрязнитель нефтепродукты

Численная реализация моделей (1) осуществлялась с помощью неявного метода Эйлера и метода Рунге-Кутты [2]. Анализ результатов приведен в [3], причем в качестве загрязнителей использовались фенол, нефтепродукты, азот аммонийный и азот нитридный.

Расчеты показали, когда лимитирующим субстратом являются азот нитридный и азот аммонийный, очищение водной среды происходит очень активно в течение 1,5-2 суток. Если в качестве загрязнителя рассматриваем фенол, процесс очищения происходит крайне медленно. При загрязнении водной среды нефтепродуктами модель Моно позволяет достичь минимальной концентрации субстрата за 45 суток (рис.1). В модели Герберта к 60 суткам процесс самоочищения не завершен и требует большего времени (рис.2).

Рассмотрим модификации моделей Моно и Герберта. Для этого в (1) вводим конвективный и диффузионный члены. Тогда модели будут представлять собой первую краевую задачу для системы двух дифференциальных уравнений в частных производных вида:

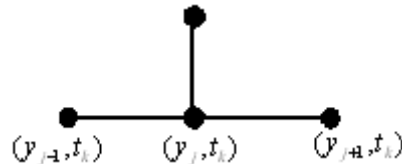
$$\begin{cases} \frac{\partial X}{\partial t} + U \frac{\partial X}{\partial y} = \Gamma_1 \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} + \frac{\mu_m XL}{K_L + L} - bX, \\ \frac{\partial L}{\partial t} + U \frac{\partial L}{\partial y} = \Gamma_2 \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} - \frac{1}{Y} \frac{\mu_m XL}{K_L + L}, \\ X(y,0) = X^0(y), L(y,0) = L^0(y), \\ \left. \begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial y} \Big|_{y=0} &= \frac{\partial X}{\partial y} \Big|_{y=d} = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial y} \Big|_{y=0} &= \frac{\partial L}{\partial y} \Big|_{y=d} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (2) \\ (y,t) \in \bar{G} = G \cup \Gamma = \{(y,t) | 0 \leq y \leq d, 0 \leq t \leq T\}, \end{cases}$$

где U - скорость течения реки, Γ_1, Γ_2 - коэффициенты диффузии.

Численное исследование моделей (2) осуществлялось с помощью явной разностной схемы вида

$$\begin{aligned} \frac{X_j^{k+1} - X_j^k}{\tau} + U \frac{X_j^k - X_{j-1}^k}{h} &= \Gamma_1 \frac{X_{j+1}^k - 2X_j^k + X_{j-1}^k}{h^2} + \frac{\mu_m X_j^k L_j^k}{K_L + L_j^k} - bX_j^k; \\ \frac{L_j^{k+1} - L_j^k}{\tau} + U \frac{L_j^k - L_{j-1}^k}{h} &= \Gamma_2 \frac{L_{j+1}^k - 2L_j^k + L_{j-1}^k}{h^2} - \frac{1}{Y} \frac{\mu_m X_j^k L_j^k}{K_L + L_j^k}; \\ X_j^0 &= X^0; L_j^0 = L^0; \\ X_0^{k+1} &= X_1^{k+1}; X_M^{k+1} = X_{M-1}^{k+1}; \\ L_0^{k+1} &= L_1^{k+1}; L_M^{k+1} = L_{M-1}^{k+1}; \end{aligned} \quad (3)$$

с шаблоном



Использовалась регулярная сетка $\overline{\omega}_{h\tau} = \{(y_j, t_k) | y_j = jh, t_k = k\tau, j = \overline{0, M}, k = \overline{0, R}\}$ с шагами h и τ по пространству и времени соответственно.

Было показано, что разностная схема (3) абсолютно устойчива по начальным данным и аппроксимирует исходную дифференциальную задачу (2) с первым порядком точности относительно τ и h [4, 5].

Результаты численных расчетов задачи (3) представлены на рисунках 3 и 4. Анализ графиков показал, что с течением времени концентрация субстрата равномерно распределяется по рассматриваемому участку реки к моменту времени $t=12$ сут, и падает до ПДК при $t=60$ сут (рис.3). Из рис.4 следует, что биомасса бактерий увеличивается с течением времени и достигает максимальной величины при $t=36$ сут, далее падает.

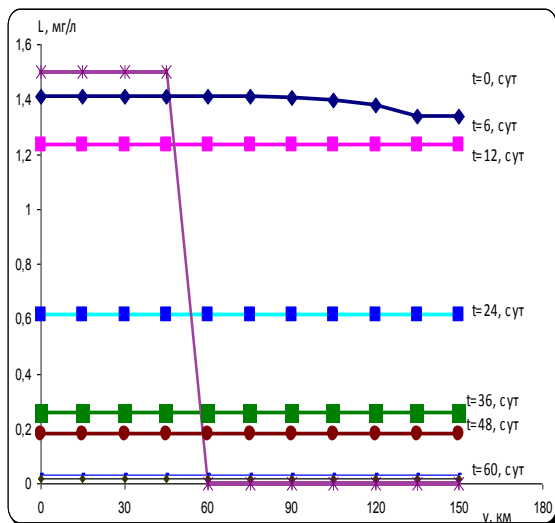


Рис. 3. Изменение концентрации субстрата в узлах пространственной сетки в различные моменты времени (модель Герберта)

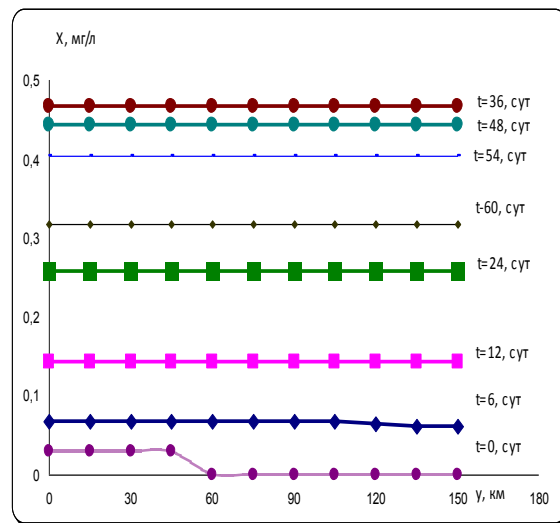


Рис. 4. Изменение биомассы бактерий в узлах пространственной сетки в различные моменты времени (модель Герберта)

Полученные результаты и их анализ позволяют утверждать, что приведенные модификации классических моделей Герберта и Моно могут применяться для описания процессов самоочищения.

Список литературы:

1. Вавилин В.А., Васильев В.Б. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод активным илом, М.:Наука, 1979.-118 с.
2. Меркулова Н.Н., Михайлов М.Д. Методы приближенных вычислений, Изд-во ТГУ, ч.2, 2007.-287 с.

3. Дорошук Е.В., Михайлов М.Д. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод на примере моделей типа Моно // Современные проблемы математики и механики: Материалы Всерос. молод. науч. конф. (Томск, 13-15 октября 2010). Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2010. С. 74-76.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем, М:Наука, 1989.
5. Меркулова Н.Н., Михайлов М.Д. Методы приближенных вычислений, Изд-во ТГУ, ч.3, 2009.-181с.

УДК 614

**К вопросу об исследовании выделения сварочного аэрозоля при сварке
горношахтного оборудования**

Л.П. Ерёмин, В.М. Гришагин, Л.Г. Деменкова

*Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
г. Юрга, Россия
lar-dem@mail.ru*

Приведены данные анализа сварочного аэрозоля фотометрическим и спектрометрическим методом анализа. Установлено, что при сварке горношахтного оборудования токсичность сварочного аэрозоля значительно выше, чем при сварке конструкционных сталей. Предложены меры по снижению валовых выделений сварочного аэрозоля в воздухе рабочей зоны.

По данным Национального агентства контроля и сварки, объём работ в промышленности, выполняемых с применением ручной дуговой сварки металлическими покрытыми электродами, составляет около 63%. Этот вид сварки сопровождается образованием в зоне дуги значительного количества очень мелкой (размером менее 5 мкм) пыли и газов, образующих сварочный аэрозоль. Эти выделения обладают высокой токсичностью и при большой их концентрации в рабочей зоне и отсутствии надлежащей защиты вызывают профессиональные заболевания: хронический пылевидный бронхит, пневмококиоз, интоксикацию оксидами марганца, азота, фтористым водородом и др. Степень вредности сварочных аэрозолей и газов определяется их биологической активностью и количеством токсичных компонентов, выделяющихся при сжигании единицы массы сварочного материала (г/кг), что имеет решающее значение для выбора эффективных мер защиты.

Основной составляющей сварочного аэрозоля являются оксиды железа (более 50%). Однако содержащиеся в аэрозоле в сравнительно небольших количествах оксиды других элементов (марганца, хрома, кремния и др.), а также фтористые соединения оказывают основное влияние на степень токсичности аэрозоля. Опубликованные за длительный период времени результаты исследований удельных валовых выделений аэрозолей и газов при ручной дуговой сварке металлическими электродами весьма противоречивы [1]. Общее количество сварочной пыли и газов в рабочей зоне сварщика зависит от многих факторов: составов применяемых основных и сварочных материалов, режимов сварки, положения тела сварщика относительно дуги, эффективности применяемых защитных средств. При использовании специальных сталей для сварки горношахтного оборудования (35Л, 45Л, 110Г13Л, 35ХГСЛ, 30ХГСА), которые отличаются повышенным содержанием марганца (11...14,5 %) и других легирующих компонентов сварочный аэрозоль обладает повышенной токсичностью. В НАЦ ТПУ нами были проведены анализы твёрдой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP6300 Duo, предназначенного для определения качественного и количественного элементного состава сложных неорганических соединений в растворах. Установлено наличие следующих основных компонентов ТССА, полученного при сварке горношахтного оборудования (сталь марки 30 ХГСА): Al (1789,6 мг/кг), Ca (2914,3 мг/кг), Cr (4511,3 мг/кг), Fe (782758,6 мг/кг), Mn (14891,6 мг/кг), Na (4350,2 мг/кг), Si (4122,7 мг/кг). При использовании стали марок Ст1КП2, ВСт3ГПС, БСт2ПС, 09Г2С, используемых обычно для изготовления металлоконструкций, в литературе [1] приводятся следующие данные: Al (300 мг/кг), Ca (200 мг/кг), Fe (24600 мг/кг), Mn (5600 мг/кг), Na (6800 мг/кг), Si (2000 мг/кг).

Кроме того, установлено, что в ряде производств при сварке горношахтного оборудования среднесменное содержание СА может составлять до 33,6 мг/м³ при ПДК 6,0 мг/м³. Отбор проб сварочного аэрозоля проводился из воздуха рабочей зоны на фильтр при помощи аспиратора. Далее проба исследовалась фотометрическим методом анализа на фотоколориметре КФК-2 [2]. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны приведено в таблице.

Приведённые данные свидетельствуют о том, что уровень содержания токсичных веществ в воздухе рабочей зоны в некоторых цехах Юргинского машиностроительного завода значительно превышает допустимый, что объясняется недостаточно налаженной системой вентиляции. Вызывает опасения тот факт, что в зоне дыхания сварщика, выполняющего ручные операции, содержание вредных компонентов может значительно (в 7...10 раз) превышать как фон, так и ПДК [3].

Установлено, что одним из факторов, обуславливающих валовые выделения сварочного аэрозоля, является мощность дуги. С увеличением мощности дуги содержание марганца в аэрозоле увеличивается, а железа – уменьшается.

Таблица. Уровень содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны при сварке горношахтного оборудования

Наименование компонента	Максимальная концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/м ³
CrO ₃	До 0,033	0,03
Соединения никеля	До 0,087	0,05
Марганец	До 0,81	0,6
Cr ₂ O ₃	До 0,96	1,0

Учитывая вышеприведённые результаты при выборе технологических процессов сварки и резки, следует отдавать предпочтение тем, которые характеризуются наименьшим образованием опасных производственных факторов и минимальным содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. При невозможности применения безопасного и безвредного технологического процесса необходимо применять меры по снижению уровней опасных и вредных факторов до предельно допустимых значений. Сохраняющийся высокий профессиональный риск и сверхвысокий риск заболеваний с временной утратой трудоспособности диктуют необходимость разработки и реализации неотложных мер по предупреждению вредного воздействия производственных факторов на организм электросварщиков, которые должны включать изменение технологического процесса сварки и резки стальных конструкций с заменой марганецсодержащих материалов на менее токсичные материалы, автоматизацию процессов ручной и полуавтоматической сварки и наплавки с применением флюсов, совершенствование оценки профессионального риска и средств индивидуальной защиты работников.

Список литературы:

1. Походня И.К. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами. – Киев: Наукова думка, 2004. – 412 с.
2. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле. МУ № 4945-88. – М.: МП «Рарог», 1992. – 107 с.
3. Опря М.В., Эннан А.А., Михайловский С.С., Контущ С.М. Методика исследования дисперсного состава и электрических свойств твёрдой составляющей сварочного аэрозоля. // Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочной промышленности: Сб. трудов 1-й Междунар. научно-практ. конф. – Одесса, 2002. – С. 145–149.

УДК 87.03.07, 87.35.91

Оценка энергopotенциала гумуса почв Томской области

Т.Ш. Фузелла

Институт мониторинга климатических и экологических систем, г. Томск, Россия

fts10@yandex.ru

Показана возможность расчета энергopotенциала гумуса почв. Установлено, что для различных типов почв Томской области значение данного показателя находится в пределах от 1,2 до 10,5 Дж/га. Сделан вывод о том, что максимальными значениями характеризуются черноземы, лугово-черноземные, торфяно-подзолистые и болотные. Минимальные значения энергopotенциала гумуса почв принадлежат глеево-подзолистым и подзолистым почвам.

Энергия, поступающая от солнца, распределяется по земной поверхности неравномерно, её преобразование – это процесс постоянный и вездесущий. Накопленная в земной поверхности энергия расходуется на процессы рельефообразования, течение воздушных масс, влагообеспеченность и накопление биомассы. Особенности функционирования данных процессов в конкретном регионе обуславливают и энергетический потенциал почвенного покрова.

Результатом трансформации органических остатков в почве является формирование гипертрофированного пахотного горизонта, в котором сосредоточивается основная и переходящая часть всех запасов органической энергии экосистемы. Причем большая его доля заключена в специфической и устойчивой форме – гумусе. Особая роль гумуса в экосистеме заключается в том, что он служит источником питательных веществ, а также комплексно влияет на различные свойства почвы, являясь «стражем» их плодородия. Одним из основных факторов рационального, неистощительного природопользования является оценка энергopotенциала гумуса в почвенном покрове. Использование энергетических показателей для изучения природных систем отнюдь не случайно, так как энергия принадлежит к наиболее фундаментальным характеристикам

С помощью энергетического анализа мы оценили количество энергии, аккумулированной в почвах Томской области. Впервые для Томской области составлена карта энергетического потенциала гумуса разных типов почв. Расчет энергетического потенциала гумуса почв производился по следующей формуле [Володин, 2000]:

$$E_r = HG\bar{V}Q$$

где H – мощность гумусового горизонта (см); G – общий гумус, %; V – объёмная масса почвы, (г/см); Q – энергетический эквивалент гумуса (Дж/га).

В основе электронной карты лежит карта «Почвенный покров Томской области» (Западно-сибирский ГПИЗ, Томский филиал, 1987 г.). Данные по содержанию гумуса, объёмной массе почвы и мощности гумусового горизонта взяты из [1-4].

Результаты энергетического анализа представлены в таблице 1. Количественная оценка энергопотенциала гумуса различных типов почв Томской области находится в пределах от 1,2 до 10,5 Дж/га. Суммарный энергопотенциал гумуса для всех типов почв Томской области составляет $1,61 \cdot 10^{23}$ Дж. Вариабельность E_r можно разделить на 8 диапазонов: 1. 1,2-2,0; 2. 2,0-2,8; 3. 2,8-3,6; 4. 3,6-4,4; 5. 4,4-5,2; 6. 5,2-6,0; 7. 6,0-6,8; 8. 9,2-10,5. Максимальными значениями характеризуются черноземы, лугово-черноземные, торфянисто- и торфяно-подзолистые, болотные верховые и болотные низинные. Минимальные значения энергопотенциала гумуса почв принадлежат глеево-подзолистым и подзолистым почвам.

Вариабельность данного показателя обусловлена процессами почвообразования в разных типах почв и климатическими условиями.

Необходимость данной оценки связана с высокой надежностью его показателей, а вследствие истощения и удорожания топливно-энергетических ресурсов данная количественная оценка поможет в управлении природно-техническими системами.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки энергетического баланса почв, агро(эко)систем и агроландшафтов, почвенного плодородия, направленности воспроизводства плодородия. А также помогут оценить устойчивость плодородия и эффективность систем земледелия. Введение энергетического показателя поможет определить истинную стоимость земельных ресурсов в энергетических единицах, которые наиболее адекватно отражают ценность почвенного покрова, в отличие от экономической оценки.

Таблица 1. Содержание энергопотенциала гумуса в различных типах почв Томской области

Тип почвы	Площадь, тыс. га	Энергопотенциал гумуса, Дж/га	Суммарный энергопотенциал, Дж
Глеево-подзолистые	3074	$1,2 \cdot 10^{12}$	$3,69 \cdot 10^{20}$
Подзолистые иллювиально- гумусовые	29	$1,4 \cdot 10^{12}$	$4,87 \cdot 10^{18}$
Подзолистые иллювиально-железистые	1381	$1,2 \cdot 10^{12}$	$1,66 \cdot 10^{20}$
Подзолистые глееватые	2006	$1,3 \cdot 10^{12}$	$2,87 \cdot 10^{20}$
Торфянисто- и торфяно- подзолистые оглеенные	3135	$9,5 \cdot 10^{12}$	$2,98 \cdot 10^{20}$
Дерново-подзолистые	4109	$1,45 \cdot 10^{12}$	$9,35 \cdot 10^{20}$
Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом	1371	$1,55 \cdot 10^{12}$	$3,93 \cdot 10^{20}$
Дерново-подзолистые глеевые	1806	$1,46 \cdot 10^{12}$	$4,35 \cdot 10^{20}$
Дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	438	$3,53 \cdot 10^{12}$	$2,78 \cdot 10^{20}$
Светлосерые лесные	910	$2 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{20}$
Светлосерые лесные со вторым гумусовым горизонтом	4	$2 \cdot 10^{12}$	$9,44 \cdot 10^{17}$
Серые лесные	1071	$2,2 \cdot 10^{12}$	$6,19 \cdot 10^{20}$
Серые лесные со вторым гумусовым горизонтом	16	$2,6 \cdot 10^{12}$	$1,25 \cdot 10^{19}$
Темносерые лесные	132,2	$3 \cdot 10^{12}$	$1,21 \cdot 10^{20}$
Серые лесные глеевые и глееватые	148	$2,7 \cdot 10^{12}$	$1,26 \cdot 10^{20}$
Серые лесные глеевые и глееватые со вторым гумусовым горизонтом	177	$2,8 \cdot 10^{12}$	$1,59 \cdot 10^{20}$
Черноземы оподзоленные	6	$6 \cdot 10^{12}$	$1,44 \cdot 10^{20}$
Черноземы выщелоченные	82	$6,5 \cdot 10^{12}$	$2,74 \cdot 10^{20}$
Лугово- черноземные	14	$5,5 \cdot 10^{12}$	$2,31 \cdot 10^{19}$
Болотные верховые торфяные на мелких и средних торфах	2500	$10,5 \cdot 10^{12}$	$3,68 \cdot 10^{22}$

Болотные верховые торфяные на глубоких торфах	3509	$10,1 \cdot 10^{12}$	$4,50 \cdot 10^{22}$
Продолжение таблицы 1.			
Болотные переходные торфяные на мелких и средних торфах	1350	$10,5 \cdot 10^{12}$	$1,84 \cdot 10^{22}$
Болотные переходные торфяные на глубоких торфах	1423	$10,5 \cdot 10^{12}$	$2,02 \cdot 10^{22}$
Болотные низинные торфяные на мелких и средних торфах	236	$10,5 \cdot 10^{12}$	$3,81 \cdot 10^{21}$
Болотные низинные торфяные на глубоких торфах	295	$10,5 \cdot 10^{12}$	$4,71 \cdot 10^{21}$
Лугово-болотные (перегнойные и глееватые)	118	$3,5 \cdot 10^{12}$	$1,49 \cdot 10^{20}$
Аллювиальные дерновые кислые	478	$3 \cdot 10^{12}$	$3,33 \cdot 10^{20}$
Аллювиальные дерновые насыщенные	85	$5,1 \cdot 10^{12}$	$1,73 \cdot 10^{20}$
Аллювиальные болотные иловато-перегнойно-глеевые	340	$5,2 \cdot 10^{12}$	$6,89 \cdot 10^{20}$
Аллювиальные болотные иловато-торфяные	25	$5,1 \cdot 10^{12}$	$5,74 \cdot 10^{19}$
Аллювиальные дерновые глеевые и глееватые	532	$1,5 \cdot 10^{12}$	$1,44 \cdot 10^{20}$
Общая Площадь	30800,2		$1,61 \cdot 10^{23}$

Работа выполнена в рамках проекта VII. 63.1.3. фундаментальных исследований ИМСЭС СО РАН

Список литературы:

1. Володин В.М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв. М.: 2000, -334с.
2. Танзыбаев М.Г. Генезис и свойства почв Томского приобья, 1980, - 170 с.
3. Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Терешина Т.В., Шеремет Б.В. Почвы СССР, 1979, - 384 с.
4. <http://www.biodat.ru>

Численное исследование двумерной модели процесса самоочищения загрязненного участка реки

В.В. Громова, М.Д. Михайлов

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Voron_4@list.ru

Предлагается модификация модели Стритера–Фелпса для двумерного случая и неявный численный метод ее реализации, основанный на расщеплении.

В настоящее время чистая пресная вода становится одним из самых дефицитных ресурсов. Ее качество в значительной мере определяется сложными биологическими процессами, протекающими в водных объектах. Использование возможностей математического моделирования помогает преодолеть сложности в исследовании водных объектов, связанные с моделированием водоема в лаборатории, а также возможности негативного воздействия на экосистему при проведении экспериментов в реальных условиях. Модели качества вод описывают пространственно - временные изменения рассматриваемых компонент в водном объекте, происходящие в силу физических процессов, в основе которых лежат законы сохранения вещества и энергии, а также химических и биологических реакций.

Объект наших исследований – участок реки Томь длиной 100 км от пригорода Томска до устья. В силу особенностей антропогенного воздействия на экосистему реки Томь, для исследования была выбрана классическая модель самоочищения Стритера-Фелпса с учетом процессов нитрификации, оценивающая самоочищение реки от органических отходов через концентрации растворенного в воде кислорода. Создание более реальной модели рассматриваемого процесса приводит к дополнению системы новыми переменными, отражающими состояние водоема (ионы аммонийного, нитратного, нитритного азота, нитрифицирующие бактерии).

С учетом дисперсии, которая осуществляется процессами конвекции (перенос органического вещества потоком) и диффузии (наличие в жидкости внутримолекулярного переноса), построим двумерную модель самоочищения загрязненного участка реки. Для этого добавим в систему оду для одномерного случая, рассмотренную в [доклад], конвективные и диффузионные члены. В результате получим систему дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка:

$$\Lambda \bar{U} = \bar{f},$$

$$\bar{U} = (L, N_1, N_2, N_3, X_1, X_2, D)^T$$

$\Delta_k = \nu \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right), \Delta_d = D_L \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right)$. – операторы конвекции и диффузии соответственно;

$(x, y) \in \bar{G}, \bar{G} = (x, y) | a_1 \leq x \leq b_1, a_2 \leq y \leq b_2, t \in [0, T]$.

$$\Lambda \bar{U} = \begin{cases} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \nu \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} \right) - D_L \left(\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial y^2} \right), \\ \bar{U}(x, t_0), a_1 < x \leq z_1, a_2 \leq y \leq z_2 \\ \bar{U}(x, y, t_0), z_1 < x \leq b_1, z_2 < y \leq b_2, \\ \left. \begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \Big|_{x=a_1} &= \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} \Big|_{y=a_2}, \\ \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \Big|_{x=b_1} &= \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \Big|_{x=b_2}, \end{aligned} \right\} \\ \bar{f} = \begin{cases} f_i, i = \overline{1, 7}, \\ \bar{U}_0, \\ \bar{U}_1, \\ \bar{0}, \\ \bar{0}. \end{cases} \end{cases}$$

Запишем теперь соответствующую разностную задачу:

$$\Lambda_h \bar{U}^{(h)} = \bar{f}^{(h)}, \bar{U}^{(h)} = (L^{(h)}, N_1^{(h)}, N_2^{(h)}, N_3^{(h)}, X_1^{(h)}, X_2^{(h)}, D^{(h)})^T,$$

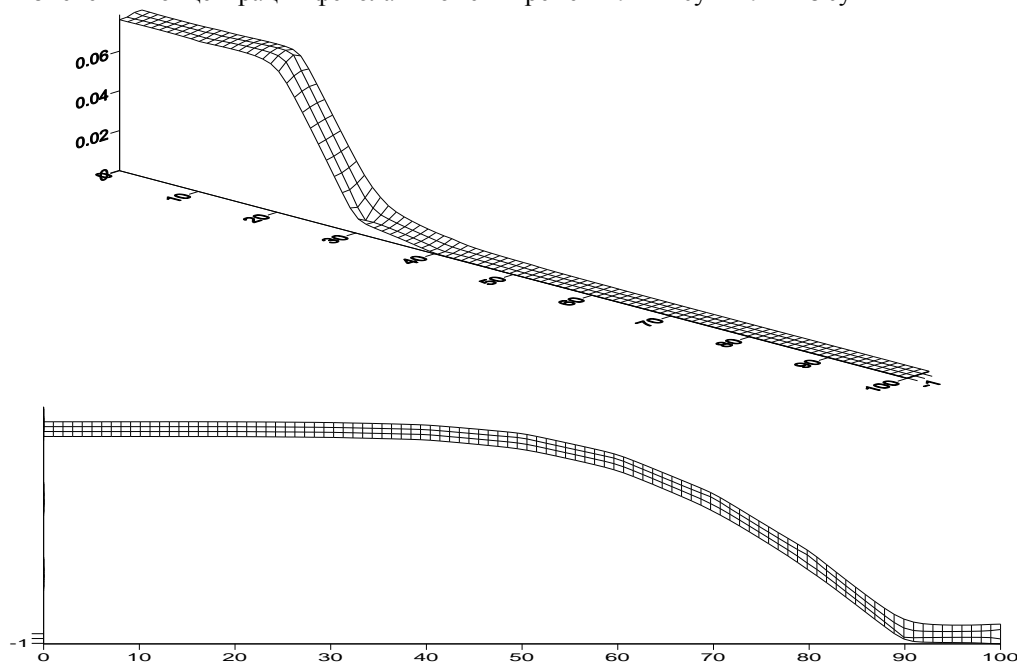
$$\Lambda_h \bar{U}^{(h)} = \begin{cases} \frac{\bar{U}_{j,k}^{n+1} - \bar{U}_{j,k}^n}{\tau} + \nu \left(\frac{\bar{U}_{j+1,k}^{n+1} - \bar{U}_{j-1,k}^{n+1}}{2h_1} + \frac{\bar{U}_{j,k+1}^{n+1} - \bar{U}_{j,k-1}^{n+1}}{2h_2} \right) - \\ D_L \left(\frac{\bar{U}_{j+1,k}^{n+1} - 2\bar{U}_{j,k}^{n+1} + \bar{U}_{j-1,k}^{n+1}}{h_1^2} + \frac{\bar{U}_{j,k+1}^{n+1} - 2\bar{U}_{j,k}^{n+1} + \bar{U}_{j,k-1}^{n+1}}{h_2^2} \right), \\ j = \overline{1, Nx-1}, k = \overline{1, Ny-1}, n = \overline{1, M-1}, \\ \bar{U}_{j,k}^0, j = \overline{0, 2}, k = \overline{0, 2}, \\ \bar{U}_{j,k}^0, j = \overline{3, Nx}, k = \overline{3, Ny}, \\ \bar{U}_{j,0}^{n+1} - \bar{U}_{j,1}^n, j = \overline{0, Nx}, n = \overline{1, M-1}, \\ \bar{U}_{0,k}^{n+1} - \bar{U}_{1,k}^n, k = \overline{0, Ny}, \\ \bar{U}_{j,Ny}^{n+1} - \bar{U}_{j,Ny-1}^n, j = \overline{0, Nx}, \\ \bar{U}_{Nx,k}^{n+1} - \bar{U}_{Nx-1,k}^n, k = \overline{0, Ny}. \end{cases}$$

$$\bar{f}^{(h)} = \begin{cases} \bar{f}_{j,k}^n, \\ \bar{U}_0, \\ \bar{U}_1, \\ \bar{0}, \\ \bar{0}, \\ \bar{0}, \\ \bar{0}. \end{cases}$$

где $\bar{U}_0 = (L_0, N_{10}, N_{20}, N_{30}, X_{10}, X_{20}, D_0)^T$,
 $\bar{U}_1 = (0, N_{10}, N_{20}, N_{30}, X_{10}, X_{20}, D_0)^T$.

