

УДК 504.054: 629.78 (03)

## Комплексное моделирование процессов при падении отработанных ступеней ракет-носителей

**В.А. Архипов, А.А. Антонникова\*, И.К. Жарова, Е.А. Козлов**

*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики*

*Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

*\*Институт проблем химико-энергетических технологий*

*Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

**E-mail: Zharova@niipmm.tsu.ru**

Приведены результаты анализа методов прогнозирования рисков негативного воздействия на окружающую среду при запуске ракет-носителей. Рассмотрены подходы к комплексному моделированию прогнозирования экологической обстановки в районах падения отработанных ступеней ракет-носителей.

Количество космодромов в мире увеличивается с каждым десятилетием и сегодня с учетом строящихся их насчитывается более 30. Территориально космодромы рассредоточены по всем континентам, кроме Антарктиды. Естественно, такая широкая сеть космодромов при запуске ракет-носителей создает риски негативного воздействия на окружающую среду. Хотя «присутствием в космосе» владеют более десятка стран, на сегодняшний день не существует согласованной международной программы решения экологических аспектов проблем, возникающих при падении отработанных фрагментов космических летательных аппаратов. В условиях сложившейся в мировом сообществе геополитической ситуации страны, участвующие в освоении космоса, остаются один на один с необходимостью прогнозирования рисков негативного воздействия отработанных ракет-носителей на окружающую среду.

В 2011 г. в России осуществлены запуски 9 ракет-носителей «Протон-М», 6 – «Союз-У», 5 – «Зенит», 5 – «Союз-2.1б», 4 – «Союз-ФГ», 4 – «Союз-2.1а», 1 – «Рокот» и 1 – «Днепр». Ракета-носитель «Протон-М» (стартовый вес 698 т) заправляется высокотоксичными компонентами (несимметричный диметилгидразин – гептил и азотный тетраоксид – АТ); ракета «Союз-У» (стартовый вес 317 т) – малотоксичными компонентами (керосин марки Т-1 и жидкий кислород O<sub>2</sub>). Ракета-носитель «Зенит» (стартовый вес 459 т) – Т-1 и O<sub>2</sub>; ракеты-носители «Союз-ФГ» и «Союз-2.1а» – Т-1 и O<sub>2</sub>; ракета-носитель «Рокот» (стартовый вес 107 т) – высокотоксичным гептилом и АТ; ракета носитель «Днепр» (стартовый вес 210 т) – гептилом и АТ. Очевидно, что высокотоксичные компоненты – гептил и азотный тетраоксид – представляют источник наибольшей опасности для окружающей среды. При этом, если учесть, что около 90 % стартового веса составляют компоненты горючего и окислителя, то с точки зрения химического воздействия на окружающую среду могут возникать большие риски. К таким рискам, требующим особого внимания, относятся химические загрязнения атмосферы и почвы, загрязнение поверхностных и грунтовых вод. Интенсификация космической деятельности характеризуется количеством запусков ракет-носителей и увеличением рисков воздействия на окружающую среду. В таблице приведены статистические данные (Интерфакс АВН) по запускам российских ракет-носителей [1].

Таблица

Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Кол-во запусков	38	25	25	24	26	31	30	27	33	33	31	35
Кол-во аварий	4	0	2	0	1	3	2	2	1	1	1	не приведено

Одним из наиболее важных аспектов является методология оценки потенциальной экологической опасности для районов падения отделяемых ракет-носителей. Непосредственной экологической угрозой является наличие в баках и трубопроводах отделенных ступеней остатков так называемого «гарантийного» запаса компонентов, которые при отделении представляют экологическую угрозу. Разработка методологии прогнозирования экологической обстановки в районах падения отработанных фрагментов остается на сегодняшний день весьма актуальной,

особенно для районов Западной Сибири, Горного Алтая и Саян, где отведены «зоны отчуждения» при падении. Эта методология будет полезной и для других регионов мира. Главные вопросы, на которые методология с большой степенью достоверности должна давать ответы: где выпадут токсичные компоненты? в каком количестве? какова степень экологической угрозы? На эти вопросы теоретические исследования многих авторов [2–5] дают ответы только по отдельным факторам, явлениям и процессам и направлены, в основном, на разработку фундаментальных основ прогнозирования в виде физико-математических моделей и диапазонов их применимости. Авторы настоящей работы считают этого недостаточным для решения прикладных задач.

Цель настоящей работы – анализ подходов к комплексному моделированию прогнозирования рисков, связанных с определением места выпадения, степени зараженности конкретных территорий на основе компьютерного моделирования с учетом всех возможных процессов, факторов, физических и метеорологических явлений. Сформулированная прикладная задача является многофакторной и весьма сложной. Существенной трудностью при разработке и программного комплекса, и физико-математических моделей, заложенных в нем, является наличие неопределенностей в развитии событий.