Исследовались вопросы о погрешности аппроксимации, устойчивости и сходимости указанного численного метода. В результате чего было показано, что решение разностной задачи сходится к решению дифференциальной со скоростью $O(\tau^2 + |h|^2)$.

Численная реализация поставленной задачи осуществлялась на языке C++. Для построения графиков использовался пакет программ Surfer. В качестве органического вещества рассматривались фенол и нефтепродукты – основные загрязнители р. Томь. Расчеты велись на участке реки длиной 100 км, шириной 0,8 км, с шагом по пространственным переменным: по x $h_1 = 10$ км, по y $h_2 = 0,08$ км, по времени $\tau = 0,01$ суток. Результаты численных расчетов представлены в виде графиков. Рассмотрим графики изменения концентрации фенола в момент времени $t = 1$ сут и $t = 10$ сут



Величина L уменьшается с течением времени и к 30 суткам достигается безопасная величина 0,14 мг/л, что говорит о завершении процесса самоочищения к указанному моменту. Заметим, что в первые 10 суток процесс носит интенсивный характер, затем его скорость уменьшается. Величина D в начальный момент времени равна 0, т.е. подразумевается, что в водной среде достаточное количество кислорода. Спустя 5 суток дефицит кислорода принимает максимальное значение 16 мг/л и затем начинает падать. Это связано с тем, что кислород расходуется при росте микроорганизмов, и уменьшение дефицита кислорода происходит за счет их смертности и аэрации кислорода.

Проведенный анализ показывает, что предложенная модификация модели Стритера-Фелпса корректно описывает физические процессы, происходящие при самоочищении загрязненного участка реки.

Математическое моделирование позволяет спланировать стратегию управления качеством воды в источнике и оценить последствия ее реализации. Сравнительный анализ вклада в загрязненность реки Томь различных источников отходов наглядно показывает, что наиболее негативно на экосистему реки влияют сбросы нефтепродуктов, а также ливневые стоки Томска и Северска, которые сложно нормировать и контролировать. Анализ химического состава ливневых сточных вод указывает на необходимость строительства очистных сооружений ливневых вод полного цикла.

Спуск загрязненных промышленных сточных вод в медленно текущие, маловодные реки (в частности, Томь) может быть разрешен лишь после предварительного обезвреживания этих вод осветлением, фильтрацией или биологической очисткой в силу отсутствия ряда важных для самоочищения факторов.

Численные исследования водных объектов приобретают большую актуальность в силу того, что на их основе можно выяснить, как зависит качество воды и продуктивность водной экосистемы от антропогенных воздействий.

Список литературы:

1. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. – М.: Наука, 1981.
2. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989.

3. Савичев О.Г., Шварцев С.Л. Качество речных вод и проблемы управления водопользованием в бассейне реки Томи//Вычислительные технологии. – Томск, 2006. Том 11, ч.2
4. Громова В.В., Михайлов М.Д. Численное исследование процесса самоочищения загрязненного участка реки//Материалы Всероссийской научной конференции «СПММ». – Томск, 2010, с.60-63.

Химические превращения в атмосфере содержащей отходящие дымовые газы объектов энергетического комплекса

Д.В. Гвоздяков, В.Е. Губин, Г.В. Кузнецов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Dim2003@tpu.ru, gdv424@mail.ru

Проблема загрязнения окружающей среды продуктами сгорания натуральных топлив ТЭС и остается актуальной для энергетиков всех стран с развитой экономикой. В силу наличия в отходящих дымовых газах ТЭС твердых продуктов сгорания, а именно летучая зола, имеет место протекание гетерогенных реакций, в результате которых образуются кислоты, которые в свою очередь являются достаточно эффективным механизмом выведения оксидов серы и азота из атмосферы. Поверхность частиц летучей золы и особенно сажи может адсорбировать как молекулы диоксида серы, так и молекулы и радикалы окисляющих агентов.

Общий эффект гетерогенных реакций в окислении диоксида серы в существенной степени зависит от объемной концентрации частиц, площади поверхности на единицу объема, физико-химических свойств поверхности и т.д. Немаловажным обстоятельством является и то, что при достаточно высокой относительной влажности поверхность частиц покрывается слоем молекул воды. По данным [1], при 25 °С и относительной влажности 60–70 % частицы летучей золы покрыты слоем воды, который меньше мономолекулярного, а при относительной влажности 90 % – несколькими молекулярными слоями воды в результате чего в образовавшейся пленке воды может происходить жидкофазная реакция окисления. В условиях высокой влажности скорость окисления диоксида серы может возрасти на 1–2 порядка. Естественно, что на первом этапе существования дымового факела скорость окисления диоксида серы может быть высокой, но по мере очищения атмосферы от частиц, снижение их объемной концентрации и насыщения поверхности, вероятность протекания гетерогенных реакций будет уменьшаться.

В ряде работ [2, 3] было показано, что скорость окисления диоксида серы не постоянна во времени и снижается по мере удаления воздушных масс от источника загрязнения. Так в работе [1] представлена функциональная зависимость скорости окисления диоксида серы от времени переноса загрязненных воздушных масс:

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{2,1t}, \quad (1)$$

где K_{Σ} - обобщенная константа скорости окисления диоксида серы, ч^{-1} ; t - время переноса загрязненных воздушных масс, ч. Данная эмпирическая формула справедлива для диапазона $3 \text{ ч} < t < 25 \text{ ч}$, что, по определению [4] соответствует расстояниям переноса регионального масштаба. Формула (1) получена и может быть использована для сухой погоды (относительная влажность менее 75%), поэтому она не учитывает окисления в жидко-капельной фазе и, возможно не полностью учитывает гетерогенного окисления.

В работе [3] на основании большой серии натуральных наблюдений получена зависимость скорости окисления от интенсивности солнечного света и концентрации озона в окружающем воздухе:

$$K_{\Sigma} = 0,03 \pm 0,01 \text{ RH } O_3 \text{ }_0$$

где R - поток солнечной радиации на уровне земной поверхности, кВт/м^2 ; H - высота слоя перемешивания факела, м; $O_3 \text{ }_0$ - концентрация озона в окружающем факел воздухе, млн^{-1} .

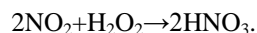
Из экспериментальных исследований известно следующее:

- летом дневная скорость окисления на порядок выше, чем зимой. Вне зависимости от сезона ночью скорость окисления падает практически до нуля;
- на основании серии опытов было найдено, что суммарная скорость окисления составляет примерно $0,04 \text{ ч}^{-1}$;
- из обзора подобных работ видно, что оценки скорости окисления колеблются в довольно широких пределах (от $0,005$ до $0,15 \text{ ч}^{-1}$);
- на основании приведенных выше оценок скоростей отдельных механизмов окисления суммарную скорость окисления диоксида серы принимают равной $0,027 \text{ ч}^{-1}$, а соответствующее время жизни относительно процессов окисления – 37 ч.

В меняющихся условиях факела обобщенный коэффициент скорости гетерогенных реакций может находиться в пределах $0,3-0,003 \text{ ч}^{-1}$. Для условий реальной атмосферы над крупным промышленным районом эту скорость можно принять равной $0,01 \text{ ч}^{-1}$, а соответствующее время жизни диоксида серы относительно гетерогенных реакций - 100 ч.

Следует отметить, что данные оценки (скорости окисления оксидов серы) являются среднесуточными и характерны для условий загрязнения над промышленными регионами летом.

Сведения относительно протекания гетерогенных и жидкофазных реакций оксидов азота достаточно противоречивы, хотя большинство специалистов сходятся во мнении, что эти реакции не являются преобладающими механизмами образования азотной кислоты. Диоксид азота, достаточно легко растворимый в воде каплей или водных пленок, покрывающих частицы, может окисляться по следующей реакции:



Таким образом, для условий атмосферы над промышленными регионами в средних широтах летом суммарная скорость превращения оксидов азота в азотную кислоту составит $0,12 \text{ ч}^{-1}$. Кроме того, со скоростью $0,025 \text{ ч}^{-1}$ оксиды азота удаляются из атмосферы за счет реакций с химически активными органическими соединениями. Следовательно, среднее время жизни оксидов азота относительно химических реакций будет составлять 7ч.

Следует отметить, что образовавшаяся азотная кислота может долгое время находиться в атмосфере как в газовой, так и в жидкой фазе.

Основной путь поступления образовавшихся кислот из атмосферы является процесс вымывания, который в свою очередь разделяется на две стадии. На первой стадии вымываемое вещество либо участвует в образовании облачной капли, служа ядром конденсации, либо захватывается каплями облака на том этапе их развития, когда они еще не превратились в падающие дождевые капли. Эта стадия определяется как внутриоблачное вымывание. На второй стадии вещество захватывается падающей каплей дождя на всем пути полета до контакта с подстилающей поверхностью. Вторая стадия называется подоблачное вымывание.

Диоксид серы, диоксид азота и газообразная азотная кислота хорошо растворимы в воде, оксид же азота в воде растворяется слабо. Скорость растворения зависит от суммарной поверхности капельной фазы, температуры, физико-химических свойств газа, pH жидкости в капле и т.д. Растворение газов подчиняется закону Генри, т.е. продолжается до тех пор, пока не наступит равновесие между жидкой и газовой фазами. Для капель размером $80-100 \text{ мкм}$ равновесие газовой и жидкой фазами для диоксида серы устанавливается за время, равное примерно нескольким секундам. Следует отметить, что размер твердых частиц дымового газа (продуктов сгорания натуральных топлив ТЭС) лежит в пределах от 100 нм до 100 мкм [5].

Не маловажным фактом является и то, что вблизи источников выброса, где сера и азот представлены в основном их газообразными оксидами, а не частицами, вклад растворения газов может быть существенно выше. На больших расстояниях ситуация меняется в пользу вымывания за счет облачных ядер конденсации, вклад которых в вымывание может достигать 80%.

В первом приближении разумно предположить, что скорость вымывания соединений серы или азота пропорциональна их содержанию в подоблачном слое, т.е. согласно условиям кинетики первого порядка:

$$dm/dt = -\Lambda m,$$

где m - масса вещества в столбе воздуха подоблачного слоя, Λ - коэффициент пропорциональности (часто называется коэффициентом Лангмюра), в свою очередь зависящий от интенсивности осадков. Естественно, если речь идет о средних условиях какого-либо региона, необходимо учитывать не только интенсивность выпадения осадков, но и статистику распределения «сухих» и «мокрых» периодов. В этом случае усредненным во времени параметром вымывания может служить коэффициент вымывания $k_{\text{ВЫМ}}$ или его обратная величина - время жизни относительно вымывания $\tau_{\text{ВЫМ}}$:

$$\tau_{\text{ВЫМ}} = \frac{1}{k_{\text{ВЫМ}}} = \frac{1}{f \Lambda}.$$

где f - доля времени выпадения осадков. Для условий Европы можно принять, что для оксидов серы и азота и газообразной азотной кислоты $k_{\text{ВЫМ}} = 0,01 \text{ ч}^{-1}$, а для сульфатов и нитратов $k_{\text{ВЫМ}} = 0,015 \text{ ч}^{-1}$. Соответствующие время жизни составит 100 и 70 ч.

Следуя из того, что концентрация образовавшейся кислоты в осадках и воздухе определяется у земли, говорить о превышении допустимого содержания кислоты в осадках можно по значению pH.

Среднее количество выпадающих осадков, как правило, хорошо известно. Например, для европейского региона можно принять годовое выпадение равным 600 мм . Отсюда несложно рассчитать

значение рН дождевой воды. Известно, что равновесное значение рН дождевой воды составляет примерно 5,6 и соответствует концентрации свободных ионов водорода, равной примерно $2,5 \cdot 10^{-6}$ г-ион/л. Добавление серной и азотной кислот повышает концентрацию свободных ионов водорода и, следовательно, понижает значение рН.

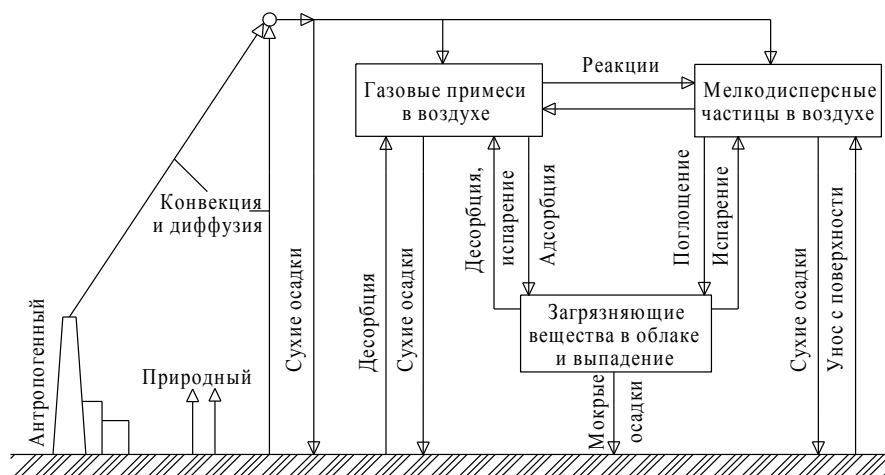


Рис. 1. Схема процессов выбросов веществ в атмосферу и трансформации исходных веществ в продукты с последующим выпадением в виде осадков

При расчете значения рН дождевой воды обычно рассматривается не весь поток кислот на подстилающую поверхность, а лишь та его часть, которая обусловлена осадками.

Список литературы:

1. Impact of particles and SO₂ from coal-fired power plants on acid rain / K.P. Ananth, J.B. Galeki, L.J. Shannon et al. – In: Proceedings of the 4th Intern. Clean Air Congress. Tokyo: Papan Printing Co. Ltd, 1977, p. 588–591.
2. Королев С.М., Рябошапко А.Г. Атмосферный сток загрязняющих веществ с территории Японии. – Труды ИПГ, 1978, вып. 39, с. 86–98.
3. Husar R.V., Patterson D.E., Hussar J.D. Sulfur budget of a power plant plume. – *Atm. Environ.*, 1978, vol. 12, N 1–3, p. 549–568.
4. Кислотные дожди. Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман, Ф.Я. Ровинский, А.Г. Рябошапко, Л.М. Филлипова. Издание 2-е, дополненное и переработанное. Ленинград, Гидрометеиздат 1989, 270 с.
5. Терехов, Виктор Иванович. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках / В. И. Терехов, М. А. Пахомов. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. — 284 с.

УДК 533.9 (075.8)

Плазменный модуль для утилизации нефтяных отходов на базе высокочастотного факельного плазмотрона

А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин, А.Д. Побережников
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
karengin@tpu.ru

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований режимов работы плазменного модуля на базе высокочастотного факельного плазмотрона, предназначенного для плазменной утилизации горючих композиций на основе нефтяных шламов в условиях неравновесной воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда. Предлагается их использование для промышленного получения из горючих отходов тепловой энергии.

Только в России объёмы накопленных горючих промышленных отходов (нефтяные и угольные шламы, нефтесодержащие жидкости, битумизированные остатки, отработанные масла) достигают миллионов тонн, а плановые платежи за их размещение и хранение составляют миллиарды рублей в год [1,2]. Существующие традиционные технологии (в основном, термические) не решают проблемы утилизации и обезвреживания таких отходов и приводят к образованию различных вредных и токсичных соединений [2,3]. Следует также отметить, что эти отходы имеют значительную теплотворную

способность (до 32 МДж/кг) и могут быть использованы в качестве топлива для промышленного получения дешевой тепловой и даже электрической энергии [3-5].

На кафедре «Техническая физика» Национального исследовательского Томского политехнического университета создан плазменный модуль на базе высокочастотного факельного плазмотрона, предназначенный для отработки технологии экологически безопасной утилизации нефтяных и других горючих промышленных отходов в условиях неравновесной воздушной плазмы высокочастотного факельного разряда. На рисунке 1 представлены фотография плазменного модуля (а) и его схема (б).

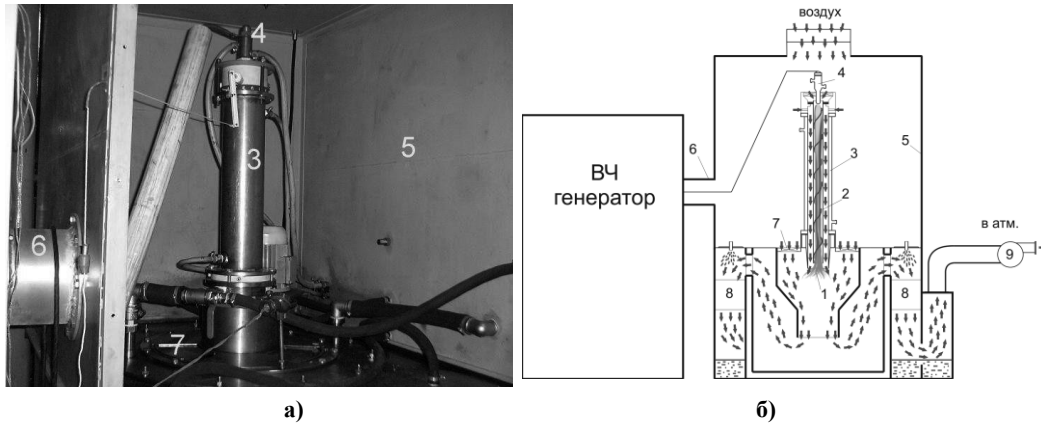


Рис.1. Плазменный модуль на базе высокочастотного факельного плазмотрона: 1 – высокочастотный факельный разряд; 2 – кварцевая разрядная камера; 3 – корпус плазмотрона; 4 – водоохлаждаемый медный электрод; 5 – защитный корпус плазменного модуля; 6 – фидер ВЧ генератора ВЧГ8-60/13; 7 – импеллер реактора с переменной входной площадью; 8 – узел мокрой очистки отходящих газов; 9 – высоконапорный вытяжной вентилятор ВР 240-26 (№4)

Для предварительной оценки оптимальных составов горючих композиций на основе нефтяных шламов был проведен расчет их адиабатической температуры горения для широкого диапазона концентраций нефтепродуктов, механических примесей и воды.

На рисунке 2 показано влияние содержания нефтепродуктов и механических примесей на адиабатическую температуру горения $t_{ад}$ горючих композиций на основе нефтяных шламов.

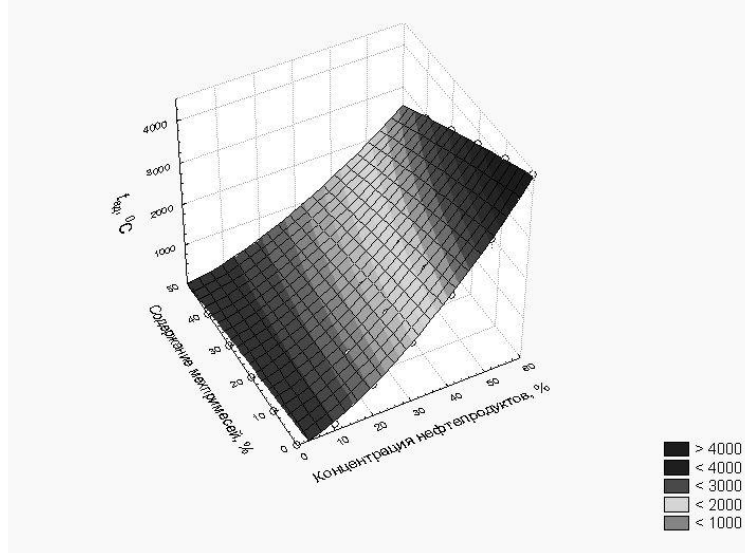


Рис. 2. Влияние содержания нефтепродуктов и механических примесей на адиабатическую температуру горения горючих композиций на основе нефтяных шламов

Представленный график позволяет определять различные горючие композиции оптимального состава на основе нефтяных шламов, имеющие $t_{ад} \geq 1200$ °C и обеспечивающие экологически безопасное сжигание таких отходов. Например, оптимальная горючая композиция на основе нефтяных шламов, включающая 10% механических примесей, должна содержать не менее 40% нефтепродуктов, остальное – вода.

Для оценки возможностей быстрого предварительного разогрева реактора были исследованы режимы работы факельного плазмотрона, обеспечивающие без подачи в реактор нефтяных отходов

повышение температуры отходящих из реактора газов выше температуры вспышки этих отходов. На рис. 3 показано влияние на температуру отходящих из реактора газов анодного тока генератора (мощности факельного разряда) и входной площади импеллера реактора.

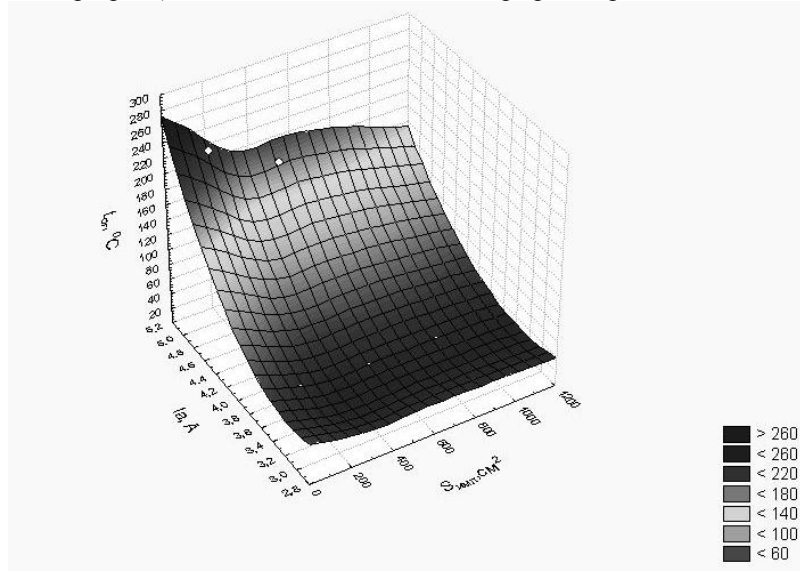


Рис.3. Влияние анодного тока генератора и входной площади импеллера реактора на температуру отходящих газов

Из анализа полученной графической зависимости следует, что быстрый разогрев реактора и повышение температуры отходящих из реактора газов выше температуры вспышки горючих композиций могут быть достигнуты только при анодном токе генератора $I_a \geq 5$ А и входной площади импеллера реактора $S_{\text{имп}} \leq 330$ см².

С учётом этого, для повышения эффективности работы плазменного модуля его работу следует начинать в режиме «Прогрев» ($I_a \geq 5$ А, $S_{\text{имп}} = 330$ см²) для быстрого разогрева реактора и повышения температуры отходящих из реактора газов до температуры вспышки горючих отходов, а после подачи в реактор подготовленной горючей композиции и розжига реактора плазменный модуль необходимо перевести в режим «Работа» ($I_a \leq 3,0$ А, $S_{\text{имп}} \geq 1320$ см²) для экономичной работы плазменного модуля на заданном технологическом режиме.

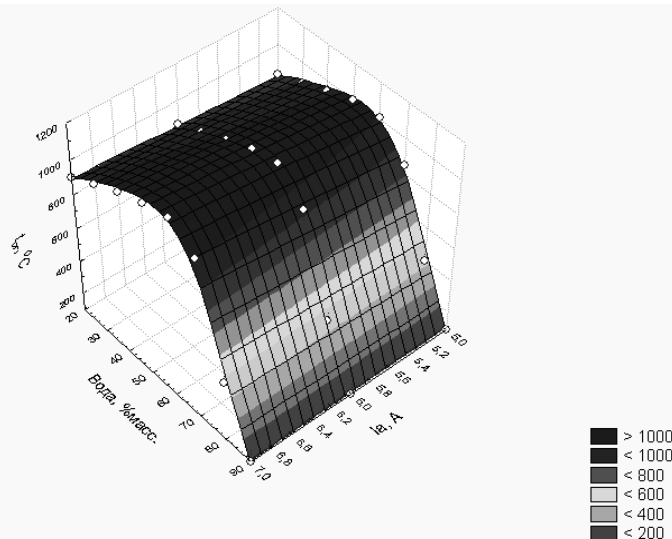


Рис.4. Влияние анодного тока генератора и содержания воды в горючей композиции на рабочую температуру плазменного сжигания нефтяных шламов

Для подтверждения расчетных данных были проведены экспериментальные исследования плазменного сжигания диспергированных горючих композиций на основе нефтяных шламов различного оптимального состава в реакторе плазменного модуля. На рис. 3 показано влияние анодного тока генератора и содержания воды в горючей композиции на основе нефтяного шлама на рабочую

температуру плазменного горения горючей композиции (без механических примесей) в режиме «Работа» (расход 1000 л/ч).

Из анализа полученной графической зависимости следует, что во всём диапазоне изменения анодного тока генератора (3...5 А) рабочая температура плазменного горения горючей композиции достигает максимального значения $\approx 1200^{\circ}\text{C}$ при содержании воды $\approx 60\%$, что удовлетворительно согласуется с расчетными данными (рис. 2). При этом, с каждой тонны горючих композиций может быть получено не менее 2,0 МВт·ч (1,7 Гкал) тепловой энергии.

Таким образом, результаты проведенных исследований указывают на реальную возможность создания стационарных или передвижных плазменных генераторов тепловой энергии из промышленных отходов в виде горючих композиций оптимального состава.

Список литературы:

1. Мазалов Е.А., Мещеряков С.В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. М.: Издательский дом «Ноосфера», 2001.
2. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.: Химия, 1990.
3. Анисимова С. Проблема сгорит в плазменном факеле // Журн. Недр и ТЭК Сибири. №3 (40), 2009, С. 20-21.
4. Каренгин А.Г., Шабалин А.М. Патент РФ на изобретение №2218378. Способ утилизации нефтяных шламов и плазмокаталитический реактор для его осуществления. Заявлено 09.12.2002; Оpubл. 10.12.2003, Бюл. № 34. – 14 с.
5. Каренгин А.Г., Ляхова В.А., Шабалин А.М. Установка плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов // Журн. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. №4, 2007, С. 10-12.

Активность порошка меди в водном растворе глюкозы

Н.В. Лыбина, А.Ю. Годымчук

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

nadialybina@yandex.ru

В настоящей работе исследовали активность электровзрывных нанопорошков меди различной дисперсности в водном растворе глюкозы. В качестве параметров активности определяли дисперсность исходного нанопорошка и дисперсной фазы методом лазерной дифракции. Показано, что в водном растворе глюкозы взаимодействие сопровождается агрегацией дисперсной фазы, при этом дисперсность остается практически постоянной в течение 60-90 минут.

Большой интерес в применении металлических нанопорошков связан с использованием их в различных отраслях промышленности для реализации их в атомной энергетике, для светодиодного освещения, в электротехнике, для достижения сверхпроводимости, в трубопроводных системах и нефтехимии, в водородной и солнечной энергетике, электронике, оптике, сельском хозяйстве, обрабатывающей промышленности, природоохранной, косметической индустрии.

Однако, в процессе получения и потребления нанопорошки могут воздействовать на здоровье персонала и потребителей, проникая в организм через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт и кожный покров [1]. При выведении наночастиц из организма естественным образом, нельзя исключить вероятность их накопления.

Попадая в биологическую среду, нанопорошки в первую очередь вступают во взаимодействие с биологическими жидкостями, что представляется важным при оценке рисков воздействия наноматериалов и продуктов их взаимодействия на здоровье человека.

В литературе имеются данные по изучению активности электровзрывных нанопорошков меди различной дисперсности в биологических растворах неорганической природы [2]. Однако одним из важных пунктов тестирования наноматериалов *in vitro* является изучение активности в растворах органической природы [3]. Поэтому, целью данной работы являлось определение дисперсности нанопорошков меди в простейшем биологическом растворе органической природы.

Экспериментальная часть.

В работе исследовались нанопорошки меди, полученные в среде аргона с помощью электрического взрыва проволочек (ЭВП) на предприятии «Передовые порошковые технологии» (г. Томск).

Величину удельной поверхности ($S_{уд}$) определяли с помощью низкотемпературной адсорбции азота на приборе «СОРБИ – М» согласно ГОСТ 23401-90.

Для вычисления среднеповерхностного размера частиц d , считали, что все частицы одного диаметра и их форма сферическая по формуле $d=6/(\rho*S_{уд})$, где ρ – плотность вещества (Cu – 8,960).

Форму и размеры сухих частиц и агломератов определяли при помощи сканирующего электронного микроскопа *JSM-7500FA (Jeol)*.

Исследования проводили в водном 4,5 %-ный растворе глюкозы $C_6H_{12}O_6$, (ГОСТ 975-88). *pH* приготовленного раствора соответствовало *pH* сыворотки крови $pH=7,2\div 7,5$. Этот раствор применяется в терапии для пополнения организма жидкостью и источником ценного питательного материала, а также одним из компонентов крови и межклеточных жидкостей [4]. На основе приготовленного раствора и нанопорошков готовили суспензию с концентрацией 0,10 мас.%. В приготовленной суспензии определяли объёмное распределение частиц по размерам с помощью анализатора частиц *SALD-7101 (Shimadzu)*, в основе которого лежит метод лазерной дифракции. Данные анализа использовали для определения среднего диаметра частиц (агломератов) в суспензии.

Результаты и их обсуждение.

Электронномикроскопическое исследование показало, что форма частиц исходных нанопорошков меди близка к сферической, при этом размеры частиц составляют для Cu-50 - 65-85 нм, а агломераты достигают 10-30 мкм при $S_{уд}=8,87 \text{ м}^2/\text{г}$, для Cu-100 ($S_{уд}=6,64 \text{ м}^2/\text{г}$ $d_{частиц}=100 \text{ нм}$, размер агломератов 20 - 37 мкм), нанопорошок меди Cu-150 ($S_{уд}=6,43 \text{ м}^2/\text{г}$ $d_{частиц}=150 \text{ нм}$, размер агломератов 25 - 45 мкм) и Cu-200 ($S_{уд}=3,53 \text{ м}^2/\text{г}$ $d_{частиц}=200 \text{ нм}$, размер агломератов 40 - 55 мкм).

После выдерживания медных нанопорошков в водном растворе глюкозы можно сделать вывод о том, что с увеличением дисперсности нанопорошков средний диаметр частиц уменьшается.

На рис.1 представлено распределение частиц по размерам для исследуемых нанопорошков в суспензии на основе раствора глюкозы.



Рис. 1. Изменение среднего размера частиц в суспензиях

Образец Cu-50 в первые 30 секунд достигает среднеповерхностного диаметра частиц 21,65 мкм, через 30 минут происходит снижение до 14,23 мкм и дальнейшее увеличение в течение 30 минут до 19,49 мкм. У образца Cu-100 среднеповерхностный диаметр частиц остается практически неизменным во времени от 23,26 мкм до 23,55 мкм. Для образца Cu-150 характерно резкое уменьшение размеров частиц от 10,82 мкм до 9,25 мкм в течение 26 минут и дальнейшее постепенное увеличение до 9,97 мкм. У образца Cu-200 наблюдается увеличение среднеповерхностного диаметра от 8,61 мкм до 19,351 мкм.

В целом можно сделать вывод о том, что в 4,5-%ном растворе глюкозы среднеповерхностный диаметр частиц (агломератов) поддерживается практически постоянным и не зависит от дисперсности нанопорошка.

Список литературы:

1. First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials // Report of Presentations at Plenary and Workshop Sessions and Summary of Conclusions: UK, Derbyshire, 2004
2. Godymchuk A.Yu., Savel'ev G.G., Gorbatenko D.V. Dissolution of Copper Nanopowders in Inorganic Biological Media // Russian Journal of General Chemistry – 2010. – V.80. – No.5. – P.881-888.
3. Методические рекомендации «Оценка безопасности наноматериалов» // Приложение к приказу № 280 Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 12.10.2007г.
4. Машковский М.Д. Лекарственные средства. – М.: Мир, 1984. – Т.2. – 575 с.

Исследование разрушения бетона электрическим взрывом проводников**О.Б. Назаренко, В.С. Махова***Томский политехнический университет г. Томск, Россия*obnaz@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований по разрушению образцов бетона электрическим взрывом проводников из меди, никрома, марганца. Проведена оценка влияния диаметра и материала взрываемых проводников на эффективность разрушения бетона. Установлено, что степень разрушения бетона при взрыве проводников из высокоомных материалов выше, чем при взрыве медных проводников. Эффективность разрушения бетона в исследуемых режимах взрыва растет с уменьшением диаметра проводников.

Одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в области строительства является использование отходов предприятий по производству железобетона и демонтируемых строительных объектов в виде бетонного лома. Во многих случаях непригодные бетонные и железобетонные изделия длительное время хранятся на складах заводов-изготовителей, вывозятся на свалки, закапываются в землю, что загрязняет окружающую среду и лишает промышленность значительного объема дорогостоящего материала.

В России ежегодно образуется 15–17 млн. т строительного мусора, 60 % которого составляют кирпичные и железобетонные отходы. В настоящее время в отвалах скопилось такое количество вторичного сырья, утилизация которого позволила бы получить более 1,5 млн. тонн металла и 40 млн. тонн бетонного лома [1].

Перерабатываемость для вторичного использования у железобетона высокая. Арматурная сталь и закладные детали идут в переплавку, а отходы бетона практически полностью могут быть применены повторно в качестве заполнителя для обычных бетонов или как балласт в дорожно-транспортном строительстве [2]. Кроме строительства, дробленый бетон применяют при рекультивации земель для засыпки выработок в грунте.

В связи с большими объемами переработки строительных материалов не найдена пока высокоэффективная технология для этого процесса. Сегодня находят применение следующие технологии: механическая (разрушение строительных конструкций ударными методами, раскалыванием, резкой, дроблением) [1, 2], основанная на электрогидравлическом эффекте [3] и электроимпульсная [4, 5].

С конца 70-х г.г. XX в. в НИИ высоких напряжений ТПУ проводятся работы по созданию техники и технологии электроимпульсной утилизации некондиционного железобетона. Сущность способа основана на разрушающем действии импульсных электрических разрядов, инициированных непосредственно в толще бетона, между электродами либо между элементами арматуры, либо между внешним электродом и элементами арматуры [4, 5]. В канале пробоя выделяется электрическая энергия, запасенная в емкостном накопителе, канал пробоя расширяется подобно поршню и создает переменное во времени и пространстве поле механических напряжений.

Перспективным направлением в целях оптимизации процесса разрушения и повышения эффективности процесса представляется использование явления электрического взрыва проводников (ЭВП) [6]. Инициирование разряда взрываемым проводником по сравнению с высоковольтным пробоем при равных возможностях электрооборудования позволяет локализовать место пробоя вплоть до обеспечения в ряде случаев заданной геометрии разрядного канала, достичь больших пиковых воздействий, добиться увеличения КПД перехода электрической энергии в энергию взрыва, существенно снизить рабочее напряжение установок для разрушения с уровня 50 – 500 кВ до значений ~ 5 кВ, а соответственно и уровень изоляции.

Целью данной работы является экспериментальное исследование характера разрушения бетона при размещении проводника непосредственно в толще разрушаемого образца при варьировании диаметра взрываемых проводников и их материала.

Методика проведения экспериментов.

Основными элементами электрической установки для проведения исследований ЭВП в твердом теле являются: генератор импульсных токов (ГИТ), собранный на базе конденсаторов КМКИ 60-2 емкостью $C = 0,16$ мкФ; блок осциллографической регистрации разрядного тока и напряжения на взрывающемся проводнике (ВП); разрядная камера. Объект исследования – образцы бетона, приготовленные из бетона марки М200, размером $100 \times 100 \times 100$ мм, в которые при их изготовлении помещали ВП. В проведенных экспериментах использовали медные проволочки диаметром 0,1; 0,25 и 0,4 мм, а также никромовые и марганцовые проволочки диаметром 0,4 мм.

ЭВП осуществлялся при следующих параметрах: напряжение ГИТ $U = 61$ кВ, емкость $C = 0,96$ мкФ, индуктивность разрядной цепи $L = 3,8$ мкГн, запасаемая энергия $W = 1800$ Дж.

При взрыве проводника бетонный образец разрушался. Для оценки эффективности разрушения проводился ситовый анализ продуктов разрушения бетона на ситах с модулем $\sqrt{2}$, по результатам которого находились гранулометрические характеристики. По найденным гранулометрическим характеристикам определялась поверхность образовавшихся осколков бетона $S_{\text{вн}}$ и их средний диаметр $D_{\text{ср}}$. При нахождении $S_{\text{вн}}$ элементарный класс крупности определяли по формуле: $dS = 6dP/x\rho_0$, где dP – весовой выход элементарного класса крупности, x – средний размер класса крупности, ρ_0 – плотность бетона. Вычисление среднего размера кусков бетона проводили по формуле: $D = \Sigma dP/(\Sigma dP/x)$.

Влияние диаметра взрывающегося проводника на характер разрушения бетона.

Для исследования влияния диаметра взрывающегося проводника на характер разрушения бетона использовались медные проводники диаметром 0,1; 0,25 и 0,4 мм.

Определенные по результатам ситового анализа суммарные гранулометрические характеристики продуктов разрушения для различных диаметров проводников представлены на рис. 1. Здесь X , мм – средний размер класса крупности. Суммарные характеристики крупности образцов бетона показывают долю частиц, размер которых больше данного класса крупности.

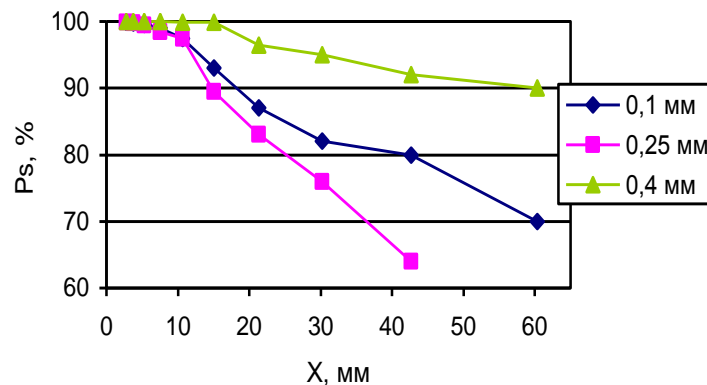


Рис. 1. Суммарные гранулометрические характеристики продуктов разрушения бетона при взрыве медных проводников разных диаметров

Для образцов с медными проводниками диаметром 0,1 и 0,25 мм характеристики имеют примерно одинаковый вид, с меньшей эффективностью разрушены кубики бетона с проводниками диаметром 0,4 мм. Это подтверждают и результаты расчета вновь образованной поверхности $S_{\text{вн}}$ и среднего размера осколков $D_{\text{ср}}$, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Площадь вновь образованной поверхности и средний размер кусков бетона при взрыве медных проводников разных диаметров

Материал проводника	Диаметр проводника, мм	$S_{\text{вн}}$, см ²	$D_{\text{ср}}$, см
медь	0,1	1217	3,3
	0,25	1044	3,4
	0,4	443	5,4

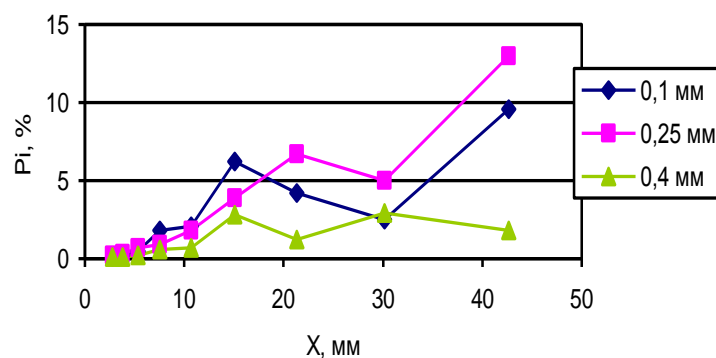


Рис. 2. Частные гранулометрические характеристики продуктов разрушения бетона при взрыве медных проводников разных диаметров

На рис. 2 представлены частные характеристики крупности образцов бетона, показывающие долю частиц, приходящихся на каждый класс крупности. На частной гранулометрической характеристике наблюдается локальный максимум в области фракций 10–25 мм. Этот максимум объясняется исходными размерами крупного заполнителя (10–25 мм) – щебня, использованного при

изготовлении модельных образцов. Крупный заполнитель является наиболее прочным компонентом в бетонных образцах и при взрыве он освобождается от скрепляющей песчано-цементной смеси. При разрушении бетона вероятность выхода фракций, соответствующих размерам исходных частиц заполнителя больше вероятности появления вновь образовавшихся частиц.

Влияние материала взрываемого проводника на характер разрушения бетона.

Для исследования влияния материала проводников на характер разрушения бетона использовались медные, нихромовые и манганиновые проводники диаметром 0,4 мм.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 2 и на рис. 3 и 4.

Табл. 2. Площадь вновь образованной поверхности и средний размер кусков бетона при взрыве проводников из разных материалов

Материал проводника	Диаметр проводника, мм	S , см ²	$D_{ср}$, см
медь	0,4	443	5,4
нихром		707	4,0
манганин		828	4,1

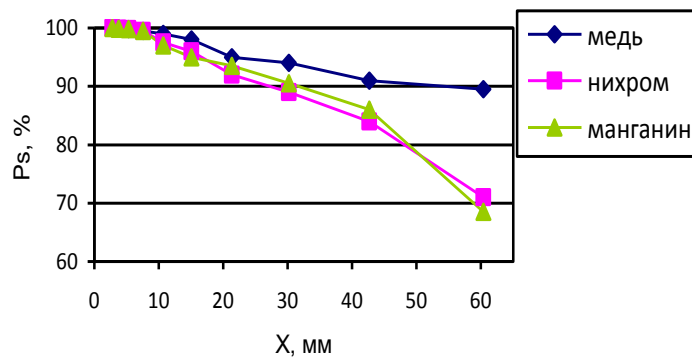


Рис. 3. Суммарные гранулометрические характеристики продуктов разрушения бетона при взрыве проводников из разных материалов

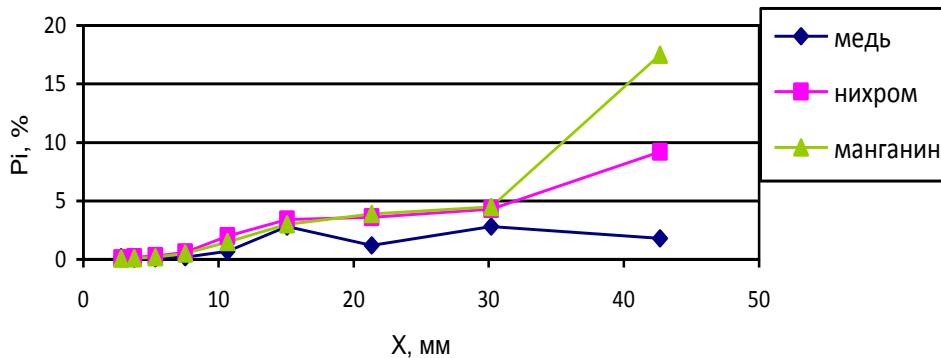


Рис. 4. Частные гранулометрические характеристики продуктов разрушения бетона при взрыве проводников из разных материалов

Как видно из рис. 3 и 4, степень разрушения бетона зависит от материала взрываемого проводника. Для образцов с нихромовым и манганиновым проводниками характеристики имеют примерно одинаковый вид, с меньшей эффективностью разрушены кубики бетона с медным проводником диаметром 0,4 мм. Это подтверждают и результаты расчета вновь образованной поверхности S и среднего размера осколков D , приведенные в таблице.

Выводы.

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований характера разрушения бетона при электровзрыве медных, нихромовых и манганиновых проводников, размещенных в толще модельных образцов бетона. Показано, что степень разрушения бетона, оцененная по гранулометрическим характеристикам продуктов разрушения, зависит от диаметра проводников. В исследуемых режимах взрыва эффективность разрушения бетона растет с уменьшением диаметра проводников. Установлено, что степень разрушения бетона при взрыве проводников из высокоомных материалов (нихром, манганин) выше, чем при взрыве медных проводников.

Список литературы:

1. Арсентьев В.А., Мармандян В.З., Добромислов Д.Д. Современные технологические линии для строительного рециклинга // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 64–66.
2. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М.: Стройиздат, 1988. – 95 с.
3. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 253 с.
4. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995. – 276 с.
5. Усов А.Ф., Семкин Б.В., Зиновьев Н.Т. Переходные процессы в установках электроимпульсной технологии. – Л.: Наука, 1987. – 189 с.
6. Назаренко О.Б., Танбаев Ж.Г., Шардин Р.В. Анализ эффективности разрушения бетона при электрическом взрыве проводников // Физика импульсных воздействий на конденсированные среды: Тез. докл. VI науч. школы. – Николаев, 1993.

УДК 628.16.081.312:546.72

Исследование очистки скважинной воды от ионов кальция и железа на природном цеолите

Р.Ф. Зарубина, О.Б. Назаренко

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

obnaz@mail.ru

Исследованы физико-химические свойства природного цеолита Сахаптинского месторождения Красноярского края и возможность его использования для обработки скважинной воды в динамических условиях. Эффективность очистки от железа составила 96 %, кальция – 100 %.

Одна из главных экологических проблем, с которой человечество сталкивается каждый день – это проблема качественной питьевой воды. Для обеспечения населения Томской области питьевой водой используются, в основном, подземные воды. Исследование химического состава скважинных вод показало, что для г. Томска и Томской района характерна вода, в которой примеси находятся в гидрокарбонатной форме, с высоким природным содержанием железа до 30 ПДК, марганца до 4 ПДК, аммиака до 2 ПДК, кремния до 1,8 ПДК [1]. Железо в подземной воде содержится в виде двухвалентного иона Fe^{2+} . Использование воды такого состава требует специальной водоподготовки, включающей аэрацию для перевода Fe^{2+} в трехвалентное железо Fe^{3+} , отстаивание и фильтрование.

Решением проблемы удаления железа из воды и ее умягчения могли бы стать цеолитовые фильтры. При очистке воды от железа на цеолитах конкурирующее влияние на процесс могут оказывать соли жесткости, в частности, ионы Ca^{2+} . Целью данной работы является изучение возможности использования природного цеолита Сахаптинского месторождения Красноярского края как сорбента для обработки скважинной воды в динамических условиях.

Природные цеолиты являются широко распространенным и дешевым минеральным сырьем, обладают уникальным спектром физико-химических, адсорбционных и ионообменных свойств, благодаря чему они находят широкое применение в практике очистки сточных вод [2–4]. Цеолиты – каркасные алюмосиликаты, в структуре которых имеются полости, занятые большими катионами и молекулами воды, способными свободно удаляться и поглощаться структурой, благодаря чему происходит ионный обмен. Структурная формула цеолита может быть представлена следующим образом: $M_{m/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot zH_2O$, где $x+y$ – сумма тетраэдров в элементарной ячейке, m – число катионов M (калия, натрия, кальция, магния), n – валентность катиона.

Материалы и методики экспериментов.

Для исследований свойств сахаптинского цеолита проведены следующие методы анализа: рентгенофазовый анализ (РФА) на дифрактометре ДРОН-3.0, термический анализ с помощью термоанализатора SDT-600, инфракрасная (ИК) спектроскопия (спектрометр Nicolet 5700), электронно-микроскопический анализ (электронный микроскоп JSM-7500FA), химический анализ. Анализы выполнены в Научно-аналитическом центре ТПУ, Наноцентре ТПУ и УНПЦ «Вода» ТПУ.

Для анализа сорбционных свойств образец цеолита был измельчен в щековой дробилке и разделен на фракции с помощью механического сита. В экспериментах по очистке воды использована фракция размером 1,0–2,0 мм. Объем цеолита, помещенный в стеклянную колонку, составил 70 мл. Перед экспериментом по очистке была проведена предварительная активация цеолита раствором хлористого натрия. Затем обработанный образец цеолита был промыт дистиллированной водой и высушен при комнатной температуре. Скорость фильтрации природной воды составляла 7,5 мл/мин. Для анализа на спектрофотометре КФК-2 осуществлялся отбор каждые 100 мл фильтрата.

Эксперименты по очистке проводили с использованием скважинной воды Кожевниковского района Томской области, которая характеризуется как гидрокарбонатная кальциевая, слабощелочная,

умеренно-жесткая с минерализацией 444 мг/л. Химический состав природной воды, определенный титриметрическим методом, методами потенциометрии и фотоколориметрии приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав скважинной воды

Компонент	pH	CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ОЖ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe _{общ}	М
С, мг/л	7,7	48,4	335,5	< 2	3,8		87	10,2	6	1,12	0,3	443,6
С, мг-экв/л			5,5		0,107	5,2	4,35	0,85	0,188	0,03		

Результаты и обсуждение.

Согласно данным электронно-микроскопического исследования частицы цеолита имеют брусковидную и пластинчатую форму с размерами 2–15 мкм и формируют сложные агломераты (рис. 1).

Согласно данным РФА исследуемый образец содержит в своем составе 45–50 % клиноптилолита, гейландит, а также примесные породы – кварц, монтмориллонит, полевой шпат и кристобалит. Клиноптилолит является одной из модификаций природных цеолитов, относящихся к группе гейландита. Это термически устойчивый цеолит, который характеризуется высоким отношением Si/Al (4,4) и высокой селективностью к ионам аммония. Термическая устойчивость цеолита была исследована с помощью термогравиметрического анализа. Потеря веса при нагревании образца природного цеолита до 1000 °С составила 9,22 %, причем максимальная потеря адсорбированной воды ~6 % наблюдалась в температурном диапазоне от 80 до 300 °С (рис. 2).

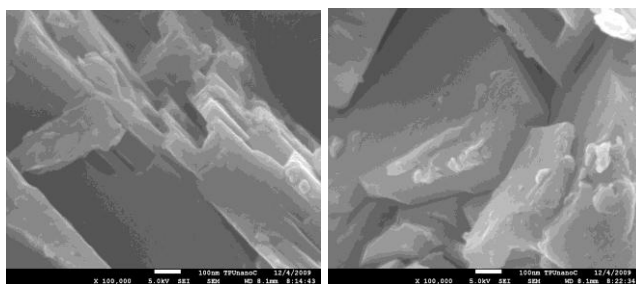


Рис. 1. Микрофотографии сахалинского цеолита

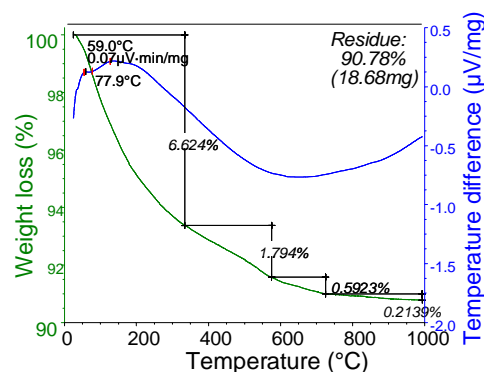


Рис. 2. Термограмма образца цеолита

Наличие характерных для фазы клиноптилолита [5] структурных групп в образце сахалинского цеолита установлено методом инфракрасной спектроскопии (рис. 3).

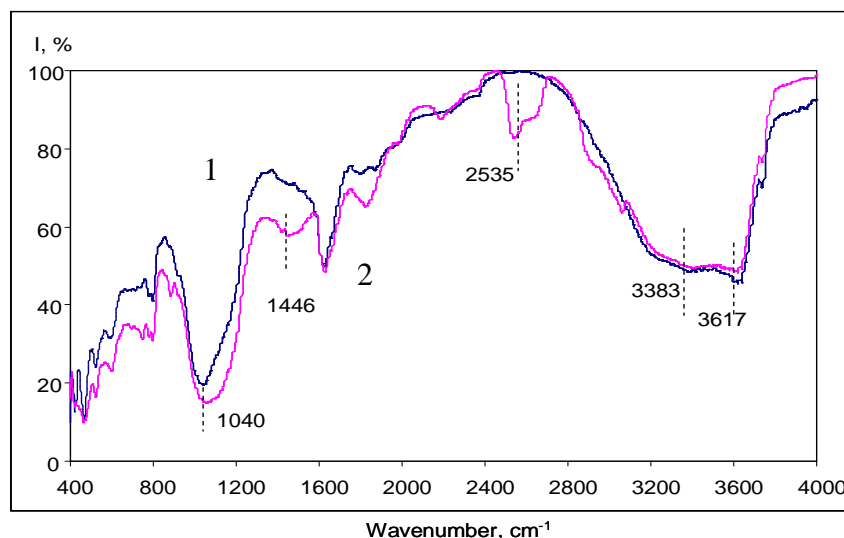


Рис. 3. ИК-спектры исходного цеолита (1) и образца после фильтрации природной воды (2)

Наиболее интенсивный пик наблюдается для полосы поглощения 1040 см⁻¹, отвечающей колебанию связи Si–O–Si. Пики поглощения 800,5 и 780,5 см⁻¹ связаны с валентными колебаниями связи Al–O, а 473,2 см⁻¹ – с деформационными колебаниями Al–O₄. С наличием цеолитной воды связаны следующие полосы поглощения в диапазоне 3253–3734 см⁻¹, 1612,4 см⁻¹ – полоса деформационных

колебаний молекул воды. На ИК-спектре образца после фильтрации через него природной воды наблюдаются дополнительные полосы поглощения 1446, 1822, 2535 см^{-1} , которые связаны с присутствием карбоната кальция.

Результаты экспериментов по очистке скважинной воды Кожевниковского района Томской области с помощью сахаптинского цеолита представлены на рис. 4. В соответствии с полученными результатами эффективность удаления $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в условиях проведенных экспериментов составила 96 % после фильтрации через колонку 700 мл воды, а эффективность удаления Ca^{2+} – 100 % при прохождении 200–500 мл воды.

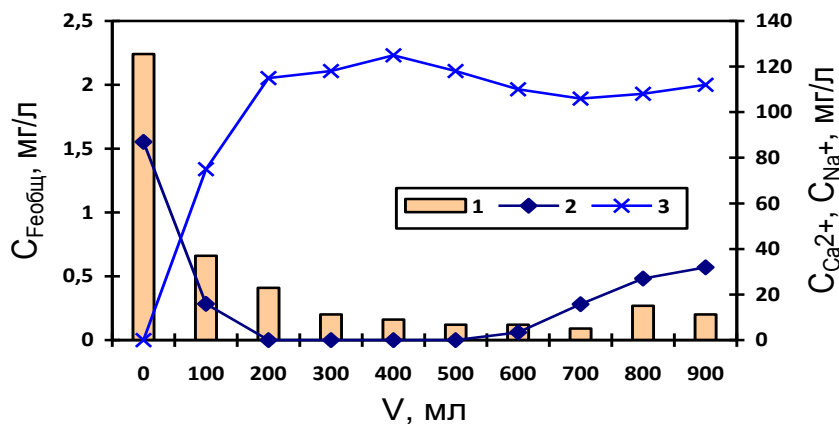


Рис. 4. Зависимость концентрации $\text{Fe}_{\text{общ}}$ (1), Ca^{2+} (2) и Na^{+} (3) в фильтрате от объема отфильтрованной воды

На рис. 4 также показана зависимость изменения концентрации ионов натрия в воде при фильтрации через цеолит. Основной обменный ион при очистке воды на цеолите – это ион натрия. Предварительная обработка цеолита раствором хлористого натрия перед проведением экспериментов способствовала насыщению цеолита обменными ионами натрия. Это простой и недорогой способ подготовки цеолита к очистке воды и его регенерации, в результате которого эффективность удаления из воды загрязнителей существенно возрастает.

Ранее в работе [6] была показана высокая эффективность использования природного цеолита для удаления из модельных растворов ионов аммония.

Выводы.

В данной работе представлена характеристика физико-химических свойств природного цеолита Сахаптинского месторождения Красноярского края, исследована эффективность очистки природной воды от ионов кальция и железа. Эффективность удаления из воды ионов железа в условиях проводимых экспериментов составила 96 %, кальция – 100 %. Концентрации исследованных примесей в воде после фильтрации не превышали предельно допустимых значений. Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод об эффективности применения сахаптинского цеолита для обработки скважинной воды, предназначенной для питьевых и технических целей.

Список литературы:

1. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2008 году / Гл. ред. А.М. Адам; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГУ «Облкомприрода» Администрации Том. обл. – Томск: Издательство «Оптимум», 2009. – 144 с.
2. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды.– Киев: Наукова думка, 1981.–207 с.
3. Челищев Н.Ф., Володин В.Ф., Крюков В.Л. Ионообменные свойства природных высококремнистых цеолитов. – М.: Наука, 1988. – 128 с.
4. Wang S., Peng Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment // Chemical Engineering J. – 2010. – Т. 156. – С. 11–24.
5. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
6. Дуданова П.А., Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф. Исследование физико-химических характеристик сахаптинского цеолита // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов 14-ой всероссийской научно-технической конференции. – Томск: ТПУ, 2008. – С. 176–178.

**Проблемы использования цеолитов для снижения вредных выбросов
при сжигании твердого топлива**

В.В. Пинигин, Ю.В. Дорфман*

Читинский государственный университет, г. Чита, Россия

**ОАО «Территориальная генерирующая компания № 14»*

vaso-88@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы возможного использования цеолитов в качестве сорбента вредных газообразных выбросов при сжигании твердого топлива. Сделаны выводы о перспективности применения природных цеолитов для газоочистки на ТЭС.

На сегодняшний день все более острой становится проблема, связанная с распределением и потреблением в современных масштабах энергетических ресурсов. С каждым днем их потребление кратно увеличивается. В условиях развития энергетики для Забайкалья актуальным является более глубокое использование энергоресурсов, представленных в виде твердого топлива (каменные и бурые угли).

Широкое использование в перспективе твердого топлива обусловлено рядом факторов:

- Забайкальский край владеет большими запасами и имеет высокую разведанность угольной базы;
- На сегодняшний день энергетикой края потребляется большое количество твердого ископаемого топлива.

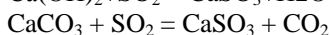
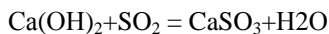
Однако масштабы более глубокого использования каменных и бурых углей ограничиваются экологической стороной данного вопроса. При сжигании углей в промышленных энергоустановках образуются химические соединения, содержащие азот и серу, оксиды которых, попадая в атмосферу, загрязняют ее.