Неопределенным является количество компонентов, оставшихся на борту в момент отделения, что приводит к неопределенности в количественных оценках начального облака заражения при разгерметизации. При вращении на траектории спуска отделенного блока жидкость в баках ведет себя сложным образом – жгутируется и совершает удары по днищам как твердое тело, что приводит к неопределенности в оценке высоты нарушения целостности. Дополнительную неопределенность накладывает разогрев вращающегося блока, летящего по баллистической траектории и входящего в плотные слои атмосферы.

Неопределенной является одновременность (разновременность) разгерметизация баков горючего и окислителя и, как следствие, неопределенность химического взаимодействия и возможного воспламенения компонентов, оказавшихся в атмосфере.

Неопределенным является временной диапазон разгерметизации и вытеснения компонентов (от мгновенного до нескольких минут).

Неопределенными являются метеоусловия в районах падения отдельных фрагментов и, в связи с этим, неопределенность переноса токсичных аэрозолей в атмосфере.

Неопределенным является ландшафт и экология водоемов в зоне падения.

В силу указанных неопределенностей предлагается реализовать в компьютерном виде такую методологию прогнозирования, которая позволяла бы строить различные сценарии развития возможных событий и по построенным сценариям определить максимально возможный спектр вредных для окружающей среды факторов. Принятая методология прогнозирования должна позволять вводить экспертные оценки влияния токсикантов и корректировать итоговый ущерб территорий. Чем большее количество моделей процессов, физических явлений и факторов будет привлекаться к построению спектров событий и чем глубже и адекватнее к реальности эти модели, тем точнее возможен итоговый прогноз. И сценарии процессов, и математические модели должны быть открытыми для дополнения и уточнения.

В настоящее время создана достаточно крупная теоретическая база по моделированию процессов. Приведем типичные примеры. В упрощенной постановке, как возможный сценарий, решена задача зажигания смеси компонентов при растекании их по земле во время удара, подъема горячих продуктов и увлечения ими несгоревших токсикантов распространения облака под силой ветра. Задача не дает полной картины заражения, однако позволяет определить максимальное расстояние от точки зажигания места выпадения мелких фракций частиц аэрозоля [6]. Решены задачи воспламенения в воздухе жидких компонентов [7], распространения аэрозоля с учетом аэродинамического дробления, слияния и повторного дробления с привязкой к метеоусловиям Новосибирска и Колпашева на 1.07.2001 г. [8], разработана модель эволюции жидко-капельного облака жидкого топлива с учетом испарения частиц [9].

Примеров конкретных моделей и решенных задач можно привести множество. Несомненно, это достижение фундаментальных исследований, и оно имеет важное значение. Однако требования современности выдвигают задачи создания «межотраслевой», объединяющей смежные области знаний и имеющей прикладное значение методологии прогнозирования загрязнений, дающей конкретный конечный результат в конкретном районе территории в конкретный момент времени. Необходимо объединить геоинформационные технологии, технологии электронных карт, базы данных по ландшафтным параметрам с учетом наличия рек, водоемов, болот, лесов, пахотных земель и т. д. и физико-математические модели распространения загрязнений всех уровней сложности. Необходимо создание так называемого объемного электронного паспорта

территорий, способного обеспечить картографическое сопровождение приземления отделенных ступеней ракет-носителей.

Работа является комплексной, объединяющей различные области знаний и требующая современных ресурсов вычислительной техники. Постановка такой работы потребует относительно малой доли финансирования от выделяемых государством средств на космические программы. Выполнение такой межведомственной работы возможно при наличии заказчика с разработанными требованиями к проекту и централизованного финансирования, не разделенного по ведомствам. Внедрение результатов в инфраструктуры регионов позволит информировать население и правильно оценивать реальные риски. В виде схемы предлагаемая методология представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема методологии прогнозирования последствий падения отработанных ступеней ракет-носителей.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 12-08-90811-мол\_рф\_нр.

#### Список используемой литературы:

1. Интерфакс АВН // <http://www.mmilitarynews.ru>
2. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду / Под общ. ред. чл.-корр. РАН В.В. Адушкина, д. ф.-м. н. С.И. Козлова, к. т. н. А.В. Петрова. – М.: Изд-во «Аника», – 2000. – 639 с.
3. Александров Э.Л. О поведении капель ракетного топлива в атмосфере // Метеорология и гидрология. – 1993. – № 4. – С. 36 – 45.
4. Садовский А.П., Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Зыков С.В., Резникова И.К. К вопросу об аэрозолировании гептила в районах падения отделяемых ракет-носителей // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13. – № 6–7. – С. 672 – 677.
5. Пепнер И.Э., Коханенко Г.П., Шаманаев В.С. Самолетные исследования аэрозольного следа от отделяемых частей ракет-носителей // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14. – № 12. – С. 1137 – 1140.
6. Козлов Е.А., Халецкая О.В. Разработка математических моделей распространения загрязнений отработанных ступеней ракет-носителей // Докл. конф. «Проблемные вопросы методологии утилизации твердых топлив, остатков жидких топлив в элементах ракетно-космической техники». – Бийск. – 2000. – С. 36 – 47.
7. Козлов Е.А., Крайнов А.Ю. Период самовоспламенения двухкомпонентного аэрозоля жидких