Решение данной проблемы может быть достигнуто применением методов очистки продуктов сгорания известными способами. Наиболее перспективной из них является очистка дымовых газов энергетических предприятий от вредных выбросов путем адсорбирования – известкование и использование в качестве адсорбента азот- и серосодержащих выбросов природных и синтетических цеолитов.

Первый нециклический процесс был разработан и является самым распространённым на электростанциях США, Японии, ФРГ и др. Он обеспечивает очистку газов на 90% от SO₂.

В нашей стране известняковый способ реализован на агломерационной фабрике Магнитогорского металлургического комбината, опытно-промышленных установках Северодонецкой и Губкинской ТЭЦ.

Метод основан на нейтрализации сернистой кислоты, получающейся в результате растворения диоксида серы наиболее дешёвыми щелочными реагентами - гидратом оксида кальция (известью) или карбонатом кальция (известняком):



В результате этих реакций сульфит кальция, частично окисляется в сульфат CaSO₄.

В большинстве установок, построенных в 60-е и 70-е годы, серопродукты нейтрализации не использовались и направлялись в отвал. В последние годы этот способ усовершенствован: сульфит доокисляется до сульфата кальция и используется после соответствующей термической обработки в качестве строительного материала (гипса).

Принцип действия схемы одного из вариантов известнякового метода очистки состоит в следующем. Дымовые газы после воздухоподогревателя поступают в золоуловитель. Затем газы дымососом направляются в скруббер для очистки от диоксида серы. Скруббер орошается водой, содержащей мелкоизмельченный известняк и продукты нейтрализации. Очищенные газы освобождаются от брызг раствора в брызгоуловителе, подогреваются в теплообменнике и выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. К вытекающей из скруббера закисленной жидкости добавляется свежая суспензия для нейтрализации кислоты.

После того жидкость, пересыщенная сульфитом кальция, выдерживается в течение некоторого времени в ёмкости, с целью завершения процесса кристаллизации сульфита кальция, и насосом направляется на орошение скруббера.

С течением времени в орошающей жидкости накапливаются кристаллы сульфита кальция и остатки летучей золы. Когда концентрация твёрдых частиц достигает примерно 10-15% массы жидкости, часть суспензии выводится из цикла на золоотвал или для получения товарного продукта. Приготовление суспензии известняка проводится путём его дробления и размола.

Мокрый известняковый (известковый) метод очистки дымовых газов имеет ряд существенных недостатков перед очисткой газов с помощью природных и синтетических цеолитов:

- необходима специализированная установка для приготовления известняковой суспензии;
- данный метод очистки не реализует принципа аддитивности, т.е. направлен только на удаление из уходящих газов диоксида серы;
- в условиях Забайкалья требуется завоз дополнительных объемов промышленного (определенной чистоты) известняка;
- при осуществлении данного способа очистки температура уходящих газов понижается с 130 до 50 °С.
- подогрев охлаждаемых в процессе очистки дымовых газов обычно осуществляется газообразным топливом или теплотой неочищенных газов. Количество затрачиваемого топлива составляет около 3% топлива, расходуемого на котёл. Подогрев газов осуществляется для обеспечения рассеивания после выхода их из дымовой трубы.

Цеолиты в отличие от известняка способны поглощать целый ряд газовых компонентов: двуокись серы, оксиды азота, сероводород, сероуглерод, аммиак и др.

Общим достоинством цеолитов перед другими адсорбентами является их низкая стоимость и достаточная распространенность в Забайкальском крае как породообразующих минералов вслед за минералами кремнезёма, полевыми шпатами и глинами.

Наиболее распространенными являются [1]: клиноптилолит, морденит и филлипсит.

Природные цеолиты являются водными алюмосиликатами преимущественно кальция и натрия, реже бария, стронция и калия, имеющими каркасную структуру (рис. 1), содержащей полости. Полости заняты ионами и молекулами, подвижность которых обеспечивает возможность ионного обмена и обратимой дегидратации. Каркасная структура построена из соединений вершин тетраэдров, центры которых в природных цеолитах заняты преимущественно атомами *Al* и *Si*, а вершины – атомами кислорода. В полостях природных цеолитов обменными являются одно- и двухзарядные катионы Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} и Ba^{2+} , содержание которых зависит от вида цеолита.

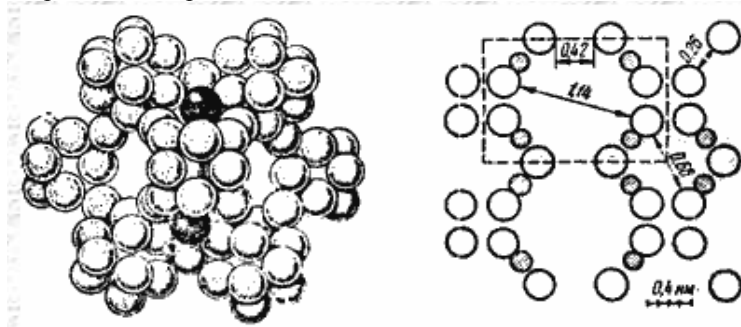


Рис. 1. Каркасная структура цеолитов

Различия в химическом составе обуславливают термические, ионообменные и адсорбционные свойства природных цеолитов.

Адсорбционные свойства цеолитов определяются эффективным диаметром входных окон и внутрикристаллическим объёмом, занятыми молекулами воды. По величине эффективного диаметра входных окон выделяют три класса цеолитов:

- широкопористые – фожазит;
- среднепористые – шабазит, эрионит, клиноптилолит, морденит;
- узкопористые – филлипсит, натролит.

При медленном нагревании цеолита до 140–390 К молекулы воды вытесняются и оставляют после себя пустоту в правильно расположенной структуре цеолита, которая остается без изменений. Эти пустоты имеют одинаковый размер, что является уникальной особенностью цеолитов. Пустоты образуют объем свободного внутрикристаллического пространства, который определяет число молекул, адсорбирующихся дегидратированным цеолитом. Следует отметить, что в адсорбционном пространстве цеолитов также располагаются различные катионы, компенсирующие избыточные отрицательные заряды алюмосиликатных скелетов. Катионы играют роль активных центров, усиливающих электростатические взаимодействия, в особенности при адсорбции камерных молекул.

Кристаллическая решетка цеолитов состоит из кремний-алюмо-кислородных кубооктаэдров, связанных в простой кубической координации (цеолиты тип А) или в более рыхлой тетраэдральной координации, типа фожазита (цеолиты тип Х). Диаметр пор в молекулярных ситах определяется размером атома катиона. Сама структура - микропористая и размер пор близок к размерам малых молекул. Поэтому цеолиты пригодны для разделения газов и самых легких углеводородов. Максимальная рабочая температура: 500-6000С. Активацию цеолитов (удаление гидратационной воды) осуществляют нагреванием в течении 4-5 часов при температуре 350-4500С.

Насыпная плотность гранулированных цеолитов 0,62-0,78 г/см³, предел прочности при сжатии 8-150 МПа, удельная теплоемкость 0,83-1,0 кДж/(кг*К), теплопроводность 0,5 кДж/(м*ч*К), динамическая влагоемкость 90-160 мг/см³.

Забайкалье имеет огромные запасы природных цеолитов, высоко-конкурентных синтетическим цеолитам, производство которых отличается более высокой ценой. Основную массу запасов в Забайкальском крае занимает цеолитсодержащий туф Шивыргуйского месторождения, содержание чистого цеолита в котором (в основном это клиноптилолит), достигает около 80% по массе. Особенностью клиноптилолита является то, что он имеет высокую стабильность к дегидратации, в силу своей изоструктурности, после которой способен к адсорбированию углекислого газа, влаги и других соединений.

Традиционными способами сжигания твердого топлива являются: слоевое сжигание (в кипящем и циркулирующем кипящем слое), а также факельный способ. Последний способ рассмотрим более подробно.

Итак, факельное сжигание является основным пылевидным методом сжигания топлива в камерных топках. Наибольшее распространение данный способ нашел в парогенераторах производительностью [2] выше 4-10 кг/с (15-35 т/ч), работающих на антраците, каменных и бурых углях, сланцах и фрезерном топливе. При этом горение угольной пыли происходит во взвешенном состоянии в газо-воздушных потоках после предварительной подсушки и размола в сильно измельченном виде при движении их через топочную камеру. Протекание процесса горения ограничивается топочным пространством и чрезвычайно коротким временем пребывания частиц в топке, составляющим 1-2 с. В качестве технологии применения природных цеолитов для уменьшения вредных выбросов, содержащихся в дымовых газах ТЭС, наиболее предпочтительной является аддитивная технология. Данная технология апробировалась научно-исследовательским сектором кафедры тепловых электрических станций Читинского государственного университета на котлах, реализующих факельное сжигание, установленных на Шерловогорской ТЭЦ (котлы БКЗ-50-39Ф и ЧКД-Дукла М). при проведении испытаний котлов топливом служил бурый уголь Харанорского месторождения.

Основной задачей данной работы являлась отработка технологии, реализующей аддитивный способ. В рамках поставленной задачи планировалось решение следующих вопросов:

- исследование аддитивной технологии при различных величинах добавки природного цеолита к топливу;

- исследование экономичности и надежности работы котлов при предлагаемой технологии.

В результате экспериментальных исследований было установлено следующее:

1. Добавление цеолита к топливу приводит к уменьшению содержания оксидов азота с 673 – 692 мг/м³ до 457 – 489 мг/м³.

2. Изменение выбросов двуокиси серы практически не наблюдается. По всей видимости, это объясняется малым содержанием серы в угле, используемом при исследовании.

3. Экономически оптимальная концентрация цеолита в топливе не должна превышать 20%. Снижение КПД брутто котла при этом не превышает 1,7%.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- цеолиты Шивыргуйского месторождения Забайкальского края обладают хорошими адсорбирующими свойствами в условиях сжигания твердого топлива;

- наиболее оправданной является технология, использующая аддитивный способ применения цеолитов;

- при сжигании твердого топлива исследуемыми способами наблюдается положительный эффект от предлагаемой технологии газоочистки;

В дальнейшем наряду с апробацией технологии по очистке дымовых газов от вредных составляющих с помощью природных цеолитов планируется рассмотреть их влияние на надежность и безотказность работы котельного оборудования ТЭС.

УДК 628.16

Комплексное решение задач водоподготовки в технологиях приготовления напитков

Я.Н. Богданова, О.Б. Назаренко

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

bjn88@sibmail.com

Рассмотрены требования, предъявляемые к качеству технологической воды, используемой в пищевой промышленности для приготовления напитков. Проведен анализ методов водоподготовки. Предложена технологическая цепь подготовки воды, с помощью которой решается комплекс задач по очистке и кондиционированию воды с применением оригинальных технологий и высококачественных материалов и оборудования.

Требования к воде, используемой в различных отраслях промышленности и в конкретных производствах, существенно различаются. Они отражены в соответствующих СанПиНах, ГОСТах, технических условиях (ТУ), технологических инструкциях (ТИ) и других нормативных документах [1–3]. Основными показателями, определяющими пригодность воды в каждом конкретном случае, является степень минерализации, состав и концентрация содержащихся в ней примесей, физические свойства. Исходя из этого, требования, предъявляемые к воде, определяются её целевым назначением [4].

Для ряда пищевых производств вода является основным сырьем: доля воды при производстве соков составляет до 90 %, безалкогольных напитков – более 95 %, пива – 90 %, водки – 60 %, для розлива питьевой воды – 100 %. Неукоснительное соблюдение требований к составу технологической воды является определяющим фактором при производстве высококачественных пищевых продуктов. В особенности это касается производства безалкогольных напитков, пива, ликероводочных и слабоалкогольных напитков. При этом требования к составу технологической воды в этой области промышленности постоянно ужесточаются как вследствие эволюции соответствующих нормативных документов, так и благодаря конкурентной борьбе производителей за качество выпускаемых продуктов. Достичь требуемых показателей качества воды возможно только за счет применения современных технологий водоподготовки и использования соответствующего оборудования.

Следует отметить, что никакой особой технологии водоподготовки для производства напитков не существует, все применяемые технологические операции свойственны для любых других целей водоподготовки; аналогичны и аппаратурно-технологические решения. В пищевой промышленности, как правило, требуется вода по солесодержанию близкая к водопроводной, но с ограничением по содержанию взвесей, железа, марганца, солей жесткости, и часто по биозагрязнениям. Наиболее распространено использование умягченной воды для производства соков, водки, пива и т.п. продуктов, а также для мытья бутылок. Ряд производств потребляет обессоленную воду с солесодержанием десятки мг/л для производства высокостабильной продукции.

Основное отличие и обязательное требование к водоподготовке напитков – использование оборудования, материалов и реагентов, сертифицированных для применения в пищевой промышленности. Единственное специфическое требование, предъявляемое к воде для производства напитков – это её вкусовые характеристики. Вода, имеющая разный химический состав в пределах, заданных соответствующей ТИ 10-04-03-09-88 [2], имеет различный вкус. Корректируя состав, можно добиться определенного вкуса воды и приготовленных из неё напитков. Также необходимо учитывать влияние состава на производственный процесс.

В процессах подготовки воды очень важна последовательность процедур. При комплексном подходе к решению задач водоподготовки в технологиях приготовления напитков последовательность методов водоподготовки имеет большое влияние на эффективность водоочистки. Очень важно правильно подобрать составляющие части технологической цепочки так чтобы одна ступень подготовки воды повышала эффективность другой. Таким образом, каждая процедура подготавливает воду для дальнейшей, более эффективной очистки.

Состав исходной воды и требования заказчика – основные критерии при создании аппаратурно-технологической схемы установки водоподготовки. Требования, предъявляемые заказчиком, могут существенно различаться, находясь в пределах ТИ.

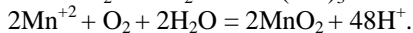
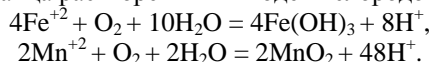
Наличие в воде механических загрязнений требует установки фильтра механической очистки, либо фильтра грубой очистки, также возможно применение отстойника. Таким образом проходит первичная подготовка воды.

Для удаления железа и марганца используют специальные фильтрующие загрузки, предварительно необходимо перевести железо в трехвалентное и марганец – в четырехвалентное состояние. Для этого в раствор вводят окислитель – кислород воздуха, перманганат калия, хлор. При незначительном содержании железа (до 5 мг/л) достаточно пропустить воду через каталитическую загрузку типа Birm (Greensand, MTM, AMDX, MZ-10). При большем содержании железа (до 10 мг/л) в воду необходимо ввести кислород воздуха с помощью эжектора, компрессора или объемной аэрации [3].

Применение эжектора приводит к значительным потерям давления в подающем трубопроводе (более 1 кг/см²), в связи с чем его использование предпочтительно в тех случаях, когда в подающем трубопроводе имеется высокий избыточный напор. При использовании компрессора предусматривается соблюдение нескольких условий: технологические параметры компрессора должны соответствовать требуемым по производительности и давлению; количество сжатого воздуха, подаваемого компрессором, должно превышать максимальную расчетную величину; не допускается контакт сжатого воздуха с маслом и другими посторонними примесями; необходимо оборудовать электродвигатель компрессора дополнительной системой охлаждения; механическая часть компрессора должна иметь высокий ресурс работы; необходимо обеспечить автоматическое включение и отключение компрессора в зависимости от минимально допустимого расхода воды в подающем трубопроводе.

В качестве аэрационной колонны можно использовать напорный фильтр, оборудованный автоматическим воздухоотделительным клапаном в верхней точке, имеющим двойную функцию: автоматическое удаление избытка воздуха и выпуск воздуха в аэрационную колонну при образовании внутри корпуса разрежения. Аэрационная колонна рассчитывается на время пребывания в ней воды от 3 до 5 мин.

Окисление железа и марганца растворенным в воде кислородом воздуха протекает по реакциям:



Скорости реакция малы, поскольку процессы окисления и формирования хлопьев достаточно длительные.

Концентрация растворенного в воде кислорода, необходимая для эффективного удаления примесей легко определяется по стехиометрии приведенных выше реакций. Из расчета следует, что на 1 мг растворенного железа расходуется 0,14 мг кислорода, то есть чуть менее 15 %. На один миллиграмм растворенного марганца необходимо 0,29 мг, или примерно 30 % кислорода. Таким образом, необходимую концентрацию растворенного кислорода C_k (мг/л) можно определить по следующей формуле [5]:

$$C_k = 0,15C_{\text{Fe}} + 0,3C_{\text{Mn}}.$$

Часть воздуха растворяется и расходуется на окисление железа и магния, а большая часть удаляется, унося с собой растворенные газы, например сероводород. После аэрационной колонны фильтрация воды, содержащей взвесь гидроокиси железа, может производиться на любой гранулированной загрузке, имеющей необходимые гидравлические характеристики. К фильтрующим средам предъявляются требования не только высокой каталитической активности, но и большой грязеемкости, малого гидравлического сопротивления, а также минимального расхода воды при регенерации.

В соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02-84, для обезжелезивания исходной воды используются осветлительные фильтры с зернистой загрузкой из кварцевого песка или дробленого антрацита. Рекомендуемая высота слоя загрузки при размере фракций 0,8–1,8 мм должна составлять 1000 мм, при 1–2 мм – 1200 мм. Промывка загрузки из кварцевого песка осуществляется водой или смесью воды с воздухом, а загрузки из дробленого антрацита – только водой. Интенсивность промывки водой для кварцевого песка принимается в пределах 15–25 л/(с·м²), для дробленого антрацита – 10–15 л/(с·м²).

Применение кварцевого песка в качестве загрузки фильтров обезжелезивания приводит к повышенному расходу воды на промывку и образованию значительных объемов сточных вод. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость использования высокопроизводительных и высоконапорных промывных насосов и, в некоторых случаях, больших емкостей для хранения промывных вод. Переход на водо-воздушную промывку позволяет лишь незначительно уменьшить объем промывных вод.

Существенно сократить объемы промывных вод (в 1,6 раза) позволяет использование в качестве загрузки дробленого антрацита. В последние годы на российском рынке появилась новая модификация антрацита – гидроантрацит, обладающий лучшими фильтрующими свойствами по сравнению с дробленным антрацитом.

Применение гидроантрацитов позволяет достичь еще большего сокращения объема промывных вод (в 2,2 раза) при отдельной промывке загрузки водой и воздухом, причем воздух и вода не подаются совместно в корпус фильтра. Воздух подается отдельно в поддренированный фильтр, что снижает риск выноса фильтрующего материала из фильтра и закупоривания верхнего распределительного устройства. Режим взрыхляющей промывки фильтра, загруженного гидроантрацитом, включает: сброс «водяной подушки» до уровня, превышающего на 50–100 мм уровень материала загрузки в фильтре (поддренирование уровня воды); подачу воздуха с интенсивностью 15–20 л/(с·м²) в течение 5 мин; подачу воды с интенсивностью 7–10 л/(с·м²) в течение 10–15 мин; сброс первого фильтра в дренаж в течение 5 мин.

В настоящее время наиболее перспективны принципиально новые продукты – каталитические фильтрующие материалы, такие как алюмосиликаты, доломит, природные и искусственные цеолиты, представляющие собой относительно легкую матрицу, которая либо покрыта пленкой оксидов марганца или железа, либо указанные оксиды введены в ее структуру.

Органические загрязнения могут быть удалены сорбцией на активном угле или окислены. Угольный фильтр может быть установлен после механического или каталитического. Уголь требует периодической замены. Поэтому фильтры должны быть снабжены специальными штуцерами для загрузки и выгрузки угля.

Чтобы свести щелочность к минимуму, а также уменьшить солесодержание воды применяется H-Na-катионирование, или очистка на слабокислотном катионите. В тех случаях, когда солесодержание

велико (более 500 мг/л), используется обессоливание воды. В настоящее время для этого применяются метод и установки обратного осмоса и значительно реже – ионного обмена.

Вода, подаваемая на установку обратного осмоса, требует предварительной подготовки. Необходимо удалить взвеси, активный хлор, железо и, желательны, соли жесткости. При использовании хлорированной водопроводной воды во всех рассмотренных схемах необходимо провести её дехлорирование до установки обратного осмоса или после ионообменного фильтра. Дехлорирование воды осуществляется при пропуске воды через активированный уголь в отдельном аппарате, либо совмещается с другими операциями (механической фильтрацией, удалением органики) [6].

С использованием предложенной технологической цепочки решается комплекс задач по очистке и кондиционированию воды. При этом существенно снижаются капитальные и эксплуатационные затраты на водоподготовку по сравнению со стандартными решениями.

Список литературы:

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
2. Требования к качеству воды для производства алкогольной и безалкогольной продукции: ТИ-10-04-03-09-88 и ТИ-10-5031536-73-10.
3. СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
4. Шиян Л.Н. Свойства и химия воды. Водоподготовка. – Томск: Издательство ТПУ, 2004. – 72 с.
5. Рябчиков Б.Е. Современные методы обезжелезивания и деманганации природной воды // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – Т. 38, № 6. – С. 5–10.
6. Рябчиков Б.Е. Водоподготовка в производстве ликероводочных изделий, группа компаний «Национальные водные ресурсы» // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2001. – № 2. – С. 30–32.

Процессы водородного раномдифицирования в золь-гель технологии оксидных материалов

Ю.В. Бородин

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Керамические композиционные материалы в настоящее время находят все большее распространение в промышленности. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционной керамикой на основе Al_2O_3 и прежде всего нанопластичностью, дающей возможность создания конструктивных изделий. За счет нанопластичности снижается температура протекания процессов релаксации деформаций.

Особый интерес представляют нанокomпозиционная керамика, в качестве матрицы в которых используются материалы с высокой подвижностью нанополимеров, обеспечивающих нанопластичность при достаточно низких температурах. В литературных источниках приводятся составы и размеры нанокерамических включений из SiC [1] и TiC [2]. Установлена также возможность прогнозирования нанопластичности полученных золь-гель методом оксидных и неоксидных соединений [3].

Цель исследований - получение золь-гель методом Al_2O_3 с повышенной нанопластичностью при умеренных (близких к комнатным) температурах. Для этого необходимо сформировать нанокomпозиционную структуру Al_2O_3 на основе нанополимеров, состоящих из водородсодержащих (ВСНП), обеспечивающих смещения, повороты и релаксацию деформаций.

Рентгеноструктурные исследования кристаллического $\alpha-Al_2O_3$ и полученного золь-гель методом проводились на дифрактометре ДРОН-3М в $Cu-K\alpha$ излучении. Анализировалось распределение интенсивности дифрагированного пучка в области сильного рефлекса (111) $\alpha-Al_2O_3$. Из экспериментально полученных значений межплоскостного расстояния наиболее плотноупакованной плоскости с максимальной интенсивностью линии (d_{max}) размер ребра ВСНП определялся по формуле:

$$d_{ВСНП} = d_{max} N^{1/2} \tau^{1/6} K^{-1/3},$$

где d - межплоскостное расстояние наиболее интенсивной линии, $N = H^2 + K^2 + L^2$ - сумма квадратов индексов этой плоскости.

Золь-гель синтез Al_2O_3 проводился в режиме, не допускающем высаживания гидратных осадков. Это обеспечивалось структурированием золь-гель растворов и контролем размеров нанополимеров на основе ВСНП октаэдрической формы с размером ребра $a_{cs} = 0,613$ нм при переходе гель- твердое.

При растворении Al (i- OC_3H_7)₃ в спиртово-водном растворе i- C_3H_7OH , содержащем эквимолярное количество H_2O с $pH=7,5$ наблюдается образование одноядерных сольватированных комплексов. Происходит гидратация по катиону с сопутствующим гидролизом органических OR лигандов и отщепление молекул HOR. Обеспечивается формирование устойчивых растворов с дальнейшей поликонденсацией одноядерных комплексов и образованием полимерных цепей. При наборе

критической массы продуктов гидролиза линейных цепей происходит их конденсация в полимерные гексагональные кольца.

Золь-гель переход связан с усилением взаимодействия мостиковых и немостиковых ОН групп в координационной сфере Al. Термодинамически выгодными становятся взаимодействия, приводящие к образованию структур с тремя связями у мостикового кислорода и шестью у Al. Золь-гель стадия завершается формированием устойчивой периодической коллоидной структуры, образованной ассоциированными в блоки разных размеров ВСНП. При заданных параметрах такой коллоидной структуры между блоками ВСНП образуются каналы низкоактивационного переноса и подвижности, свойственные наноконпозиционной структуре твердых веществ. Дифференциально-термический анализ полученного геля показал наличие экзотермических пиков при 290, 390 и 590 °С (рис. 1).

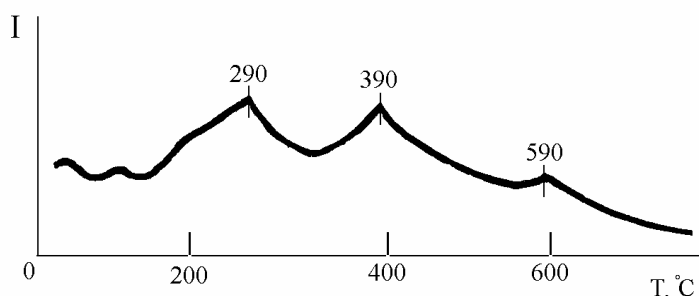


Рис. 1. Кривая DTA продуктов гидролитической поликонденсации Al ($i\text{-OC}_3\text{H}_7$)₃ при pH=7,5.

Медленное удаление растворителя из геля и последующий отжиг при 390 °С приводят к формированию блоков октаэдрической формы с рентгенографически определенным размером ребра $3,15 \text{ \AA}$ и расстоянием $R_{\text{O-O}}=1,57 \text{ нм}$ образующихся связей O – O. При 450 °С формируется структура из блоков ВСНП с $a=1$. Заканчивается формирование структуры из нанополимеров с $a = 12,6 \text{ нм}$ при 590 °С переходом $\alpha\text{-AlOOH} \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Дальнейшая выдержка при 590 °С сопровождается выделением полос с максимальной электронной плотностью, близких структурным элементам в кристаллическом $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (рис. 2). Удвоение минимального рассеивающего объема связано с высоким содержанием нанополимеров.

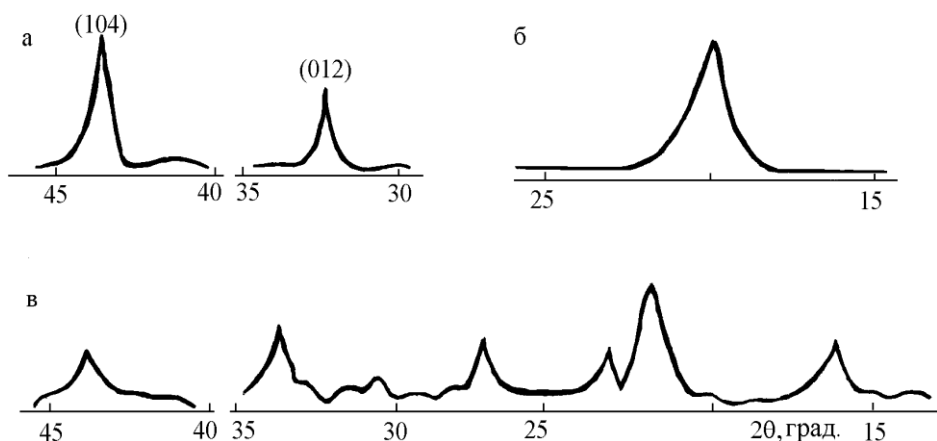


Рис. 2. Дифрактограммы продуктов гидролитической поликонденсации Al ($i\text{-OC}_3\text{H}_7$)₃, отожженных при температурах (°С) : 100 (б), 590(в) в течение (час) : 1(б), 3(в); кристаллического $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (а).

Полученный из золь-гель периодических растворов Al_2O_3 обладает всеми свойствами, присущими наноконпозиционным структурам, и может быть использован в качестве материала матрицы для наноконпозиционной керамики, а также защитных и диэлектрических покрытий с регулируемой толщиной.

Список литературы:

1. Осадчев Л.А.. Приповерхностный водород в анион-дефицитных оксидах. Обзоры по электронной технике. Серия 6. Материалы, 1990. Вып. 10. 50 с.
2. Ремнев Г.К., Руднев С.В. и др.. Тонкослойное протонно- ионное модифицирование. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 418 с.

3. Бородин Ю.В., Гусельников М.Э., Сергеев А.Н. Наноконпозиционные структуры в тонком слое Монография.- Томск, Изд-во ТПУ. 2007. – 104с.

Ионометрическое определение иодид-ионов в биообъектах

С.В. Романенко, Я.Г. Заика

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

yanga@tpu.ru

Предложен потенциометрический метод для анализа биологических жидкостей, биодобавок и объектов окружающей среды на содержание иодид-ионов. Было изучено мешающее влияние галогенов (СI, Вг) на определение иодидов указанным методом. Проведенные исследования позволили определить оптимальные условия и разработать методику потенциометрического определения концентрации иодид-ионов в диапазоне концентраций 10^{-7} – 10^{-2} моль/л.

Иод составляет основу гормонов щитовидной железы, которые выполняют жизненно важные функции на протяжении всей жизни человека и он должен поступать в организм человека постоянно в необходимых количествах. Главное значение иода состоит в том, что он является незаменимым компонентом тиреоидных гормонов. Нет такого органа или системы организма, которые бы не нуждались в этих гормонах. Они участвуют в обеспечении организма энергией, которая нужна не только для выполнения механической работы, но и для полноценного обмена веществ, нормального протекания процессов биосинтеза, роста и развития организма и обновления его тканей. Пока человек получает достаточное количество энергии, он бодр, полон сил, жизнерадостен и здоров. Как только хотя бы в одной из энергетических цепочек происходит сбой, самочувствие ухудшается. При серьезных неполадках в энергетическом обмене человек заболевает.

Суточная потребность элемента у взрослого человека 150–200 мкг в сутки. Жители Томска в среднем потребляют в сутки 40–60 мкг иода. По данным департамента здравоохранения Томской области около 85 % населения Томска проживают в районах дефицитных по иоду, который приводит к нарушению деятельности нервной системы, мозга, половых и молочных желез человека. Дефицит иода усугубляется экономическими и экологическими факторами. В последние десятилетия снизилось потребление иодсодержащих продуктов, не проводится массовая и групповая иодная профилактика [1].

Больше всего страдают дети: они отстают в умственном и физическом развитии, им трудно даются освоения новых знаний и учёба в школе. Проявления иодного дефицита разнообразны: от зоба (увеличения щитовидной железы) до «кретинизма». В группу риска по развитию иододефицитных заболеваний входят дети, подростки, беременные и кормящие женщины.

Ликвидация дефицита иода становится одной из важнейших задач, так как здоровые дети – это будущая здоровая нация. В последнее время эффективными являются иодосодержащие продукты и биодобавки (в состав подобных объектов чаще всего входят слоевища ламинарии и фукус), способствующие решению этой проблемы. В связи с этим возникают проблемы определения микросодержания иода в подобных препаратах и сырье для их производства.

Для количественного определения иодид-ионов могут быть использованы различные методы: масс-спектрометрия, спектрофотометрия, инверсионная вольтамперометрия, прямая потенциометрия и потенциометрическое титрование, а также ряд других. Выбор того или иного аналитического метода зависит от задач, поставленных перед исследователем. В настоящее время существует ряд методик, но они, к сожалению, не отвечают полностью указанным требованиям. В связи с этим становится очевидным необходимость разработки и применения других методик определения иода.

Нам представляется, что оптимальным методом определения иодид-ионов в биологических жидкостях, биодобавках и объектах окружающей среды может стать прямая потенциометрия с использованием серебряного электрода.

Как метод анализа потенциометрия обладает достоинствами весьма простого приборного оформления, применимого к разнообразным конкретным условиям. Этот метод позволяет определять содержащиеся в растворах вещества в широких пределах изменения их концентрации с использованием одного и того же оборудования при незначительном изменении методики измерения [2].

Стандартный метод определения иодид-ионов при их концентрации выше 50 мг/л основан на окислении их до иода и последующем титровании тиосульфатом. Этот метод занимает больше времени, чем прямые потенциометрические измерения, но он имеет и определенные преимущества, поскольку его проведению мешает сравнительно мало посторонних веществ [3]. Стандартные методы определения низких концентраций иодид-ионов достаточно сложны, а на результаты метода могут существенно влиять такие факторы как время и температура [4].

Цель настоящей работы — разработка и создание потенциометрической методики определения иодид-ионов и иода в различных объектах.

Для определения концентрации иодид-ионов использовали метод градуировочного графика.

В качестве основного метода определения иодид-ионов предложен метод стандартных добавок, заключающийся в добавлении к анализируемой пробе определенного количества стандартного раствора определяемых ионов. Определение содержания иодид-ионов проводили по методу «введено-найденно». Максимальная погрешность измерения составила не более 20 % на уровне концентраций 10^{-5} М.

Кроме того, проведены исследования по мешающему влиянию галогенов (Cl^- , Br^-) на определение иодид-ионов указанным методом. Был проведен расчет концентраций ионов галогенов, которые будут существенно влиять на определение иодид-ионов данным методом. Экспериментально доказано, что присутствие данных элементов в тех количествах, в которых они содержатся в рассматриваемых биообъектах, не влияет на определение иодидов в стандартных растворах.

Проведенные исследования позволили определить оптимальные условия и разработать методику потенциометрического определения концентрации иодид-ионов в диапазоне концентраций 10^{-7} – 10^{-2} моль/л.

Разработанным методом возможно последовательное определение в одной пробе иодидов и иода в молекулярной форме. Такое определение было проведено для препаратов, в которых помимо иодидов содержится иод. Для этого сначала определяли содержание иодидов в пробе раствора. Затем добавляли несколько капель 0.1 М раствора тиосульфата натрия, восстанавливая молекулярный иод до иодида, и находили суммарное их содержание.

По сравнению с argentометрическим титрованием разработанный метод отличается экспрессностью и экономичностью. Кроме того, при определении малых количеств иодидов скачок титрования выражен плохо, что затрудняет нахождение эквивалентного объема и существенно увеличивает погрешность определения.

Разработанный метод может быть в будущем применен для определения содержания молекулярного иода и иодид-ионов в лекарственных препаратах, биологических жидкостях и водных объектах.

Список литературы:

1. Дедов И.И., Герасимов Г.А., Свириденко Н.Ю. Иоддефицитные заболевания в Российской Федерации. — М.: Эндокринологический Научный Центр РАМН, 1999. — 25 с.
2. Ионоселективные электроды: Пер. с англ. / Под ред. Р. Дарста. — М.: Мир, 1972. — 247 с.
3. Коренман И.М. Новые титриметрические методы. — М.: Химия, 1983. — С. 47–56.
4. Мидгли Д., Торренс К. Потенциометрический анализ воды. — М.: Мир, 1980. — 498 с.

УДК 504.06

Контроль на границе СЗЗ как индикатор работы ПГУ

Е.Д. Корф

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

korf-kat@mail.ru

В работе описано исследование общей эффективности газоочистки на предприятии путём натуральных измерений на границе санитарно-защитной зоны ЗАО «Северский стекольный завод». Определено, что система пылегазоулавливания работает эффективно.

Северский стекольный завод функционирует с 2004 года в поселке Самусь Томской области.

ЗАО «Северский стекольный завод» находится на территории ЗАТО Северск и является одним из его производственных объектов.

Основной сферой деятельности предприятия является производство различных стекольных изделий (стеклотары): банки, бутылки.

К основным объектам ЗАО «Северский стекольный завод» относятся:

- составной цех
- цех выработки.
- складской участок.

Источники загрязнения окружающей среды ЗАО «Северский стекольный завод» расположены на одной площадке в поселке Самусь.

Организованные источники выбросов в атмосферу: дымовая труба, три трубы от приточно-вытяжных вентиляций.

Технология производства стеклотары состоит из следующих технологических операций: складирование и хранение сырья в расходных бункерах, обработка сырьевых материалов, приготовление шихты и подготовка стеклобоя, загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренную печь, варка стекломассы, отжиг стеклотары, контроль качества стеклотары, упаковка и складирование стеклотары [1, 2].

Охрана окружающей среды при производстве стекла связана, прежде всего, с уменьшением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от составного цеха, стекловаренной печи, участка обработки изделий (отжиг): пыли, оксидов азота, серы, оксидов углерода, примесей оксидов меди и кобальта (для повышения прочности и пластичности изделий).

Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере ведёт к повышению температуры Земли. При увеличении содержания углекислого газа можно ожидать повышения средней температуры Земли, хотя зависимость между этими параметрами довольно сложная. Было проведено множество модельных исследований по этой проблеме. Судя по их результатам, примерное удвоение содержания углекислого газа произойдет около 2040 года, в результате чего средняя температура планеты возрастет на два или три градуса. В полярных районах повышение температуры может превысить данное значение в несколько раз.

Содержание водяного пара также может измениться при изменении температуры. Таким образом, конечным результатом изменения концентрации углекислого газа в атмосфере могут стать сложные климатические процессы, связанные с изменением, как температуры, так и процессов образования осадков.

Оксиды азота находятся в атмосферном воздухе до 2-5 суток, перемешиваясь с потоками воздуха на расстояния до 1000 км. За это время происходит их превращение в кислоты, и смог из атмосферы попадает с осадками в почву и поверхностные воды, главным образом в виде слабых растворов азотной и азотистой кислот:

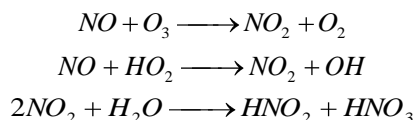


Таблица 1. Масштабы трансформации соединений азота

Вещество	Масштабы трансформации	
	Расстояние, км	Время
<i>NO</i>	10	1 ч.
<i>NO₂</i>	100-200	2 сут.
<i>HNO₃</i>	До 1000	4 сут.

Диоксид серы, взаимодействуя в атмосфере с парами воды также превращается в кислоты и попадает с осадками в почву и поверхностные воды в виде слабых растворов серной и сернистой кислоты.

Сокращению этих выбросов способствует использование топлив, в процессе сжигания которых образуется меньше загрязняющих веществ, а также применение усовершенствованных технологических процессов и оборудования. Северский стекольный завод использует природный газ в качестве топлива. Газ является наиболее целесообразным с экологической точки зрения видом топлива. На единицу производимой энергии он оказывает наименьшее воздействие на окружающую среду, в особенности на воздух и хвойные леса.

Для отвода газов в атмосферу на ЗАО «Северский стекольный завод» используют дымовую трубу. Труба спроектирована в соответствии [3]. Она обеспечивает эффективное рассеивание газов в атмосфере.

Значительная часть выбросов предприятий и автотранспорта в атмосферу представляют аэрозоли – дисперсные твердые или жидкие частицы, витающие в воздухе, которые, взаимодействуя с облаками уменьшают доступ солнечной радиации к поверхности Земли.

Для удаления пыли используется всевозможная аппаратура [4].

Современные аппараты обеспыливания газов можно разбить на четыре группы:

1. Механические обеспыливающие устройства, в которых пыль отделяется под действием силы тяжести, инерции или центробежной силы.
2. Мокрые, или гидравлические, аппараты, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью;
3. Пористые фильтры, на которых оседают мельчайшие частицы пыли;
4. Электрофильтры, в которых частицы осаждаются за счет ионизации газа и содержащихся в нем пылинок.

На ЗАО «Северский стекольный завод» используется первый и третий тип аппаратов обеспыливания газов, на предприятие установлено 3 циклона типа СЦН-40, два циклона осадителя, тринадцать фильтров различных типов (рукавные, кассетные и другие), а также на участке обработки форм установлено три вытяжки. Всего на предприятии установлено двадцать пылегазоулавливающих аппаратов.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) отделяет территорию промышленной площадки от жилой застройки, ландшафтно-рекреационной зоны, зоны отдыха, курорта с обязательным обозначением границ специальными информационными знаками.

Границей жилой застройки является линия, ограничивающая размещение жилых зданий, строений, наземных сооружений и отстоящая от красной линии на расстояние, которое определяется градостроительными нормативами.

Красная линия отделяет территорию улично-дорожной сети от остальной территории города. За пределы красных линий в сторону улицы или площади не должны выступать здания и сооружения.

Санитарно-защитная зона является обязательным элементом любого объекта, который является источником воздействия на среду обитания и здоровье человека.

Использование площадей СЗЗ осуществляется с учетом ограничений, установленных действующим законодательством и настоящими нормами и правилами. Санитарно-защитная зона утверждается в установленном порядке в соответствии с законодательством Российской Федерации при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии санитарным нормам и правилам.

Известно[5], что для объектов, их отдельных зданий и сооружений с технологическими процессами, являющимися источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, в зависимости от мощности, условий эксплуатации, характера и количества выделяемых в окружающую среду загрязняющих веществ, создаваемого шума, вибрации и других вредных физических факторов, а также с учетом предусматриваемых мер по уменьшению неблагоприятного влияния их на среду обитания и здоровье человека, в соответствии с санитарной классификацией предприятий, производств и объектов устанавливаются следующие размеры санитарно-защитных зон:

- предприятия первого класса - 1000 м;
- предприятия второго класса - 500 м;
- предприятия третьего класса - 300 м;
- предприятия четвертого класса - 100 м;
- предприятия пятого класса - 50 м.

Согласно санитарной классификации предприятий ЗАО «Северский стекольный завод» относится к предприятиям четвертого класса с санитарно-защитной зоной 50 м. Сделан вывод, что существующие границы СЗЗ соответствуют современным нормам[5].

Индикатором работы пылегазоулавливающих установок был контроль качества атмосферного воздуха на границе СЗЗ. На ЗАО «Северский стекольный завод» был исследован атмосферный воздух на границе санитарно-защитной зоны [6, 7]. Измерения проводились 81 раз в течение августа, сентября 2009 г. При выборе точек замеров учитывалась роза ветров. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2. Исследование атмосферного воздуха на границе СЗЗ

Измеряемый параметр	ПДК	Результаты измерений
CO ₂ , мг/м ³	8000	< 2
NO _x , мг/м ³	0,2	< 0,01
SO ₂ , мг/м ³	0,5	<0,075
Пыль, мг/м ³	0,5	0,4

В результате исследований сделан вывод, что на границе санитарно-защитной зоны атмосферный воздух по всем исследуемым параметрам соответствует требованиям санитарных норм, то есть в целом эффективность пылегазоочистки на предприятии высокая и эффективность работы пылегазоулавливающих установок достаточно высока.

Список литературы:

1. Павлушкин Н.М. Стекло. Справочник.-М.: Стройиздат, 1973.-487 с.
2. Бутт Л.М., Поляк В.В. Технология стекла.-М.: Стройиздат, 1971.-367с.
3. СНИП-2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий
4. Торочешиков Н.С., Родионов А.И., Кельцев Н.В., Клушин В.Н. Техника защиты окружающей среды.- М.:Химия, 1981.-370 с.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и других объектов.
6. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. – М.:Госкомгидромет, 1991. – 694 с.
7. Перегуд Е.А., Быховская М.С., Гернет Е.В. Быстрые методы определения вредных веществ в воздухе. М.:Госхимиздат,1962. – 274 с.

Нечеткое регулирование параметров технологических процессов

В.Н. Извеков

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

izvekovvn@tpu.ru

Рассмотрен процесс нечеткого регулирования для поддержания постоянства концентрации компонента газовой смеси, используемого в технологическом процессе приготовления топливной смеси

В различных областях техники и технологий используются вещества, концентрации которых необходимо поддерживать на постоянном уровне в целях соблюдения качественных параметров продукта на выходе технологического процесса. Примером может служить технологический процесс приготовления топливной смеси постоянного состава для газовых теплоэнергетических установок [3,4].

Из вышесказанного следует вывод, что концентрация основного компонента топливной смеси должна поддерживаться на постоянном уровне с помощью автоматической системы регулирования концентрации (АСРК) (Рис.1).

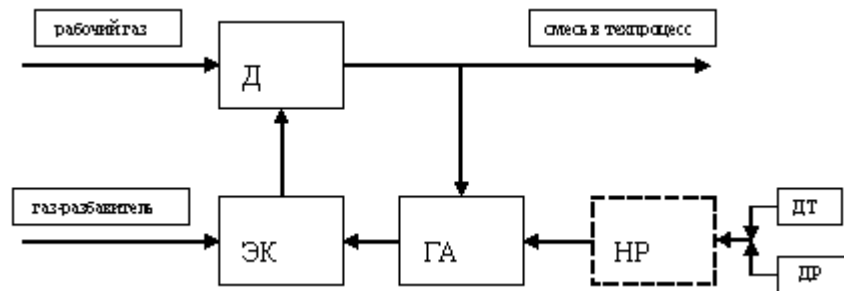


Рис. 1. Структурная схема АСРК

Д – дозатор; ЭК – электронный клапан; ГА – газоанализатор; НР – нечеткий регулятор; ДТ, ДР – датчики температуры и давления

Датчиком концентрации в АСРК является газоанализатор (ГА).

Показания ГА в общем случае зависят от изменения влияющих величин, например, температуры (Т), и давления (Р) окружающей среды

$$U_z = f(C, T, P),$$

где U_z – выходной сигнал ГА, С – измеряемая концентрация.

Обычно влияние изменения Т и Р компенсируется сигналами датчиков Т и Р в схеме ГА.

Возможна ситуация, когда один из датчиков выходит из строя, что приводит к искажениям показаний ГА, т.е. нарушению качественного состава топливной смеси.

Учесть потерю информации от одного из датчиков Т или Р, т.е. поддерживать техпроцесс в рамках заданных параметров, можно введением в АСРК нечеткого регулятора (НР) (Рис.1).

Принцип действия НР основан на понятиях нечеткой логики [1].

Основные базовые понятия нечеткой логики:

- лингвистическая переменная (ЛП) любая физическая величина, которая имеет больше значений,

чем только ДА или НЕТ);

- терм (множество значений ЛП);

- функция принадлежности (описывает степень принадлежности ЛП к терму);

- нечеткая база знаний (совокупность нечетких правил, определяющих взаимосвязь между входами и выходами исследуемого объекта).

Реализация нечеткого процесса состоит из следующих стадий [2]:

- фаззификация (определение степени уверенности в том, что выходная ЛП принимает значение – конкретный терм);

- нечеткий логический вывод (вычисление значения истинной принадлежности ЛП терму на основании набора правил, т.е. нечеткой базы знаний);

- дефаззификация (преобразование нечеткого набора значений ЛП к точным значениям).

Функциональная схема процесса представлена на Рис.2.

Имея значения и диапазоны заданных значений ЛП (С, Т, Р) с выбранными функциями принадлежности и базой нечетких правил, в соответствии со схемой Рис.2 можно реализовать НР с заданными параметрами как для случая отсутствия информации (выход из строя датчика) о значении Т, так и о значении Р.

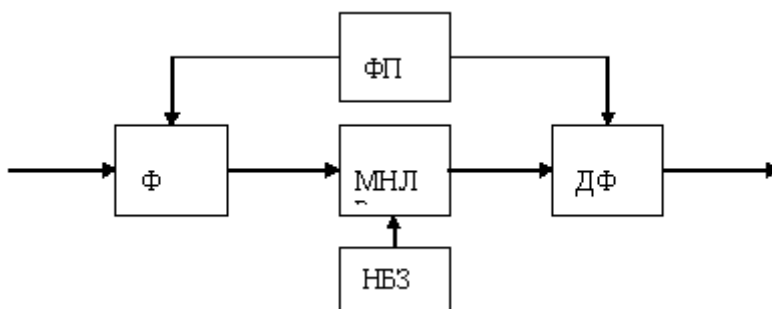


Рис. 2. Нечеткий логический вывод

Ф – фаззификатор; **ФП** – функции принадлежности; **МНЛ** – машина нечеткого логического вывода; **НБЗ** – нечеткая база знаний; **ДФ** – дефаззификатор

Предложенная модель нечеткого регулирования параметров технологического процесса подготовки топливной смеси газовых теплоэнергетических установок позволяет восполнить потерю информации об уровнях влияющих величин на показания датчика контроля (ГА), т.е. повысить качество процесса сжигания и избежать нештатных ситуаций при эксплуатации.

Список литературы:

1. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – Мир, 1976. 168 с.
2. Ефимов А.С., Моренов О.А. Основы нечеткой логики, логико-лингвистические модели. – Материалы семинара ITLab, НГУ, Нижний Новгород, 2004.
3. Способ подготовки смеси воздуха с топливом и ее сжигания в камере сгорания теплоэнергоустановки и устройство для его осуществления. Пат. Рос. Федерации № 211 6574.
4. Энергетические установки с газовыми поршневыми двигателями / Под ред. проф. Л.К. Коллерова. – Л. Машиностроение, 1979. 280 с.

О шумовых эффектах в жилых помещениях от воздействия механического оборудования

М.В. Василевский

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

vasmix40@mail.ru

Проведен анализ структурного шума в жилых помещениях при локальных вибрационных воздействиях на строительные ограждения многоквартирного дома. Стены, перекрытия являются волнопроводами с малыми потерями энергии колебаний. Количество колебательной энергии в конструкционном массиве определяется мощностью источника и временем воздействия оборудования на строительный элемент. Передача энергии в окружающую среду конструкциями здания осуществляется в основном через поверхность наружных ограждений, составляющей по отношению к поверхностям внутренних ограждений менее десяти процентов. Поэтому уровень шума в помещениях, расположенных вблизи источника при энергии удара при локальном взаимодействии с массивом конструкции более 0.5Дж превышает предельно допустимые значения.

Среда, окружающая человека и ограниченная помещением, должна иметь характеристики, обеспечивающие благоприятные условия функционирования человеческого организма. Одной из составляющих этих характеристик является шум. Шум отрицательно воздействует на нервную систему, желудочно-кишечный тракт, сердечно-сосудистую систему, увеличивает кровяное давление, что приводит к разрушению здоровья. Количество переданной звуковой энергии от источника акустического шума через конструкцию прямо пропорционально ее площади S_1 и обратно пропорционально площади звукопоглощения A_2 в изолированном объеме [1]. Значение звукоизоляционного эффекта определяется формулой $R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S_1}{A_2}$, где L_1, L_2 – уровни шума в помещении с источником шума и в изолируемом помещении. Звуковые волны, падающие на конструкцию, приводят ее колебательное движение. При определенной частоте $f = \frac{c^2}{1.8c_1 h}$, где c, c_1 – скорости звука в воздухе и в массиве

конструкции, h – толщина стенки, длина изгибной волны будет определяться величиной $\lambda = \frac{c}{f}$ [1].

Определение уровня шума собственно источника проводится в соответствии с ГОСТ 12.1.026–80 (1996) ССБТ и по ГОСТ 12.1.025-81, по которому реализуется точный метод измерения в реверберационной камере. Средний уровень звукового давления в полосах частот (L_m) в дБ на измерительной поверхности вычисляют по формуле $L_m = \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i}\right) - K$, где L_i - уровень звукового давления в полосе частот, дБ,

или уровень звука, дБА, в i -й точке измерения. В закрытых помещениях постоянную K вычисляют по формуле $K = 10\lg(1+4S/A)$, где S - площадь выбранной измерительной поверхности, м², A - эквивалентная площадь звукопоглощения, м² в помещении в полосе частот, определяемая по приложению 4 ГОСТ 12.1.025-81 (зависит от частоты). По этому приложению измерение времени реверберации и расчет эквивалентной площади звукопоглощения в реверберационной камере осуществляют дополнительными мероприятиями. Звуковое поле в камере (в помещении) создают одним или несколькими громкоговорителями, направленными в углы помещения и излучающими шумовой сигнал со сплошным спектром. Приемный тракт должен состоять из измерительного микрофона, усилителя и самописца уровня. Октавные или третьоктавные полосовые фильтры должны быть включены в излучающий или приемный тракт. Микрофон должен находиться в области расположения измерительных точек при испытании источника шума. По результатам измерений вычисляют среднее арифметическое значение времени реверберации T (с), для каждой полосы частот. Допускается измерение времени реверберации при помощи частот модулированного или импульсного сигналов. Эквивалентную площадь звукопоглощения A , м², в полосе частот измерения следует вычислять по объему V (м³) реверберационной камеры, времени реверберации T (с) в полосе частот, определенное согласно приложению ГОСТ 12.1.025-81.

Структурный шум имеет другую природу. При механическом воздействии какого либо оборудования (вибрация труб, работа насосов, вентиляторов, бытовых машин, топот, ремонтные работы с использованием молотков, сверл, перфораторов) на ограждающие помещения конструкции возникают деформационные волны, которые распространяются со скоростью звука, тем большей, чем больше упругость материала. Стены, перекрытия являются волнопроводами с малыми потерями энергии колебаний. Количество колебательной энергии в конструкционном массиве определяется мощностью источника и временем воздействия оборудования на строительный элемент. Передача энергии в окружающую среду конструкциями здания осуществляется в основном через поверхность наружных ограждений, составляющей по отношению к поверхностям внутренних ограждений менее десяти процентов. В [2] приведены сравнения частотных характеристик ударного шума от ударной машины по железобетонной плите, ударной машины по полу из винилпласта, дубового паркета в панельных домах различных серий. Ударная машина представляет систему молотков массой 0.5 кг. Молотки свободно падают с высоты 40 мм, и периодически через 0.1 с. ударят по поверхности. Головка молотка диаметром 3 см. имеет сферическую форму с радиусом закругления около 50 см [3]. В некоторых исследованиях использовались ударные машины с высотой падения молотков 4 мм [2]. Энергия удара в первой системе составляла 0.2 Дж, во второй–0.063 Дж. Машина устанавливалась на полу четвертого этажа, а измерения проводились в комнатах, расположенных горизонтальном и вертикальном направлениях. Измерялись также спектры колебательных скоростей. Обнаружено, что максимальные скорости панелей проявляются в окрестности частоты 100 Гц (0.002–0.004 см/с 2-й, 3-й этажи, 0.006 см/с 4-й этаж), максимальные виброскорости перекрытий составляет 0.0008 см/с для первого этажа и 0.008 см/с для 3-го этажа. Уровни шума под перекрытиями в зависимости от частот находился в пределах 40–70 дБ, за стеной– 45–60 дБ. Если учесть, что колебательные скорости v и давления p связаны между собой сопротивлением среды (импедансом) $z_v = p/v$, который для воздуха в нормальных условиях равен 410 Па·с/м, то, как показывает расчет, замеренные уровни давлений соответствуют замеренным колебательным скоростям. Таким образом, поверхности ограждающих конструкций являются излучателями структурного шума, отражателями шума и в объеме помещений происходит накопление звуковой энергии до значения, при котором устанавливается равновесие потоков энергии вследствие ее выхода через наружные поверхности.

Рассмотрим воздействие перфоратора на элемент конструкции. Перфоратор – устройство для разрушения пород в горных выработках [4], применяется и в строительном деле. Он является эффективным средством для изменения конфигурации конструкций, изготовления ниш, проходов, отверстий в стенах и т.п. При работе перфоратора, в локальной области взаимодействия рабочего органа и материала массива, материал при разрушении приходит в квазиоживенное состояние, что объясняется резонансными явлениями при таком взаимодействии. Основной характеристикой перфоратора является энергия удара. В промышленных условиях она находится диапазоне 500–1000 Дж. В строительных работах применяют перфораторы с энергией удара 2–20 Дж. Основным недостатком применения перфоратора является шум. Уровень собственного шума за счет внутреннего взаимодействия механизмов в зависимости от конструкции, мощности составляет 60–110 дБ. В [5] проведено

исследование излучения звука буровыми штангами при упругом ударе. Приведен метод расчета уровней звуковой мощности, излучаемыми буровыми штангами. Основным фактором генерации шума являются изгибные колебания штанги при ее взаимодействии с породой. Однако проведенные исследования не касались распространения деформационных волн в строительных конструкциях, инициированных работой перфоратора, и генерации шума этими конструкциями в жилых помещениях. При взаимодействии рабочего органа с материалом конструкции возникают волны сжатия и сдвига, распространяющиеся в продольном (радиальном) и поперечном направлениях. Поперечные деформации вызывают колебательные движения поверхности стен. В местах сопряжения стены с перекрытиями, с другими стенами возникают деформационные взаимодействия ударного типа, приводящие к поперечным деформациям прилегающих элементов конструкции.

Проведем расчет акустического излучения стен и уровень шума в помещении [6–8]. Пусть здание есть куб с гранью $20 \times 20 = 400 \text{ м}^2$. В нем содержатся внутренние стены и перекрытия, которые имеют поверхности в сумме в десять раз большие, чем наружная поверхность. Таким образом, общая поверхность с учетом обеих сторон составляет $S=48\,000 \text{ м}^2$. Рассмотрим эквивалентную пластину из кирпича толщиной $H=0.25$ м с площадью поверхности $48\,000 \text{ м}^2$. В центре этой пластины осуществляются удары разрушения с энергией 5 Дж и частотой $f=50$ Гц, так что мощность источника $W=250$ Вт. Скорость поперечных волн определяется из выражения $c_T = \sqrt{\frac{E_T}{2c_T(1-\mu)}}$, где E_T —модуль

Юнга, μ —коэффициент Пуассона, ρ_T —плотность. Плотность потока энергии в стене определится из баланса энергии с учетом отражения волн и прозрачности $I_T = \frac{W}{2prH} + \frac{2W_B}{\rho v}$. Скорость звука

поперечных волн по расчету $c_T = 2080$ м/с, импеданс кирпичной стены по расчету $Z_T = 3.55 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$,

коэффициент отражения в твердой стене $\rho_B = \frac{Z_T - Z_B}{Z_T + Z_B} = 0.9998 = 1 - 2 \cdot 10^{-4}$. При $r = 20$ м, $I_T = 60$ Вт/м².

Объемная плотность энергии $W_T = I_T / c_T = 60/2080 = 0.029$ Дж/м³, колебательная скорость $v = \sqrt{\frac{2W_T}{c_T}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.029}{1700}} = 5.8 \cdot 10^{-3}$ м/с, амплитуда при частоте 50 Гц равна $1.12 \cdot 10^{-4}$ м. Плотность

потока энергии в воздухе помещения от излучения стенами и перекрытиями $I_{\text{вн}} = \frac{v^2}{2} c_B \rho_B = 6.9 \cdot 10^{-3}$

Вт/м². Коэффициент поглощения звуковой энергии оштукатуренными стенами $\alpha=0.02$, с учетом наличия форточек, мягких покрытий $\alpha=0.04$. Плотность потока энергии в помещении с учетом отражений волн от стен и перекрытий $I_{\Sigma} = I_{\text{вн}} + \frac{I_{\text{вн}} \rho_B}{\alpha} = 0.17$ Вт/м². Уровень шума $L = 10 \lg \frac{0.17}{10^{-12}} = 112$ дБ при нормативном допустимом уровне шума в жилых помещениях 60 дБ.

Замкнутый воздушный объем помещения, если его размеры соизмеримы с длиной волны или больше ее, следует рассматривать как колебательную систему с распределенными параметрами, которая обладает спектром собственных (резонансных) частот. Волновая теория резонаторов позволяет определить собственные частоты колебаний в прямоугольном помещении со сторонами l_x, l_y, l_z [6]. Частоты колебаний по размерам в направлениях x, y, z имеют следующие выражения [6]

$f_x = m \frac{c}{2l_x}, f_y = n \frac{c}{2l_y}, f_z = q \frac{c}{2l_z}$. Частота при этом равна $f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{q}{l_z}\right)^2}$. Здесь

совокупность трех целых чисел (m, n, q) определяет одну моду (волну колебания с частотой f). Например, помещение со сторонами $5, 4, 3$ м и $c=340$ м/с имеет следующие частоты собственных колебаний f и длин волн λ :

№	m	n	q	f (Гц)	λ(м)
1	1	0	0	34	10
2	0	1	0	42.5	8
3	1	1	0	54.4	6.2
4	0	0	1	56.6	6
5	1	1	1	74.5	4.5
6	2	0	1	85	4

Звук с наименьшей частотой является основным тоном. Он содержит гармоники с частотами, кратными частоте основного тона. При совпадении вынужденных частот с частотами собственных колебаний в помещении образуются стоячие волны с кратным увеличением амплитуд колебаний воздушной среды.

Отметим, что работу с применением перфоратора выполняет подготовленный персонал. У подготовленного человека регуляция всех видов обмена веществ направлена на формирования защитных реакций на воздействия шума и вибраций. Это отражено в нормативных документах – ГОСТ 12.1.003-83 "Шум. Общие требования безопасности", СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Санитарные нормы шума на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки". Человек с перфоратором проводит работы в здании, применяя защитные средства при открытых окнах. Неподготовленный человек испытывает стресс, физический и психологический дискомфорт с нарушением физиологических процессов. Если применяются более мощные, по сравнению с рассмотренным, перфораторы, то в близрасположенных помещениях уровни давления соответствуют верхнему порогу, при котором происходит физическое разрушение организма.

Таким образом, в здании, где проводятся ремонтные работы с применением перфоратора на человека, находящегося в помещении, оказывается сверхдопустимое шумовое воздействие. Человек оказывается в акустической ловушке, причем акустические воздействия на него по физическому параметру (давление) превышает допустимое в тысячи раз. В настоящее время на страницах Интернет проходят форумы обиженных граждан на перфораторщиков, которые проводят дизайнерские работы в жилых помещениях [9].

Список литературы:

1. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно–строительная акустика. М.: Высш. шк., 1986–256 с.
2. Ковригин С.Д., Захаров А.В., Герасимов А.И. Борьба с шумом в гражданских зданиях. М.: Стройиздат, 1969–328 с.
3. Справочник проектировщика. Защита от шума. Под ред. Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1974.
4. Васильев В.М. Перфораторы: Справочник–М.: Недра, 1989–216 с.
5. Придвижкин В.А. Исследование механического шума пневматических ручных перфораторов и методы его снижения. Диссертация ... к.т.н. М.: Центральный научно –исследовательский проектно–конструкторский институт профилактики пневмокониозов и техники безопасности (ЦНИИПП), 1975.
6. Акустика в задачах / под ред. С.Н. Гурбатова и О.В. Руденко.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.–338 с.
7. Крендалл И.Б. Акустика: пер. с англ.– М.: Книжный дом «Либроком», 2009.–168 с.
8. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Под ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985.– 400 с.
9. <http://www.forum.zakonia.ru/showthread.php?t=52651&page=2>

Проблемные аспекты транспортировки тонкодисперсных материалов

*В.И. Романдин**, *М.В. Василевский*, *Е.Г. Зыков***, *А.С. Разва*

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

***ООО «Томскгазоочистка», г. Томск, Россия*

vasmix40@mail.ru

Рассмотрены системы транспортировки тонкодисперсных материалов с точки зрения возможного загрязнения окружающей среды и условий охраны труда. Для тонкодисперсных материалов предпочтительным является пневмотранспорт с высокой концентрацией частиц.

При проектировании транспортных установок стоит задача наиболее рационального выбора машин, обеспечивающих наибольший технический эффект в работе производства. При этом определяются капитальные затраты, эксплуатационные расходы, служащие основным критерием при выборе оптимального варианта со следующими показателями: расход энергии, расход материалов на ремонт, число штатных единиц персонала, обслуживающих установку [1]. Ленточные конвейеры являются наиболее распространенными машинами непрерывного транспорта. Их производительность достигает десятки тысяч тонн в час. Длина составляет несколько километров. Стоимость ленты и роликов составляет 50% от стоимости конвейера. Пространственная конфигурация маршрутов перемещения грузов предполагает пересыпки дисперсного материала с транспортера на транспортер. Обычно короб пересыпки имеет свою аспирационную сеть и пылеуловитель. Объединение нескольких коробов пересыпок в единую аспирационную сеть создает трудности при эксплуатации – выпадение материала из запыленного потока, образование отложений, трудности с поддержанием необходимого

расхода воздуха во всех сечениях сети, повышенные энергозатраты на транспортирование больших запыленных объемов воздуха на большие расстояния к месту централизованной очистки. Количество пыли, отходящей только от одного короба пересыпки дробленого известняка, может составлять 200 кг/час. Количество воздуха необходимого для аспирации коробов пересыпок конвейерных систем обычно не превышает 10–15 тыс. м³/час [2]. В коробах пересыпки дисперсных материалов конвейерных систем, агломераты частиц в условиях повышенной влажности образуются при их взаимодействии друг с другом, при "блочном" сходе материала с конвейерных лент. Материал поступает в систему сгустками, поэтому концентрация частиц в потоке нестационарна. В условиях пониженной влажности на поверхностях частиц образуется одноименный электрический заряд, что обуславливает повышенную диспергацию частиц. Ссыпаящийся материал на нижерасположенный транспортёр эжектирует воздух из расчета 2–20 м³ воздуха на 1 м³ материала. Поток воздуха, отразившись от конвейерной ленты, диспергирует, увлекает материал и концентрация частиц многократно возрастает. Создаётся перепад давления по высоте пересыпки, который зависит от степени диспергации пыли и высоты между транспортёрами. Этот перепад может колебаться в диапазоне 2–110 мм.вод.ст (0,02–1,1 кПа). В связи с этим обстоятельством интенсивность отвода пыли, т. е. количество воздуха, выводимого с пылью из аспирационного короба, должна регулироваться в зависимости от степени диспергации пыли при пересыпках, т.е. в зависимости от термодинамического состояния поверхностей частиц. Существенным недостатком современных отечественных систем аспирации является возврат уловленной пыли на ленту, которая с большой вероятностью перейдет во взвешенное состояние в следующем коробе пересыпки или при сбросе в склад. Это обстоятельство приводит к накоплению мелкой пыли по всем маршрутам материала и к ухудшению экологической обстановки, условий труда. Винтовые конвейеры используются для перемещения преимущественно сухих хорошо сыпучих грузов. Они компактны, надежны в эксплуатации. Транспортировка абразивных материалов приводит к быстрому износу винта и желоба. Липкие материалы не могут транспортироваться винтовыми конвейерами из-за налипания на винт. Недостатком является ограниченная длина, повышенный расход энергии, измельчение дисперсного транспортируемого материала. Винтовой конвейер применяется и в качестве пылевыгрузного устройства и одновременно транспортирующего средства. В шнеки перед пуском в эксплуатацию необходимо засыпать достаточное количество пыли для образования запирающей пробки. Оптимальная форма и высота уплотнителя шнека, так же как и длина участка, на котором образуется пробка за счет изъятия части витков, определяется опытным путем в зависимости от свойств золы или пыли и перепада давления. Это обстоятельство затрудняет эксплуатацию систем обеспыливания газов и приводит к уменьшению их эффективности. Ковшовые элеваторы применяются для непрерывного подъема сыпучего груза. Преимуществом элеватора является простота конструкции, возможность создания герметичного кожуха. Недостатком является образования пылевого столба по высоте элеватора при транспортировке тонкодисперсных материалов, который обуславливает повышенное давление пылевоздушной смеси в нижней части машины и необходимости аспирирования всей машины.

Пневмотранспорт по видам подразделяется на транспорт взвесью (скоростной транспорт), поршневой структурой (замедленный транспорт), плотным слоем (медленный транспорт) [3]. Транспортировка материалов в системах погрузки, разгрузки, складирования сыпучих осуществляется на короткие расстояния с высокими концентрациями. Пневматические разгрузчики цемента всасывающего действия применяются в комплекте с пневматическими подъемниками цемента на складах с большим грузооборотом. Системы устойчивы в работе [4]. Скоростная транспортировка зерновых и гранулированных материалов взвесью не вызывает проблем, однако из-за образования примеси в процессе движения зерен необходимо дополнительное оборудование для очистки этих материалов и обеспыливания воздуха [5]. Скоростной пневмотранспорт тонкодисперсных материалов взвесью устойчив, однако его недостатком является большие энергозатраты, измельчение материала, износ труб, необходимость применения высокоэффективного надежного воздухоочистительного оборудования. Обеспыливающие фильтры являются ненадежным элементом в системе пневмотранспорта взвесью: при забивке фильтра забиваются и трубы системы. В высоконапорном импульсном (поршневом, замедленном) транспорте реализуются на порядок большие концентрации, меньшие диаметры труб, большие длины транспортирования, благоприятные условия выделения материала из потока. Организация такого пневматического транспорта осуществляется при помощи периодического, последовательно чередующегося введения порций материала и воздуха в транспортирующий трубопровод. Для лучшего управления процессом вводится дополнительный воздух по длине трассы. К недостаткам этого вида транспорта относят возникновение расклинивающих эффектов в поршнях, что приводит к нарушению работы установки. Дальнейшее расширение зоны использования пневматического транспорта с высокими концентрациями частиц в промышленности возможно за счет распространения вакуумных поршневых систем пневмотранспорта, в которых давление несущего газа в транспортном трубопроводе ниже атмосферного. Это особенно важно, когда речь идет о транспортировании химически опасных для окружающей среды и радиоактивных материалов, так как в

случае сквозного локального износа стенок трубопровода или случайного разрыва, возможность заражения окружающей среды либо полностью исключена, либо будет сведена к минимуму. Другой положительной особенностью вакуумного поршневого пневмотранспорта, по сравнению с напорным, является более высокая надежность процесса транспортирования. Она исключает возможность закупорки трубопровода. Механизм образования пробок (поршней) сыпучего материала и их движения по трубопроводу, как в напорном, так и в вакуумном режиме на первый взгляд не отличается друг от друга, так как и в том и в другом случае движение пробок (поршней) сыпучего материала происходит в результате действия градиентных сил фильтрующегося газа. Также в обоих случаях в процессе движения пробок давление несущего газа в трубопроводе носит в основном нестационарный характер. В напорном трубопроводе распространение возмущений (волн давления и главных напряжений в слое сыпучего материала) направлено по течению потока и в слое скелета сыпучего материала движущегося в напорном трубопроводе через какое-либо местное сопротивление, например, поворот, возникают осевые и радиальные напряжения, создающие значительные силы трения материала о стенки трубы, способные при достаточной скорости изменения давления вызвать закупорку трубопровода. В случае вакуумного пневмотранспорта распространение возмущений направлено против направления движения слоя сыпучего материала, а движущие силы и силы трения, действующие в разных направлениях, разрывают слой. По этой причине вероятность закупорки транспортного трубопровода вакуумной пневмоустановки значительно снижается. Выяснено, что поведение потока, геометрические конфигурации дисперсной фазы определяются связностью материала, степенью его аэрирования [6–8]. Обеспыливание воздуха в пневмотранспортных системах после разгрузки потока осуществляется циклонами и фильтрами. В эффективном циклоне процесс организован таким образом, что вихрь производит сборку дисперсного тела из частиц, начиная от входа, заканчивая в приемнике. Этот процесс непрерывен. В фильтре частицы при обтекании нитей ткани выходят из потока, образуют отложения, которые удаляются регенерацией. Процесс обеспыливания в фильтре прерывен и требуется квалифицированная эксплуатация для поддержания его в рабочем состоянии. Опыт применения фильтров в пневмотранспортных установках в технологиях перегрузки цемента и его складирования свидетельствует о том, что они работают устойчиво в условиях отсутствия паров влаги в воздухе. При больших концентрациях цемента в потоке воздуха это условие автоматически выполняется. Кроме того, соблюдаются требования чистоты тканей фильтров в нерабочие периоды. При транспортировке цемента в узлы производства изделий пневмотранспортные установки работают периодически, фильтры находятся в контакте с атмосферным воздухом, поэтому забиваются пылью и не регенерируются. Процесс обеспыливания газа осуществляется в сформированном слое из отфильтрованных частиц, который утолщается и уплотняется. Имеется большое количество публикаций по механизмам сепарации частиц при фильтрации запыленных газов через жесткую или гибкую пористую перегородку [9], однако наибольшее практическое значение имеют методы регенерации фильтровальных перегородок, которые определяют эффективность, устойчивость обеспыливания, надежность функционирования фильтра. Регенерация осуществляется аэродинамическими воздействиями обратными продувками очищенного газа через перегородку в обратном направлении. В процессе обратной продувки пыль неравномерно отделяется от поверхности рукава. В тех местах, где имеются значительные деформации ткани и отложились наиболее крупные частицы, пыль отделяется раньше и в эти места устремляется основная масса продувочного газа. На других участках пыль может сохраняться. Для улучшения регенерируемости продувку ведут импульсами со встряхиванием рукава фильтра. К показателям пригодности материалов пористых перегородок для обеспыливания газов относят структурные показатели, которые определяют гидродинамику формирования слоя частиц, показатели способности к регенерации, прочностные показатели. Для эффективной работы фильтров их гидравлическое сопротивление поддерживают в диапазоне 1.5–2.5 кПа. Видимо это большое сопротивление способствует образованию фильтрующего слоя достаточной плотности и таких аутогезионных взаимодействий частиц, которые способствуют эффективной фильтрации и регенерации. Давление сжатого воздуха на регенерацию составляет 0.5–0.6 МПа. Однако такие режимы работы ткани приводят к нарушению ее прочности. Нагрузка на фильтрующую поверхность по очищаемым газам в зависимости от типа материала перегородки ее структуры, физико-химических свойств пыли, термодинамических свойств несущей среды находится в широких пределах 3.6–360 м³/м²ч (1–100 мм/с).

Список литературы:

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
2. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Логинов В.С., Разва А.С., Некрасова К.В., Литвинов А.М., Глушко А.Ф., Кузнецов В.А. Устойчивость обеспыливания воздуха инерционными аппаратами в аспирационных сетях конвейерных систем. // Цемент и его применение. – 2009. – №1. – С. 17–19.
3. Шваб В.А. Аэромеханические методы в технологии производства порошковой продукции. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. – 161 с.

4. Малевич И.П., Серяков В.С., Мишин А.В. Транспортировка и складирование порошкообразных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.
5. Руководящие технические материалы. Пневмотранспорт сыпучих материалов (гранулированных и порошкообразных) взвесью, с поршневой структурой и сплошным потоком материала / От ОНПО «Пластполимер»: Свищев Б.Г., Кочетков Н.А., Гордеев В.К. и др. От НИИ ПММ: Егоров В.М., Смоловик В.А., Романдин В.И., Воронин В.Н., Квеско Б.Б., Василевский М.В. и др. //МХП СССР. Томск: из-во Томск. ун-та, 1987.–188 с.
6. Романдин В.И. Технологический пневмотранспорт токсичных и экологически опасных сыпучих материалов. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Фторидные технологии». Изд. ТПУ, г. Томск, 2009 г.– С.19.
7. Романдин В.И. К вопросу об анализе эффективных напряжений в слое сыпучего материала при напорном и вакуумном пневмотранспорте. Доклады VI Всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики», г. Томск, 2008 г.– С.387–389.
8. Смоловик В.А., Романдин В.И. Развитие работ по пневматическому транспорту сыпучих материалов, проводимых в НИИ ПММ ТГУ. Доклады VI Всероссийской конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики», г. Томск, 2008 г.– С. 393–394.
9. Фильтры для улавливания промышленных пылей /М.Г. Мазус, А.Д. Мальгин, М.Л. Моргулис.– М.: Машиностроение. 1985.– 240 с.

Эффективность обеспыливания воздуха в противоточном концентраторе

А.С. Разва, Е.Г. Зыков, М.В. Василевский*

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**ООО «Томскгазоочистка», г. Томск, Россия*

vasmix40@mail.ru

Проведен расчет процесса сепарации частиц в противоточном концентраторе. Проведено сопоставление процессов сепарации в прямоточном и противоточном концентраторах. Оказалось, что эффективность концентрирования частиц в противоточном концентраторе больше.

Для оценки эффективности обеспыливания воздуха в противоточном концентраторе [1] проведем расчет процесса сепарации частиц размером 5 и 10 мкм.

Основная часть потока движется с уменьшающейся концентрацией частиц к центральному патрубку с радиусом R_1 , а высококонцентрированная смесь газа с частицами движется по периферии конического сепаратора и в области от R_B до R_2 и выводится из концентратора с последующим окончательным осаждением частиц в дополнительном пылеотделителе. Т.е. процессы сепарации и отвода пыли в противоточном пылеконцентраторе конструктивно разделены. При этом малая часть потока транспортирует частицы в дополнительный пылеотделитель, а большая часть потока разворачивается в сторону центрального газоотводного патрубка. В области ограниченной конической поверхностью, показанной пунктиром, движение газа осуществляется в сторону выходной трубы. В периферийной области газ движется в сторону вывода пыли. Между этими областями газ перетекает в радиальном направлении от периферии к оси. (рис. 1).

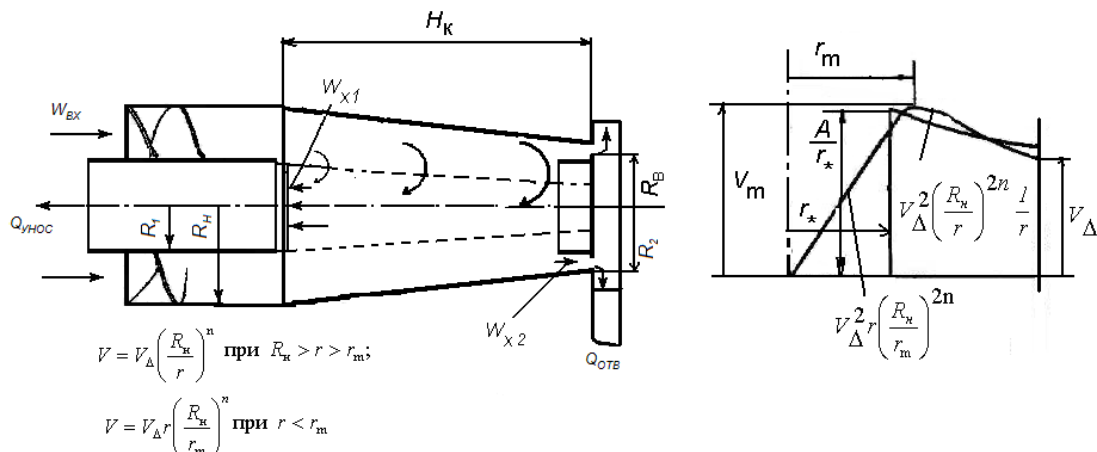


Рис. 1 Схема потоков, распределения центробежных ускорений, и аппроксимаций области центробежных ускорений

Величина A/r_* (максимальное значение функции аппроксимации распределения центробежного ускорения) находится из соотношения

$$\int_{r_*}^1 \frac{A}{r} \cdot dr = \int_0^1 \frac{V^2}{r} r dr \Rightarrow B = \frac{\int_0^1 V^2 \cdot dr}{1-r_*}; \quad \text{величина } r_* \text{ выбирается из условия } \int_0^{r_*} V^2 dr = \int_{r_*}^1 V^2 dr.$$

Для сечения 2 : $r_{*2} = r_* \cdot \frac{R_2}{R_H}$; $r_{m2} = r_{m1} \cdot \frac{R_2}{R_H}$. Тогда

$$A_1 = \left(\frac{V_{\Delta 1}}{W_{\Pi}} \right)^2 \frac{3 - 2r_m^{1-2n}(n+1)}{3(1-2n)(1-r_*)}, \quad A_2 = \left(\frac{V_{\Delta 1}}{W_{\Pi}} \right)^2 \left(\frac{R_H}{R_2} \right)^{2n} \frac{3 - 2r_m^{1-2n}(n+1)}{3(1-2n)(1-r_*)}, \quad e = \frac{Q_{\text{вх}} - Q_{\text{отв}}}{2\pi H_K(n+1)}.$$

Распределение концентрации частиц C_2 в области $R > R_*$ течения в сечении стыка будет соответствовать уравнению [2]

$$C = C_{*1} \left(\frac{R}{R_{*1}} \right)^{2n}, \quad (1)$$

где R - текущее значение радиальной координаты, а $2n$ - показатель степени уравнения. $2n = f(Stk, W_{\Pi} R_H / e)$ представляет собой функцию, изменяющуюся от скорости частиц относительно газа (определяется параметром Stk) и отношения скорости газа к скорости рассеяния частиц. Здесь W_{Π} - среднерасходная скорость в сечении циклона, ε - коэффициент турбулентного перемешивания.

Аналогично в сечении вывода пыли

$$C = C_{*2} \quad \text{при } R < R_*; \quad C = C_{*2} \left(\frac{R}{R_{*2}} \right)^{2n_2} \quad \text{при } R > R_{*2}.$$

Процессы сепарации частиц в прямоточном пылеконцентраторе будут определяться скоростью в центральном потоке газа W_{x1} и скоростью в периферийном потоке газа W_{x2} , который в свою очередь будет зависеть от количества газов, отводимых из циклона в дополнительный пылеотделитель $Q_{\text{отв}}$. Для предложенной модели течения запишем уравнение неразрывности расхода пыли:

$$W_{x1} \left(2p \int_0^{R_{*1}} CR dR + 2p \int_{R_{*1}}^{R_1} CR dR \right) + W_{x2} \cdot 2p \int_{R_B}^{R_2} CR dR = W_{\Pi} R_H^2 C_{\text{вх}}. \quad (2)$$

Здесь W_{Π}, W_{x1}, W_{x2} - среднерасходная скорость, скорость потока в области $[0, R_1]$, скорость потока в области $[R_B, R_2]$; $C_{\text{вх}}, C_1, C_2$ - концентрация частиц во входном сечении циклона, концентрации частиц в области $[0, R_*]$, $[R_*, R_H]$.

Разделим обе части уравнения (2) на $W_{\Pi} R_H^2 C_{\text{вх}}$.

$$\overline{W_{x1}} \left(2 \int_0^{\overline{R_{*1}}} \overline{C_1} R d\overline{R} + 2 \int_{\overline{R_{*1}}}^{\overline{R_1}} \overline{C_2} R d\overline{R} \right) + \overline{W_{x2}} \cdot 2 \int_{\overline{R_B}}^{\overline{R_2}} \overline{C_2} R d\overline{R} = 1, \quad (3)$$

$$\text{где } \overline{W_{x1}} = \frac{W_{x1}}{W_{\Pi}}, \quad \overline{W_{x2}} = \frac{W_{x2}}{W_{\Pi}}, \quad \overline{C_1} = \frac{C_1}{C_{\text{вх}}}, \quad \overline{C_2} = \frac{C_2}{C_{\text{вх}}}, \quad \overline{R_*} = \frac{R_*}{R_H}, \quad \overline{R} = \frac{R}{R_H}, \quad \overline{R_1} = \frac{R_1}{R_H}, \quad \overline{R_2} = \frac{R_2}{R_H}.$$

Подставим уравнения (1) и (2) в (3). Проинтегрируем и запишем получившееся выражение, опустив знак обезразмеривания:

$$\overline{W_{x1}} \left[C_{*1} \overline{R_{*1}}^2 + \frac{C_{*1}}{\overline{R_{*1}}^{2n_1}(n_1+1)} \left[\overline{R_1}^{2n_1+2} - \overline{R_{*1}}^{2n_1+2} \right] \right] + \overline{W_{x2}} \frac{C_{*2}}{\overline{R_{*2}}^{2n_2}(n_2+1)} \left[\overline{R_2}^{2n_2+2} - \overline{R_B}^{2n_2+2} \right] = 1. \quad (4)$$

Полученное выражение представляет собой сумму масс частиц, уносимых и отводимых из циклона $G_{\text{унос}} + G_{\text{отв}} = G_{\text{вх}}$.

Расчёт эффективности сепарирования частиц размером 5 и 10 мкм :

Эффективность по уносу частиц

$$\eta_d = 1 - \frac{0}{C_{\text{вх}} Q_{\text{вх}}} (1-K) = 1 - C_1^+ (1-K); \quad C_1^+ = \frac{2}{r_1^2} \int_0^{r_1} C r dr; \quad r_1 = \frac{R_1}{R_H}.$$

Эффективность по отведённой пыли

$$\eta_{\delta} = \frac{K}{K} \frac{W_2}{R_B} \frac{2\pi \int_{R_B}^{R_2} CRdR}{C_{\text{вх}} Q_{\text{вх}}} = KC_2^-; C_2^- = \frac{2}{R_2^2 - R_B^2} \int_{R_B}^{R_2} crdr; C_1^+ = C_{*1} \left[\frac{r_1^2}{2} + \frac{r_1^{2n_1+2} - r_{*1}^{2n_1+2}}{r_{*1}^{2n_1}(2v_2+2)} \right] \frac{2}{r_1^2} = C_{*1} \frac{2}{r_1^2} [1^+];$$

$$C_2^- = \frac{2C_{*2}}{r_2^2 - r_B^2} \left[\frac{r_2^{2n_2+2} - r_B^{2n_2+2}}{r_{*2}^{2n_2}(2v_2+2)} \right] = \frac{2C_{*2}}{r_2^2 - r_1^2} [2^-].$$

После преобразования приведённых соотношений получим фракционную эффективность

$$\eta_{\delta} = \frac{r_1^2 K [2^-]}{[1^+](r_2^2 - r_B^2)(1-K) + r_1^2 K [2^-]}, A = \left(\frac{V_{\Delta}}{W_{\Pi}} \right)^2 \frac{2r_m^{-2n+1}(1+n)-3}{(6n-3)(1-r_*)}.$$

Пусть $a=0,2$ м, $b=1$ м, $R_H=0,5$ м, $Q=4$ м³/с, $H_K=1,5$ м, a, b – размеры входа в вихревую камеру.

$$\frac{V_{\Delta}}{W_{\Pi}} = \frac{\pi R_H^2 R_{\text{вх}}}{ab R_H} = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{0,2 \cdot 1} \cdot \frac{0,5+0,2}{0,5} = 5,49; r_* = 0,8R_m; R_m = 0,7R_1; R_1 = 0,6R_H; n = 0,4.$$

$$A_1 = 5 \cdot 49^2 \frac{2(0,7 \cdot 0,6)^{-2n+1}(1+n)-3}{(6 \cdot 0,4-3)(1-0,336)} = 49, A_2 = A_1 \left(\frac{R_H}{R_2} \right)^2 = 49 \cdot \left(\frac{1}{0,6} \right)^2 = 136.$$

Параметр сепарации

$$\alpha = \frac{Stk \cdot W_{\Pi} R_H}{\varepsilon}, \tau = \frac{\rho_{\delta}}{\rho} \frac{\delta^2 10^{-12}}{18v} = \frac{3000}{1,2} \frac{\delta^2 \cdot 10^{-12}}{18 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}} = 0,92 \cdot 10^{-5} \delta^2 (c), Stk = \frac{\tau W_{\Pi}}{R_H};$$

Среднерасходная скорость $W_{\Pi} = \frac{Q}{\pi R_H^2} = \frac{4}{\pi \cdot 0,5^2} = 5,1 (м/с).$

Коэффициент турбулентного перемешивания

$$\varepsilon = \frac{Q}{2\pi H_K(n+1)} = \frac{4}{4\pi \cdot 1,5 \cdot (0,4+1)} = 0,3 (м^2/с), \alpha = \frac{\tau W_{\Pi}}{R_H} \cdot \frac{W_{\Pi} R_H}{\varepsilon} = \frac{0,92 \cdot 10^{-5} \cdot \delta^2 \cdot 4^2 \cdot 0,5}{0,5 \cdot 0,3} = 4,9 \cdot 10^{-4} \delta^2,$$

где δ подставляется в мкм. Обобщённый параметр сепарации

$$2v_1 = A_1 \alpha = 49 \cdot 4,9 \cdot 10^{-4} = 0,024 \cdot \delta^2, 2v_2 = A_2 \alpha = 136 \cdot 4,9 \cdot 10^{-4} = 0,066 \cdot \delta^2,$$

где δ подставляется в мкм.

$$[2^-] = \frac{r_2^{2n_2+2} - r_B^{2n_2+2}}{r_{*2}^{2n_2}(2v_2+2)} = \frac{0,6^{2n_2+2} - 0,56^{2n_2+2}}{0,22^{2n_2}(2v_2+2)}, [1^+] = \frac{r_1^2}{2} + \frac{r_1^{2n_1+2} - r_{*1}^{2n_1+2}}{r_{*1}^{2n_1}(2v_2+2)} = \frac{0,366^2}{2} + \frac{0,6^{2n_1+2} - 0,366^{2n_1+2}}{0,366^{2n_1}(2v_2+2)},$$

$$R_B = \sqrt{R_2^2 - \frac{QK}{\pi W_2}} = \sqrt{(0,6 \cdot 0,5)^2 - \frac{4 \cdot 0,15}{\pi \cdot 16}} = 0,28 (м).$$

Проведём расчёт фракционной эффективности:

$$\eta_{\delta} = \frac{r_1^2 K [2^-]}{[1^+](r_2^2 - r_B^2)(1-K) + r_1^2 K [2^-]} = \frac{0,054 \cdot [2^-]}{[1^+] \cdot 0,04 \cdot 0,85 + 0,054 \cdot [2^-]}.$$

Таблица 1. Фракционная эффективность для противоточного (ЦК) и прямоточного (ПЦК) концентраторов

δ , (мкм)	$\eta_{\text{ЦК}}$, %	$\eta_{\text{ПЦК}}$, %
1	17,8	10
5	44,8	19
10	92,2	72,6
15	99,9	99,3

Список литературы:

1. Василевский М.В., Зыков Е.Г., Логинов В.С., Разва А.С., Некрасова К.В., Литвинов А.М., Глушко А.Ф., Кузнецов В.А. Устойчивость обеспыливания воздуха инерционными аппаратами в аспирационных сетях конвейерных систем. // Цемент и его применение. – 2009. – №1. – С. 17–19.
2. Василевский М.В., Зыков Е.Г. Расчет эффективности очистки газа в инерционных аппаратах: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 88 с.

Гуманистические аспекты в изучении основ экологии*О.В. Ротарь, Д.В. Искрижицкая, А.В. Лымарева**Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*rotarov@tpu.ru

Показана возможность использования интерактивных методов в изучении основ экологии, способствующих формированию экологической культуры, мировоззрения и этики.

Сегодня экология и как наука, и как предмет приобретает все большую актуальность: значительно расширяется охватываемый ею круг вопросов, укрепляется сознание того, что для сохранения общества требуется не только «охрана» окружающей среды, но и ее познание и изучение.

Общие экологические вопросы становятся социальными проблемами. Как об этом доходчиво рассказать студентам, увлечь их, заставить почувствовать ответственность перед природой и обществом? Для этого предлагается использовать информацию, заключенную в русском народном творчестве, литературе, публицистике. Современное экологическое образование должно способствовать формированию духовно-нравственной, экологически грамотной личности.

Гуманитаризация университетского технического образования приобретает смысл комплексной задачи реформирования обучения, заключающегося в духовном и культурном развитии будущего специалиста посредством новых обучающих методик [1]. Гуманитарные знания способствуют формированию гармонично развитой личности, которая может оценить реально существующий мир в ценностно-смысловом аспекте. Гуманитаризация образования состоит в выработке у студентов гуманистического сознания, мировоззрения, т.к. по словам Д. Лихачева «Будущий век должен стать веком гуманитарного мышления или его не будет совсем». Поэтому в учебно-воспитательный процесс необходимо вводить разнообразные средства (приемы, методики, проекты), формирующие у студентов гуманитарное мышление, применительно к экологии - экологическое мировоззрение, культуру и этику.

Экологическое образование – особая, быстро развивающаяся система специальных знаний, активно использующая достижения педагогики, психологии и социологии, так называемая гуманистическая модель образования (ГМО). Новая образовательная парадигма экологического образования утверждает принцип гуманизма - признание приоритета природных факторов человеческого бытия.

Современного студента надо научить чувствовать, мыслить, входить в контакт и взаимодействие, уметь добывать, усваивать и использовать полученную информацию.

Для активизации познавательной деятельности студентов и эффективности преподавания основ экологии необходимо знать уровень развития познавательных процессов (восприятие, внимание, мотивация, достижения). Элементом ГМО являются «субъект – субъективные» отношения, при которых складывается целостный учебный и воспитательный процесс. Авторы согласны с В.А. Сухомлинским, что воспитание заключается в оттачивании у человека способности «быть воспитанным».

Для достижения результатов нами используется интерактивный метод, основанный на свободе учащегося в решении образовательной задачи, на обратной связи в системе «преподаватель - студент», на непрерывном общении преподавателя со студентами, слежения за реакцией обучаемого.

Хорошим помощником преподавателю являются изречения народной и «книжной» мудрости. При изучении основ экологии студентам предлагается проанализировать устное народное творчество, произведения А. Солженицына «Матренин двор», В. Астафьева «Царь-рыба» и др. Пословицы и поговорки имеют не только познавательное, но и воспитательное значение. В них собран воедино многовековой опыт, думы народа о различных природных явлениях. Каждое поколение приобретало опыт и знания в труде, в наблюдениях за погодой и окружающим миром. Спектр экологических проблем достаточно широк. Формирование природоохранных навыков является одной из основных задач экологического воспитания. Все выражения разбили на две большие группы:

1. охрана природных богатств;
2. природные явления, взаимосвязи в природе.

Выражения используются нами для иллюстрации отдельных положений изучаемого материала, а также в качестве тезисов, ответов в тестах. Вот пример анализа поговорки, данный студентом.

«Береги землю родимую, как мать любимую».

С одной стороны поговорку можно рассматривать как наказ, имеющий воспитательное значение, что нужно любить и защищать свою родину. Но поговорка имеет и экологическое значение: необходимо беречь землю-матушку, которая дает нам пищу, полезные ископаемые и каждому человеку нужно заботиться о Земле, делать ее плодородной и чистой.

Девизом экологического образования стала известная фраза французского философа Рене Дюбо: «Мыслить глобально - действовать локально». Ведь в этой фразе емко сформулирован основной принцип, определяющий стратегию и тактику экологического образования. Чтобы действовать, надо

знать как. Ответственные социально-экологические действия возможны на основе понимания процессов, происходящих в окружающую среду.

Студенты делают выводы, что пословица или поговорка не будет говорить о чем-то конкретно, а будет лишь намекать на что-то. Имея базовые химические знания студент может здраво оценить экологическую ситуацию и найти выход из нее. Только химик [2] может написать такие строчки в ответе на вопрос: загрязнение атмосферы и его последствия.

Вдох-выдох – CO₂, SO₂,

Вдох – выдох - уже кружится голова,

Вдох – выдох - и рвется сердце из груди,

Но валит дым из заводской трубы.

Вдох – выдох – так больше жить нельзя.

Вдох – выдох – аллергия, астма распространяются неспроста.

Вдох – выдох – что дальше делать? - Задумайся!

Чем дышишь ты, чем дышит Земля.

При разборе темы «Гидросфера как сфера жизни» был получен следующий ответ:

Вода – источник жизни. Вода – источник сил.

Но в современном мире человек об этом позабыл.

Безжалостно мы губим воду на Земле,

Бутылки, тряпки, банки лежат в воде на дне.

Ученые и люди! Ведь нам же надо жить

Придумайте же способ, как воду сохранить.

Она нужна природе, лесам, полям, горам.

Закройте же заводы и уберите хлам.

Оставить нужно воду потомкам на Земле.

Так сбережем природу и мир на всей Земле.

Во всех этих ответах присутствует принцип оптимизма, который означает привнесение в жизнь гармонии через радость, творческую реализацию человеком самого себя, понимание двойственности мира, сущности добра и зла и того, что зло конечно. В экологическом образовании принцип оптимизма проявляется через приоритет позитивных идей, фактов и действий в области решения проблем окружающей среды, а также осознание каждой личностью необходимости реальной возможности активного участия в сохранении естественного природного окружения.

Студенты не только анализируют устное народное творчество, они сами пишут сказки, рецензии на литературные произведения, рисуют картины. Внимание заслуживает рецензия на сказку К.И. Чуковского «Путаница», полученная на вопрос: Дайте понятие экологической ниши. Трактровка этого произведения автором скорее всего отличается от приведенного ниже. Студент делает следующие выводы: у каждого живого существа есть определенное место (его профессия и место обитания) и поэтому, если нарушить гармонию, заложенную самой природой, то произойдет экологический кризис (локальный), что может привести к серьезным последствиям. Фраза «а лисички взяли спички, к морю синему пошли, море синее зажгли: истолковывается как загрязнение Мирового океана нефтяными выбросами, которое наносит непоправимый ущерб всему живому. Гармония в природе, ее первоначальная чистота не должна быть нарушена вмешательством человека. Каждому надо задуматься о том, в каком качестве, мы люди, пришли в этот мир: в качестве хозяев, собственников или все же в качестве гостей, бережно относящихся к хозяйке – природе.

Отношение человека к природе лирично выражено в следующем ответе [3].

Я видела как падали сосны под натиском бензопилы.

С минуту прощаясь с сестрами, на землю валились они.

Не ведая в чем виноваты, без стопа и суеты

Они прощались с жизнью, от них оставались лишь пни.

На доски, дрова их распилят или повяжут в плоты.

И кто же в полене узнает расцвет их былой красоты.

Напрасно думать, что все эти творческие работы являлись только плодом досуга. Внимание студентов акцентируется на современных проблемах во взаимоотношении человеческого общества и природы, путях их успешного преодоления.

Эффективность использования подобного материала многократно подтверждена практикой. И если каждый преподаватель по крупицам будет сеять зерна мудрости в душе учащихся, то значительно меньше останется на Земле зла и черствости.

Список литературы:

1. Ротарь О.В., Величко А.В., Митин О.В. Экологическое образование как форма гармонизации отношений «человек – окружающая среда» // Сб. научн. трудов «Модернизация российского образования». – СПб.: ГНУ ИОВ РАО, 2005. -Ч.1. - С. 54-57.

2. Материалы контрольной точки Якименко А. ст. гр. 5А86 «Дыхание».
3. Материалы контрольной точки Быкова М. ст. гр. 5А81 «Сосны».

Анализ отходов I-III классов опасности, образующихся в вузах, на примере ГОУ ВПО НИ ТПУ

Ю.М. Федорчук, В.Н. Извеков, О.Н. Русниа

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

olgarusina@rambler.ru

Проведен анализ хозяйственной и научно-образовательной деятельности университета, в результате которой образуются отходы I-III классов опасности. Рассмотрены наиболее известные проблемы и решения по утилизации отходов, образующихся в ТПУ.

Еще недавно был незыблем постулат о том, что рыночная экономика базируется только на материальных интересах ее участников. Однако в современных условиях обострения экологических проблем рынок побуждает к рациональному хозяйствованию и совмещению бизнеса с решением экологических проблем.

Различные организации стали заинтересованными в том, чтобы добиваться экологической эффективности и демонстрировать ее, контролируя воздействие своей деятельности, продукции или услуг на окружающую среду с учетом экологической политики и целевых экологических показателей. Они делают это в условиях все большего ужесточения законодательства, развития экологической политики и других мер, направленных на охрану окружающей среды, а также в условиях роста озабоченности заинтересованных сторон вопросами охраны окружающей среды, включая устойчивое развитие.

В настоящее время особое и преимущественное внимание уделяется крупным промышленным предприятиям: их возможному негативному влиянию на окружающую среду. Безусловно, деятельность крупных загрязнителей необходимо постоянно контролировать. Но не нужно забывать и о других предприятиях, организациях, функционирование которых также вносит свою лепту в общий фон загрязнений окружающей среды.

В связи с вышесказанным, интересуется исследованием всех аспектов учебной, научно-исследовательской и хозяйственной деятельности вузов

К таким вузам относится и крупнейший в России вуз – Государственное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

В университете 31 источник выбросов (из них 6 неорганизованных). В результате деятельности образуется более 50 наименований отходов согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, среди которых 11 отходов I-III классов опасности, в том числе, отходы, содержащие ртуть: ртутные люминесцентные лампы, ртутные термометры, приборы, содержащие ртуть.

В университете нет организованного сброса промышленных сточных вод, выбросы вредных веществ в атмосферу невелики.

Особый интерес представляют отходы I-III классов опасности, возможные пути их дальнейшего рационального использования, способы обезвреживания с минимальным негативным влиянием на окружающую среду.

Большую долю в образовавшихся твердых бытовых отходах составляет макулатура, в основном это картонная, упаковочная бумага, отходы печатной продукции типографии, отходы бумаги от работы офисных помещений университета и списанные печатные издания библиотеки ТПУ.

Нужно отметить, что макулатура — один из самых выгодных для переработки видов вторсырья. Старой бумаге в мире находят удивительно много способов применения. С точки зрения переработчиков, макулатура — основной конкурент древесного сырья, но гораздо более дешевый.

Отходы бумаги и картона – макулатура, являются традиционным вторичным сырьем, которое используется в производстве бумаги и картона. Объем использования макулатуры в традиционных видах картонно-бумажной продукции определяется уровнем цен на первичное сырье - целлюлозу и древесную массу, и уровнем спроса на указанную продукцию.

Кроме этого макулатура может быть использована как вторсырье малыми предприятиями для производства теплоизоляционных материалов, бугорчатых прокладок, туалетной бумаги, материалов строительного назначения [1].

Для освещения помещений в университете в большинстве случаев используются ртутные люминесцентные лампы. В год требуется утилизировать около 5000 штук ламп.

Отработанные ртутные лампы отнесены к I-му классу опасности для окружающей среды и подлежат обязательному обезвреживанию. Однако сейчас в России обезвреживается их не более 40%,

что обусловлено отсутствием во многих регионах селективной системы сбора этих отходов и перерабатывающих предприятий.

Представляется, что важнейшими задачами в сфере обращения с отработанными ртутными лампами является вовлечение во вторичный оборот так называемого стеклобоя и цветных металлов, получаемых при переработке ртутных ламп [2].

Федеральный классификационный каталог отходов утвержденный приказом МПР России от 02.12.2002 года (с дополнениями, утв. Приказом МПР России от 30.07.2003 года №663) - это перечень образующихся в Российской Федерации отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков: происхождению, агрегатному и физическому состоянию, опасным свойствам, степени вредного воздействия на окружающую природную среду.

В вузе каждый год списывается большое количество оргтехники.

Среди проблем использования техногенных отходов важное место занимает утилизация кинескопов телевизоров и мониторов персональных компьютеров. Так в настоящее время в странах Европы, Японии и США скопилось более сотни миллионов подлежащих утилизации кинескопов и мониторов, из которых непосредственно утилизируется не более 8-10%. В ближайшие годы в России проблема утилизации кинескопного стекла также станет актуальной[3].

В результате деятельности транспортного отдела, являющегося одним из хозяйственных подразделений ТПУ, образуются отходы, обращение с которыми также необходимо контролировать.

Так использованные автомобильные покрышки подходят в качестве альтернативного вида топлива [4].

Преимущества использования таких автопокрышек перед применением традиционных видов топлива очевидны: топливо из покрышек имеет высокую теплотворную способность, сравнимую с углем или мазутом. В то же время дополнительным преимуществом для предприятий цементной промышленности является использование отходов металлических каркасов покрышек в качестве минеральных добавок в конечный продукт, что избавляет от необходимости введения металлосодержащих компонентов. Другие исследования, в том числе проведенные Федеральным агентством по окружающей среде, показывают, что применение альтернативных видов топлива является положительным фактором с точки зрения охраны окружающей среды.

В настоящее время проверено использование суспензии, растворенной (деструктурированной) резины (СРР), являющейся основным товаром при переработке резиносодержащих отходов.

СРР, не имеющий аналогов, используется в следующих областях:

1. В качестве модификатора вяжущего для приготовления асфальтобетонных смесей. Применение такого вяжущего улучшает качество асфальтобетонного дорожного покрытия и увеличивает срок его службы.

2. В качестве компонента гидроизоляционных и антикоррозионных мастик. Мастики, получаемые с использованием СРР, не уступают или превосходят по качеству выпускаемые в настоящее время мастики и имеют более низкую себестоимость.

3. В качестве высокотемпературной смазки, заменяя дорогие и менее качественные материалы.

Предварительные результаты проведенных исследований говорят о возможности значительно более широкого использования этого продукта вплоть до возврата в резину [5].

Серьезную проблему в университете составляют химические отходы, образуемые в результате научной и исследовательской деятельности, проводимой в химических лабораториях. Перечень химических соединений, присутствующих в этих отходах разнообразен. В химических сливах присутствуют вещества органической и неорганической химии. Особую сложность для утилизации представляют жидкие химические сливы, особенно галогенсодержащие.

В целом по России сложилась такая ситуация, что экологические требования, предъявляемые государством и обществом к существующим или вновь строящимся опасным химическим производствам, существенным образом регламентировали и сократили выбросы в окружающую среду вредных и потенциально опасных химических веществ – ПОХВ. Однако, при широком использовании таких веществ в промышленности, научных исследованиях, здравоохранении, учебном процессе, сельском хозяйстве, быту и т.д. вопрос их комплексной утилизации (переработки, хранения, транспортировки, уничтожения) до настоящего времени не рассматривался практически ни одним законодательным актом.

Водорастворимые химические вещества, особенно реактивы, как правило, сбрасываются в канализацию. Горючие – скрытно накапливаются на предприятиях, сливаются в почву, сжигаются по различным экологически не безопасным технологиям на сторонних производствах, утилизирующих свои специализированные отходы. Полимерные материалы, в том числе содержащие хлор, повсеместно сжигаются вместе с другими промышленными, а также бытовыми отходами, что крайне не рентабельно и экологически опасно. Не поддается учёту количество опасных химических веществ, попадающих в

окружающую среду путём их растворения атмосферными осадками с химически пассивированных или окрашенных поверхностей.

Статистические данные достаточно точно и полно определяющие объёмы и характер производства, потребления, закупки, утилизации, уничтожения или выбросов всех ПОХВ в окружающую среду - отсутствуют. Известно только («Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности России до 2015 года»), что по валовым выбросам вредных веществ в атмосферу химический комплекс занимает 10 место среди всех отраслей промышленности (около 428 тыс. тонн), по сбросам сточных вод в природные поверхностные водоёмы – второе место (после электроэнергетики) – более 1 млрд. куб.м. Известно также, что ежегодно на предприятиях образуется около 15 млн. тонн токсических химических соединений (без учёта V класса), из которых обезвреживается только порядка 20% веществ.

Высокая стоимость утилизации, превышающая среднюю стоимость аналогичной единицы химического вещества, вынуждает руководителей потребляющих предприятий скрывать свои отходы, делает процесс утилизации крайне нерентабельным. Последнее усугубляется неоправданно жёсткими и крайне несовершенными требованиями контрольных органов.

В настоящее время действует система классификации отходов, основанных на их систематизации по принадлежности к классам химических соединений, в то время, как большинство отходов имеют смешанный (как правило, неизвестный) состав, что непредсказуемо увеличивает степень опасности переработки, а также увеличивает стоимость их утилизации.

Если бытовые отходы, а также отчасти – медицинские, химико-фармацевтические, специализированные химические (шины, аккумуляторы, ртутные лампы, масла и нефтепродукты, воды и шламы гальванических производств), в определённой степени подвержены урегулированной утилизации, то огромная номенклатура ПОХВ, насчитывающая сотни и тысячи наименований, принадлежащих к различным классам химических соединений и химической опасности, практически не утилизируется, не имеет нормативно-законодательной базы и достаточно безопасной практики работ по их хранению, переработке, транспортировке и ликвидации, а также выделенных территорий, необходимых технических средств и технологий. Крайне большой ассортимент ПОХВ не позволяет одному или даже нескольким предприятиям определить единую эффективную технологию по утилизации и ликвидации. Кроме пожаро-, взрыво- и химической опасности, ПОХВ при их нерегламентированном учёте и хранении, могут быть использованы для нелегального производства зажигательных средств, отравляющих, взрывчатых и наркотических веществ.

На сегодняшний день важной задачей является оценка токсичности веществ. Изучению подлежат не только токсичность и воздействие вещества на кожу, слизистые оболочки, но и мутагенность, влияние на потомство, эндокринные железы, ферментные системы и метаболические процессы. Но для определения их реальной опасности нужны огромные средства и современное лабораторное оборудование, так как изучение биологической активности, и в частности токсичности химических веществ для человека и животных, – длительный и дорогостоящий процесс. Однако однозначных методик для определения оценки токсичности и степени воздействия вредных веществ на окружающую среду практически нет. Для России этот вопрос остается достаточно сложным, так как ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация токсичности и опасности химических веществ» устарел. Тем не менее работы по определению круга стойких токсичных загрязняющих веществ и критериев их оценки проводятся. Что касается промышленных веществ, то объем предоставленной информации часто определяется производителем и, как правило, является минимальным [6].

Существует много способов утилизации отходов, но все они требуют доработки применительно к конкретному предприятию. Часто, основной недостаток всех способов утилизации – образование других отходов, которые еще сложнее утилизировать.

К примеру, основные способы утилизации одного из самых распространенных побочных продуктов химических производств: хлорорганические отходы, образующегося и в лабораториях ТПУ, на сегодняшний день следующие:

- термическое сжигание галогенорганических отходов, основные недостатки – образование таких высокотоксичных продуктов, как хлор, оксиды азота, фосген и диоксины, большой расход топлива, а следовательно потеря углеводородного сырья, выделение в окружающую среду диоксида углерода и быстрый износ оборудования;

- обезвреживание в разбавленных газах, имеет те же недостатки, что и термическое сжигание;

- каталитическое сжигание, основные недостатки – необратимая потеря сырья;

- каталитическое окисление – один из перспективных способов переработки отходов хлоруглеводородов, но он дорогостоящий, так как требует дорогостоящего оборудования и сырья, строгой выдержки соотношения водорода и хлора.

Перспективным являются гидрирование и гидрогенолиз (гидродегалогенирование), но на практике они не опробованы.

В связи с вышеизложенным, можно утверждать, что задача обеспечения химической безопасности, требующая внедрения новых, интенсивных подходов в организации охраны среды, регулирования техногенного воздействия, усовершенствованием технологий с целью уменьшения образования отходов и снижения токсичности, стоит сегодня остро. Поэтому новый подход к утилизации образующихся отходов должен базироваться на стремлении к уменьшению числа полигонов по захоронению токсичных веществ на территории России [6, 7].

Список литературы:

1. Дулькин, Л.А. Южанинова, В.Г. Миронова, В.А. Спиридонов // Лесн. журн. – 2005. – № 1-2. – С. 104–122. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Е.П. Янин, Ртутные лампы : опасность для окружающей среды // Экология производства. 2010. № 2. С. 53–55.
3. Лавданский П.А., Енговатов И.А., Румянцев Б.М., Стеклобетоны специального назначения на основе боя кинескопного стекла // Строительство 2005 №6
4. Аннализа Сабалелли, Альтернативное топливо – старые шины // Рециклинг отходов. 2007. № 3.
5. Утилизация шин методом термодеструкции// Аналитический портал химической промышленности <http://www.newchemistry.ru>
6. Курляндский Б.А., Проблемы экотоксикологии // Российский химический журнал, 2004 №2
7. Т.Я. Демина, Л.Р. Шаяхметова, Проблем утилизации отходов химических производств // Экология и промышленность России, 2008, №3

Разработка композитного хингидронного датчика на основе полимерной матрицы для измерения рН природных вод

С.В. Романенко, Т.А. Раденков

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

drovosek@tpu.ru

рН-метрия является на данный момент неотъемлемой частью научной деятельности в самых различных сферах. рН-метрия широко применяется в научно-исследовательской практике химиков, микробиологов, почвоведов и агрохимиков в различных лабораториях как стационарных, так и передвижных, в том числе полевых. Измерение рН используется во многих производствах, где необходим контроль среды, так как во многих случаях рН является универсальным показателем состояния среды.

Электрохимические методы анализа (электроанализ), в основе которых лежат электрохимические процессы, занимают достойное место среди методов контроля состояния окружающей среды, так как способны обеспечить определение огромного числа как неорганических, так и органических экологических опасных веществ. Для них характерны высокая чувствительность и селективность, быстрая отклика на изменение состава анализируемого объекта, легкость автоматизации и возможность дистанционного управления. И наконец, они не требуют дорогостоящего аналитического оборудования и могут применяться в лабораторных, производственных и полевых условиях. Непосредственное отношение к рассматриваемой проблеме имеет потенциометрия.

Потенциометрические методы анализа известны с конца прошлого века, когда Нернст вывел (1889) известное уравнение, а Беренд сообщил (1883) о первом потенциометрическом титровании.

Потенциал электрода E связан с активностью и концентрацией веществ, участвующих в электродном процессе, уравнением Нернста:

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{ox}}}{a_{\text{red}}} = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{ox}] \gamma_{\text{ox}}}{[\text{red}] \gamma_{\text{red}}}$$

Где: E° — стандартный потенциал редокс-системы; R — универсальная газовая постоянная, равная 8,312 Дж/(моль К); T — абсолютная температура, К; F — постоянная Фарадея, равная 96485 Кл/моль; n — число электронов, принимающих участие в электродной реакции; a_{ox} , a_{red} — активности соответственно окисленной и восстановленной форм редокс-системы; $[\text{ox}]$, $[\text{red}]$ — их молярные концентрации; γ_{ox} , γ_{red} — коэффициенты активности.

Интенсивное развитие потенциометрии в последние годы связано, главным образом, с появлением разнообразных типов ионоселективных электродов, позволяющих проводить прямые определения концентрации многих ионов в растворе, и успехами в конструировании и массовом выпуске приборов для потенциометрических измерений.

В настоящее время существует достаточно оборудования для рН-метрии. Функциональность этого оборудования также не вызывает претензий.

Но существует проблема, заключающаяся в датчиках рН (электродах).

Оптимальный подбор электродов для выполнения конкретной задачи достаточно сложная проблема. Необходимо учесть множество факторов, таких как:

1. Параметры анализируемой среды.

Диапазон концентраций анализируемого иона.

- Температура и диапазон ее изменения, если она переменная.

- Наличие мешающих ионов.

- Наличие веществ, агрессивных к материалу электрода.

- Ограничения на объем пробы.

- Физическое состояние анализируемого материала.

2. Методика анализа.

- Метод — прямая потенциометрия, потенциометрическое титрование или методы добавок.

- Режим измерений — непрерывный или периодический.

3. Точность измерений.

4. Требования и ограничения со стороны применяемых измерительных приборов и прочего оборудования.

- Габаритные размеры электродов.

- Конфигурация электродов и форма чувствительной мембраны.

- Длина соединительного кабеля и тип разъема.

Таким образом, задача выбора электродов сводится к поиску электродов, параметры которых удовлетворяют перечисленным требованиям и условиям. Задача осложнена тем, что некоторые из них взаимосвязаны. В том случае, если таких электродов нет, необходимый поиск компромиссный вариант или другой метод измерения.

Одним из наиболее распространённых рН датчиков является стеклянный электрод. Он представляет собой мембранный ионоселективный электрод, являющийся частью гальванического элемента. Электрический потенциал электродной системы в растворе чувствителен к изменению содержания определённого вида ионов, что выражается в зависимости электродвижущей силы (ЭДС) гальванического элемента от концентрации этих ионов. Данный рН датчик имеет ряд недостатков: хрупкость, достаточно долгое установление равновесного значения потенциала (несколько минут), высокое внутреннее сопротивление (от десятков до сотен МОм).

Меньшее распространение получил хингидронный электрод. Хингидрон – слабо растворимое эквимолекулярное соединение хинона $\text{O}_6\text{H}_4\text{O}$ и гидрохинона $\text{HO}_6\text{H}_4\text{OH}$. Эти вещества образуют с ионами водорода обратимую окислительно-восстановительную систему. Хингидронный электрод имеет ряд достоинств. Он прост по устройству и приходит к равновесию быстрее, чем стеклянный электрод. Его можно применять на воздухе. Он применим во многих неводных и смешанных средах, включая водно-этанольные растворители, ацетон, фенолы и муравьиную кислоту. Основным недостатком хингидронного электрода является ограничение диапазона измерений растворами со значением рН, меньше 8. Это ограничение связано с изменением растворимости гидрохинона в щелочных растворах и его селективным растворением из хингидрона.

Было проведено исследование хингидронного электрода, которое предполагало решение вышеупомянутых проблем.

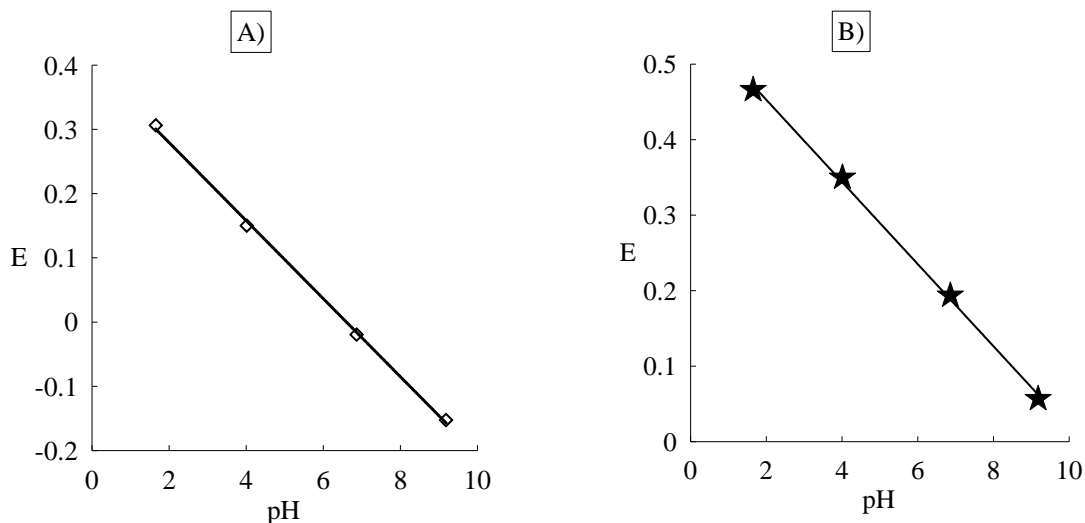


Рис. Зависимость потенциала от величины рН:

А - использовался стеклянный электрод, и хлоридсеребряный, как электрод сравнения;

В - представлены результаты после замены стеклянного электрода на хингидронуглеродистый

Данное ограничение может быть снято использованием ненасыщенных растворов хингидрона, что позволяет увеличить диапазон применения электрода в щелочной области. Ключевым моментом является дозировка хингидрона в исследуемый раствор.

Из литературы известно использование композитных датчиков. Проводилось исследование рН датчика на основе антрахинона и фенантренхинона в эпоксидной матрице [2]. Было отмечено, что датчик работает в широком диапазоне температур. В отличие от нашего исследования инструментом анализа являлась вольтамперометрия.

В целях улучшения электропроводности при создании композитного датчика использовался графит.

Используя эпоксидную матрицу, удалось добиться прочности, и возможности дозировки растворимого хингидрона. Важным моментом является процесс подготовки датчика к работе. Единственный этап подготовки - обновление поверхности электрода (любым абразивным материалом).

В результате был разработан композитный хингидронуглеродистый датчик для измерения рН природных вод.

Как видно на рисунке, новый датчик обладает такой же линейностью показаний, как и стеклянный электрод. Это важно для калибровки по какому-либо значению рН.

Новый датчик обладает повышенными прочностными характеристиками, высокой чувствительностью, повышенным диапазоном измерений в щелочную сторону по сравнению с классическим хингидронным электродом, лёгкостью использования, отсутствием специальных требований к условиям хранения и транспортировки.

Список литературы:

1. Воскресенский П.И. Техника лабораторных работ. М.: «Химия» 1962.
2. Triple component carbon epoxy pH probe. Nathan S. Lawrence, Markus Pagels, Simon F. J. Hackett, Sean McCormack, Andrew Meredith, Timothy G. J. Jones, Gregory G. Wildgoose, Richard G. Compton. *Electroanalysis*, 2007. 19. С. 424-428.
3. Перельман В.И. Краткий справочник Химика. Изд. «Химия» М.: 1964.
4. Определение рН. Теория и практика : пер. с англ. / Р.Г. Бейтс. — Л. : Химия, 1968. — 398 с.
5. Дартс Р. Ионоселективные электроды. М.: Мир. 1972.

УДК 66.047.545:614.833.001.25

Рекомендации по пожаровзрывобезопасности при организации процесса сушки левомецитина

А.И. Сечин, Т.А. Задорожная

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В производстве левомецитина предложено вместо полочной сушилки использовать аэрофонтанную сушилку, совмещенную с пневмотранспортом. Проведенный анализ процесса сушки позволил сформулировать в общем виде основные факторы, определяющие пожарную опасность процесса. Предложены мероприятия призванные обеспечить безаварийность технологического процесса.

На ОАО «Органика» в производстве левомецитина на стадии сушки вместо полочной сушилки предложено использовать аэрофонтанную сушилку, совмещенную с пневмотранспортом. Однако указанный процесс сопровождается образованием и накоплением зарядов статического электричества, наличие же внутри оборудования горючих аэрозвесей обуславливает пожароопасность этого процесса. Во избежание случайного проявления опасного воздействия электростатических зарядов необходимо установить соответствие основным требованиям пожаровзрывобезопасности процесса сушки левомецитина, которые следует соблюдать при эксплуатации сушильного оборудования [1, 2].

После монтажа сушильного оборудования были рассмотрены особенности конструкции и технологии. В аэрофонтанной сушилке совмещенной с пневмотранспортом, влажный продукт подается в поток газообразного теплоносителя, подхватывается им и перемещается в верхнюю часть сушильной камеры. Особенностью работы аэрофонтанной сушилки является наличие восходящей струи в центре сушилки и возвращение частиц высушиваемого материала вниз вдоль стенок аппарата. Таким образом внутри сушильной камеры происходит циркуляция материала с частотой, зависящей от скорости потока теплоносителя. Высушенный продукт транспортируется по пневмопроводу до циклонов, где и происходит отделение его от газообразного теплоносителя и накопление в бункере. Окончательная очистка теплоносителя осуществляется в рукавном фильтре.

С целью разработки необходимых мероприятий [3], направленных на обеспечение устойчивой работы технологического оборудования, был проведен анализ потенциальной опасности. Он показал, что внутри сушильной камеры постоянно присутствует пылевое облако, представляющее опасность взрыва. Вероятность воспламенения аэрозвеси больше в верхней части сушильной камеры, где находятся

наиболее сухие частицы. Возможно самовоспламенение отложений пыли, возникающих на определенных этапах сушки. Пылевые отложения могут образовываться в пневмотранспорте, соединяющим сушильную камеру с циклоном. Скопление пыли в циклоне происходит при попадании в циклон недосушенного материала.

Также были проанализированы основные факторы пожара и взрыва технологического оборудования, в котором присутствуют горючие пыли [3, 4].

Сушилка аэрофонтанная: наличие взрывоопасной концентрации пыли в сушилке; нарушение гидродинамического взаимодействия фаз в аппарате вследствие изменения скорости подачи воздуха из-за недогрузки или перегрузки; выход взрывоопасной пылевоздушной смеси вследствие неплотностей в узлах и соединениях или взрыва пылевоздушной смеси; самовозгорание слоя высушиваемого вещества в местах отложения, а также во всем аппарате в период остановки; искры удара и трения; искры разрядов статического электричества; искры тления от нагревания теплоносителем.

Циклон: наличие взрывоопасной концентрации пыли в циклоне; самовозгорание пыли осевшей в конической части циклона; искры удара при очистке циклонов и при ликвидации завесаний.

Рукавный фильтр: образование взрывоопасной концентрации при встряхивании фильтра; пыление в местах отвода пыли из нижней части фильтра при встряхивании; самовозгорание пыли, отложившейся в рукавной части или скопившейся в нисходящей линии при образовании в ней пробки; искры разрядов статического электричества.

Участок пневмотранспорта: наличие взрывоопасной концентрации горючей пыли; выход пылевоздушной смеси за пределы трубопровода вследствие негерметичности соединений или взрыве пылевоздушной смеси; самовозгорание слоя пыли на горизонтальных участках трубопровода, тупиках и коллекторах; искры разрядов статического электричества; искры ударов и трения.

Бункер: образование взрывоопасной концентрации пыли при ссыпке в бункер; искры разрядов статического электричества.

Был предложен комплекс мероприятий, направленных на предотвращение пожаров и взрывов.

Герметизация. Весь комплекс сушильного оборудования необходимо компоновать таким образом, чтобы он находился под разряжением, т.е. вентилятор необходимо располагать на выходе из сушилки, за рукавным фильтром.

Размещение в изолированных помещениях. Калорифер, загрузочный бункер и сушилка располагаются на стадии центрифугирования. Пневмотранспорт доставляет высушенную смесь в развесочное помещение, где и располагаются циклон и рукавный фильтр.

Устранение разрядов статического электричества. Необходимо предусмотреть соблюдение электростатической искробезопасности технологического оборудования [5]. Для этого при проектировании разработан ряд мероприятий по нейтрализации зарядов статического электричества в элементах оборудования имеющего большие линейные размеры, чем I_k , с применением игольчатых и струнных нейтрализаторов.

Устранение искр тления от предшествующих аппаратов. По категорированию взрывной и пожарной опасности цех производства левомицетина относится к категории В1А, что исключает наличие в нем каких либо очагов горения.

Исключение застойных зон и опасных отложений пыли. При компоновке технологической линии предусмотреть углы поворота пневмопровода не менее 120° , а время сушки не более 1 часа.

Теплоизоляция аппарата с целью воспрепятствовать конденсации паров и прилипанию пыли к стенкам. Теплоизоляция необходима для обеспечения возможности досушки продукта в системе пневмотранспорта.

Поскольку зона сушки достаточно протяженная, и перемещение потока происходит с высокой скоростью, подавление взрыва в данной сушилке затруднено и в отечественной практике не используется. Однако возможность такого способа защиты не исключается.

Предохранительные мембраны являются наиболее распространенным средством защиты сушилок от разрушения взрывом. Наиболее эффективно их применение на вершине аэрофонтанной сушилки, у входа в циклон, в пневмотранспорте, бункере сухого продукта, рукавном фильтре. Конструкция питателя должна обеспечивать задержку распространения взрыва в загрузочное устройство.

Проведенный анализ процесса сушки позволяет сформулировать в общем виде основные факторы, определяющие пожарную опасность процесса: перегрев высушиваемого материала, приводящий к самонагреванию высушиваемого продукта, термическому разложению, тлению и самовоспламенению; воспламенение высушиваемого материала спонтанно возникающими электростатическими источниками зажигания; нарушение технологического регламента; неисправность оборудования; нестационарные процессы в период запуска и остановки сушильного оборудования.

Для обеспечения безаварийности процесса сушки предлагается следующее:

- Температура сушки ограничена на уровне недостаточном для активизации экзотермических реакций в высушиваемом веществе и составляет 70°C .

- Учитывая высокие скорости прохождения теплоносителя через сушильную камеру, предложен такой режим, при котором в трубе-сушилке будет поддерживаться концентрация горючего и окислителя на безопасном уровне.

- Концентрация пылевзвеси в технологическом оборудовании близкая к предельным условиям распространения пламени, что позволяет технологическому оборудованию избежать разрушений путем эффективной защиты взрывными клапанами. Технологическое оборудование необходимо конструктивно оформить системой защиты от разрядов статического электричества, допускающей возможность возникновения разрядов, но не способных воспламенить пылевоздушную смесь.

Список литературы:

1. Репринцева С.Н., Федорович Н.В. Новые методы термообработки и сушки химико-фармацевтических препаратов. - Наука и техника, 1979, - 186 с.
2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Металлургия, 1988. - 88 с.
4. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противопожарная защита химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1983. – 427 с.
5. Веревкин В.Н., Яйлиян Р.А. Инструкция по установлению соответствия изделий с неметаллическими материалами требованиям электростатической искробезопасности. – Балашиха, ВНИИПО МВД СССР, 1976. – 44 с.

К вопросу обеспечения безопасности при эрлифтном пуске нефтяных скважин в эксплуатацию

А.И. Сечин, С.И. Осипенко, А.А. Сечин*

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**Уральский Институт ГПС МЧС, г. Екатеринбург, Россия*

Рассматриваются вопросы обеспечения безопасности проведения штатных регламентных работ при пуске нефтяных скважин в эксплуатацию.

Проведение штатных регламентных работ на нефтяных скважинах вызывают известную проблему, с точки зрения обеспечения безопасности. Особый режим – ввод в эксплуатацию. Широко используется метод эрлифта, когда проводится закачка газовой фазы в межтрубный объем для поднятия нефти. Правила безопасности рекомендуют использовать в этих случаях только химически нейтральные газы, которые доставляются на месторождение или производятся на месте, что влечет за собой большие энергетические и финансовые затраты.

В данной работе сделана попытка поиска возможности подачи атмосферного воздуха в межтрубный объем, а не химически нейтральной газовой фазы.

Проведенный анализ рабочей среды, возникающий в результате технологических операций, по введению скважины в штатный режим эксплуатации показал, что в процессе снижения уровня нефтяного столба в трубном пространстве, наблюдается эффект, при котором на стенках остается тонкий слой нефти, из которого происходит испарение газопаровой фазы в объем трубы. Было установлено, что газовый состав среды содержит, в основном, горючие компоненты в количественном составе 4 наименования; другие компоненты такие как метан, этан, пропан, бутан, другие компоненты не могут находиться в газовом составе в количестве представляющем опасность воспламенения. В таблице 1 представлены пожаро- и взрывоопасные характеристики веществ [1, 2, 3], входящих в физико-химический состав пробы легкой нефти, выполненной по ГОСТ 23781.

На основе представленных данных и технологическим устройством скважины следует, что источником зажигания парогазовой смеси, находящейся внутри объекта, может быть: самовоспламенение или разряд статического электричества.

Из анализа представленных данных был вывод, что самовоспламенения среды не произойдет, так как характеристики этого показателя пожаро- и взрывоопасности представляют величины более 400 °С (см. табл.1), а на объекте нет мест, где может локально возникнуть область прогретая до такой температуры. Значит, этот фактор в рассматриваемом анализе можно исключить.

Известно, что аппараты или технологическое оборудование удовлетворяют требованиям электростатической искробезопасности в том случае, если возникновение разрядов статического электричества исключено, или если существуют разряды с воспламеняющей способностью в 2,5 раза меньше, чем минимальная энергия зажигания горючих смесей, образующихся в производстве [4]. Минимальная энергия зажигания, как и другие характеристики пожаро- и взрывоопасности обрабатываемых в производстве веществ, определяются согласно действующего стандарта [5].

Анализ данных табл. 1 показывает, что указанные вещества имеют минимальную энергию зажигания величиной не менее 0,2 мДж. Допустимое значение I_k определялось как наибольший

линейный размер области ионизации, образующейся при разряде на электроде с безопасным радиусом кривизны поверхности. По значениям минимальной энергии зажигания 0,25 мДж, характеристический размер l_k составил более 0,06 м. Следовательно, инициирование воспламенения парогазовой фазы разрядом статического электричества произойти не может.

Для исключения заноса потенциала заряда с ременной передачи компрессора на установку, необходимо выполнение следующих условий: компрессор должен иметь приводные антистатические клиновые ремни; иметь грамотно выполненное заземление.

Таким образом, исключив вероятность проявления источника зажигания (индуцированный разряд статического электричества) внутри технологического объема, проведем анализ горючести среды на возможность распространения пламени в объеме.

Для проведения этого анализа обратимся к значениям концентрационных пределов распространения пламени для перечисленных компонентов (табл. 1). Используем эти данные для расчетов, в соответствии с требованиями норм технологического проектирования при определении взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования и трубопроводов, а также при расчете предельно допустимых взрывобезопасных концентраций газов и паров в воздухе с потенциальными источниками зажигания в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.010 и ГОСТ 12.1.044 [5, 6], при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004 [7].

Для определения концентрации горючих компонентов, представляемых как критерий опасности D_0 рассматриваемой системы в точке (система находится в статическом состоянии), воспользуемся следующим выражением:

$$D_0 = \sum_{i=1}^n 0,5k_i \cdot \quad (1)$$

Для определения величины, представляющей собой критические условия распространения пламени в рассматриваемой системе D проведения первичного анализа ее опасности (система находится в состоянии динамического изменения), воспользуемся выражением:

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{C_i} - 1 \cdot \quad (2)$$

Если величина критерия опасности D попадает в область значений охватываемых D_0 , система содержит опасную концентрацию рассматриваемых компонентов горючей смеси.

Если область значений охватываемых $D_0 < D$, система содержит неопасную для технологического процесса концентрацию компонентов горючей смеси.

Таблица 1. Пожаро- и взрывоопасные характеристики соединений входящих в состав пробы

Наименование параметра	Размерность	Наименование вещества					
		Метан, $CН_4$	Этан, C_2H_6	Пропан, C_3H_8	н-Бутан, $н-C_4H_{10}$	н-Гексан, $н-C_6H_{14}$	н-Пентан, $н-C_5H_{12}$
Состояние при испытаниях		г	г	г	г	ж	ж
Температура самовоспламенения	°С	537	472	466	405	216	233
Нижний концентрационный предел распротр. пламени,	% об	5,28	2,9	2,1	1,8	1,45	1,24
Верхний концентрационный предел распротр. пламени	% об	14,1	15,0	9,5	9,1	7,5	7,85
Минимальное взрывоопасное содержание O_2 ,	% об.	11,0	11,3	11,6	12,0	11,9	11,9
Максимальное давление взрыва	МПа	0,87	0,68	0,84	0,84	0,85	0,85
Мин. энергия зажигания	мДж	0,28	0,2	-	0,25	0,25	1,02
Безопасный экспериментальный минимальный зазор	мм	1,12	0,91	0,92	0,98	0,93	0,93
Стехиометрическая концентрация	% об.	9,48	5,66	4,02	-	2,55	2,16
Максимальная скорость нарастания давления	МПа/с	98,6	17,2	24,8	15,9	28,2	-
Расход воздуха необходимого для горения	м ³ /м ³	9,52	14,29	23,81	30,95	-	38,10

Проведенные по выражению 1 и 2 расчеты концентрации горючих компонентов, представляемых как критерий опасности D_0 рассматриваемой системы в точке, находящейся на пограничной прямой состояния системы, выполненные на основе физико-химического состава пробы и данных, представленных в табл. 1, показали:

- величина критерия опасности равна – 7,4 % об.

- область критической опасности газовой смеси, когда в случае наличия источника зажигания произойдет ее воспламенение, располагается в пределах 7,4 – 31,5 % об.

При этом следует иметь ввиду, что безопасный экспериментальный минимальный зазор, т.е. отверстие, через которое может проходить фронт пламени рассматриваемого состава – 0,9 мм.

Проведенный расчет концентрации горючих компонентов, представляемых как критерий опасности D рассматриваемой системы, находящейся в состоянии динамического изменения, показал:

- величина критерия опасности (определенного на основе характеристик представленных в табл. 1) равна 24,7 % об;

- величина критерия опасности D попадает в область значений охватываемых D_0 , следовательно система содержит опасную концентрацию рассматриваемых компонентов горючей смеси.

На основании проведенных исследований можно сделать следующий вывод.

Так как величина критерия опасности D зависит от количественного содержания в смеси горючих компонентов, то важным фактором при этом является время испарения газовой фазы из жидкости. Можно предположить, что опасная концентрация газовой среды (при проведении закачки газовой фазы в межтрубный объем не химически нейтрального газа, а с использованием атмосферного воздуха) может существовать в технологическом объеме при росте давления от 3 до 5 МПа, при других давлениях смесь будет не взрывоопасной.

Критериальные условия (2) нуждаются в экспериментальном подтверждении на модельной установке, в режимах максимально приближенным к производственным условиям введения в штатный режим эксплуатации нефтяных скважин.

Список литературы:

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн.1/ Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Н.Г. и др. – М.: Химия, – 1990. – 496 с.
2. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. / Изд. 2-е, испр. И доп. – М.: Химия, – 1978. – 392 с.
3. Пожаро- и взрывоопасность лекарственных препаратов их полупродуктов, сырья и смесей, применяемых в медицинской промышленности. Нормативно-технический материал. / Шустров Н.И., Трухин В.М., Сечин А.И. и др. // – Минмедпром., Купавна, – 1988, – Т. 3. – 240 с. Для служебного пользования.
4. Веревкин В.Н., Яйлиян Р.А. Инструкция по установлению соответствия изделий с неметаллическими материалами требованиям электростатической искробезопасности. – Балашиха, ВНИИПО МВД СССР, – 1976. – 44 с.
5. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
6. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
7. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

УДК 66.047.545:614.833.001.25

Экспериментальная установка для исследования статической электризации порошкообразных веществ и эффективности средств защиты

*М.В. Гуляев, А.И. Сечин, М.С. Барский, А.А. Сечин
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Представлены исследования процесса электризации пылеобразующих материалов внутри технологического оборудования пневмотранспорта и сушки пылеобразующих материалов. Исследования проводились на специально разработанной пилотной установке. Показано, что электростатический потенциал, возникающий непосредственно на действующем технологическом оборудовании может достигать 7,5 тыс. вольт и более.

Для определения уровня статической электризации пылеобразующих материалов при их пневмотранспортировке и сушке была спроектирована и изготовлена из нержавеющей стали пилотная установка. Основными узлами установки являются: шнековый дозатор, расширитель, циклон, бункер циклона, тканевый фильтр, система трубопроводов. Характерными участками установки являются: система трубопроводов, циклон, бункер циклона. В процессе работы установки, предусмотрена возможность плавной регулировки температуры и скорости теплоносителя в необходимом интервале. Чтобы исследовать электризацию пылеобразующих материалов внутри оборудования, каждый из

участков изолировался друг от друга с помощью диэлектрических прокладок, изготовленных из фторопласта, а также от земли. Каждый из участков индивидуально подключается к измерительной аппаратуре.

Для измерения зарядов статического электричества использовались стандартные приборы, электростатические вольтметры С50 и С95. Для измерения токов статического электричества использовался ламповый вольтметр ВЛУ-2. При измерении токов с одного участка установки, остальные участки заземлялись с целью исключения их влияния на результаты измерений [1].

Известно, что появление заряда любого знака на технологическом оборудовании, связано с процессами, порождающими контактный заряд, что является фактической причиной появления искрового разряда между заряженным материалом и металлическими частями технологического оборудования [2, 3].

Исследовались три режима работы технологического оборудования: пуск, установившийся режим и останов оборудования.

На Рис. 1. представлена качественная картина измерения тока от циклона во времени. Ток быстро растет до максимума, соответствующему определенному режиму работы установки, затем несколько уменьшается и стабилизируется. Аналогичная картина происходит при остановке системы пневмотранспорта Рис. 2.

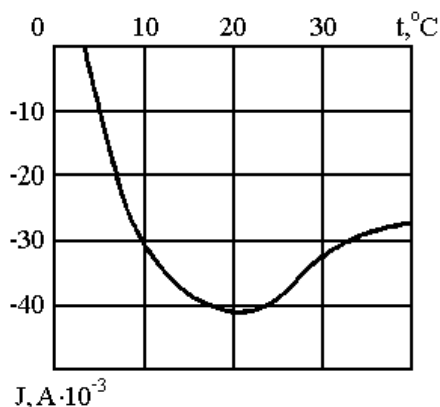


Рис. 1. Изменение тока утечки с циклона при запуске

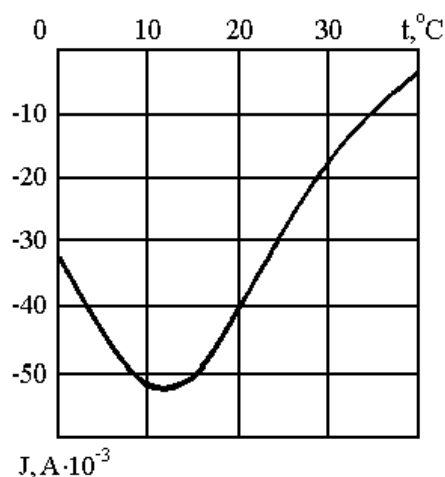


Рис. 2. Изменение тока утечки с циклона при остановке

Броски тока при пуске и остановке представляют известный практический интерес, так как свидетельствуют о поступлении сильно заряженной массы вещества в наиболее опасный участок пневмотранспорта. В этих условиях увеличивается вероятность возникновения искрового разряда.

Характер изменения процесса статической электризации в циклоне следующий. В циклоне происходит резкое падение скорости движения транспортируемого материала и создаются наиболее благоприятные условия для образования пограничного диэлектрического слоя. При этом иногда наблюдается отрыв этого слоя, но этот отрыв происходит реже, чем в трубопроводе и решающего влияния на электрические процессы не оказывает. Вследствие существования стационарного пограничного слоя (при принятых в пневмотранспорте скоростях) имеется слабый контакт между основной массой и металлическим корпусом циклона, что в сочетании с малой скоростью воздушного потока в циклоне вызывает лишь слабую электризацию.

Установившийся режим исследован при различных концентрациях вещества и скорости воздушного потока. Результаты исследований отражены в зависимостях, представленных на рисунках 3 и 4.

Поэтому в циклоне наблюдается резкое преобладание процессов передачи зарядов над электризацией частиц при их контакте со стенками. Следовательно, ток в циклоне практически всегда отрицательный. На рис. 3. представлена зависимость тока циклона от скорости воздушного потока. С увеличением скорости воздуха ток циклона значительно растет, что указывает на возрастание величины заряда, приобретаемого частицами в трубопроводе. При дальнейшем увеличении скорости потока (около 20 м/с) происходит некоторое замедление роста тока: это объясняется тем, что часть заряженных частиц не успевает контактировать со стенками циклона и уносится воздушным потоком в бункер сухого продукта. Характерна также зависимость тока циклона от расхода вещества рис. 4. С увеличением расхода транспортируемого материала заметно возрастает и ток от циклона.

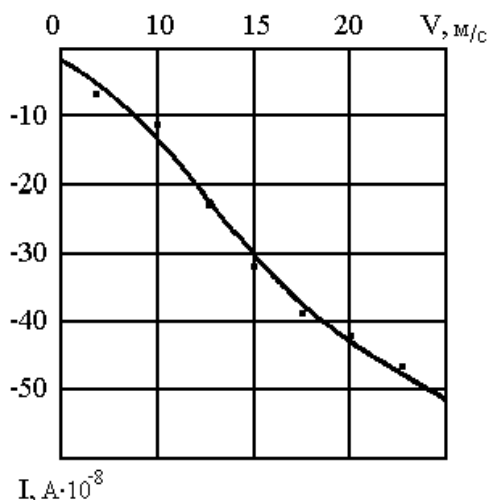


Рис. 3. Изменение тока утечки от скорости воздушного потока

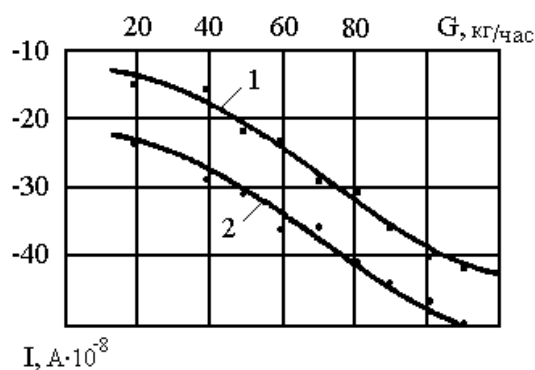


Рис. 4. Изменение тока утечки с циклона от скорости пневмотранс-портирования: 1 - 15 м/с; 2 - 25 м/с.

Надо отметить, что с течением времени в циклоне, как и в других участках установки, появляется пограничный диэлектрический слой, толщина которого постепенно увеличивается. Это приводит к ухудшению условий передачи зарядов и соответственно уменьшению зарядного тока. Так как циклон является тем участком установки пневмотранспорта, где происходит интенсивное разряжение частиц транспортируемого материала, то по величине тока циклона можно судить об усредненном значении удельного заряда.

В результате проделанной работы было установлено, что фактически измеряемый ток может зависеть от качества изоляции и измерений из-за утечки могут дать заниженные результаты. Для этой цели были проведены исследования зависимости электростатического потенциала на корпусе циклона от различных факторов (температуры теплоносителя и др.) при разных режимах сушки. Полученные верхние границы электростатического потенциала показывают, что замеренные токи утечки можно считать в достаточной степени достоверными.

Исследуемые вещества (аспирин, анестезин, никотиновая кислота) обладают высокими диэлектрическими свойствами и способны к интенсивной электризации. Электростатический потенциал, замеренный непосредственно на действующем технологическом оборудовании в отдельных случаях достигал 7,5 тыс. вольт и более.

Теоретические расчеты и результаты исследования показали, что наиболее опасным местом системы пневмотранспорта и –сушки является циклон. При этом возникновение статического электричества на оборудовании не носит устойчивого характера и зависит от многих сопутствующих причин.

Список литературы:

1. ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
2. Веревкин В.Н., Яйлиян Р.А. Инструкция по установлению соответствия изделий с неметаллическими материалами требованиям электростатической искробезопасности. – Балашиха, ВНИИПО МВД СССР, – 1976. – 44 с.
3. Гуляев М.В., Панин В.Ф., Сечин А.И. Исследование и разработка системы безопасности во взрывоопасных производствах./The Third Russian-Korean International Symposium on Science and Technology, KORUS'99, Novosibirsk State Technical University, 1999, 807 s.