- горючих и окислителя // Физика горения и взрыва. – 1999. – Т. 35. – № 6. – С. 15 – 21.
8. Козлов Е.А., Архипов В.А., Березиков А.П. Опыт исследований внутрикамерных процессов ракетных двигателей применительно к моделированию техногенных загрязнений при отделении ракет-носителей // Изв. РА РАН. – 2004. – № 2/39. – С. 68 – 73.
  9. Архипов В.А., Березиков А.П., Ткаченко А.С., Усанина А.С. Обобщенная модель распространения жидко-капельного облака при аварийном сбросе авиационного топлива // Изв. Вузов. Физика. – 2010. – № 12/2. – С. 10 – 13.

УДК 504.062.2

### **Проблема загрязнения окружающей среды**

*А.А. Аверьянова*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г.Томск, Россия*

*E-mail: [alenaShk@yandex.ru](mailto:alenaShk@yandex.ru)*

Показана проблема загрязнения окружающей среды бытовым мусором, образование несанкционированных свалок. Установлено, что основным мусором является полимерные вещества (пластики, полиэтилен, пластмасса). Описаны возможные пути решения данной проблемы.

Экологическая проблема загрязнения окружающей среды, является важной проблемой для государства в целом. Количество мусора с каждым годом растет, происходит увеличение несанкционированных свалок в городе и в его окрестностях. Свалки образуются из-за большого количества бытовых отходов, и отсутствия отлаженной системы переработки отходов. Основной мерой борьбы с несанкционированными свалками является наложение штрафа.

Загрязнение окружающей среды приводит к ряду экологических проблем, например, парниковой эффект, кислотные дожди, эрозия почвы. Основными источниками загрязнения в [городах](#) является промышленность, образующая в результате производственного процесса загрязняющие вещества, а так же твердые бытовые отходы, возникающие в процессе жизнедеятельности. Не меньшее значение как загрязнитель окружающей среды имеют и сточные городские воды, объединяющие производственные, бытовые и дождевые воды. Основной объём бытовых отходов составляет пластиковая упаковка. Современные производители товаров делают упаковку красочной, привлекательной, продукты питания в такой упаковке долго не портятся. Для производства упаковки в основном применяются полимерные материалы (пластики, полиэтилен и т.д.) Пластик сегодня используется повсеместно и не только для производства упаковки. Мы очень часто стали использовать пластиковую посуду, сегодня на каждого жителя планеты приходится до 88,5 кг пластиковой одноразовой посуды в год. Использованная упаковка и другие отходы попадают на свалку. В развитых странах широко применяется бумажная упаковка. В естественных условиях бумага разлагается в течение 2-5 месяцев, окурки от 1 года до 12 лет, полиэтиленовые пакеты разлагаются 10-20 лет, пластиковая упаковка практически не разлагается [1]. Чем больше мусора и чем дольше он лежит, тем он опаснее, старые свалки содержат большое количество вредных отходов и ядовитых химических веществ, которые годами размещались на них и проникали в окружающую среду.

Размещение отходов на свалках ведет к выделению метана - одного из парниковых газов и опасных химических веществ, которые оказывают вредное воздействие на окружающую среду. Так же периодически происходит возгорание свалок, что ведёт к очень серьёзным последствиям, к примеру, горение пластикового мусора наносит природе огромный ущерб, при его сгорании в атмосферу попадают токсичные вещества, наносящие вред окружающей среде и здоровью человека. Параллельно с загрязнением почвы, загрязняется Мировой океан. Около 95% морских птиц, обитающих в Северном море, имеют в своих желудках пластиковый мусор [1].

Переработка пластиковой упаковки экономически невыгодна, так как требуются большие вложения, напротив, как переработка бумажных пакетов не так дорога. Чтобы решить проблему загрязнения территории, и образования несанкционированных свалок, необходимо создавать перерабатывающие предприятия.

Каждый человек может внести свой небольшой вклад в уменьшение количества свалок. В первую очередь, нужно оставлять как можно меньше мусора в местах отдыха, бытовые отходы необходимо относить только в специально предназначенные для этого контейнеры. Приобретая товары и продукты в магазинах, стоит обращать внимание на их упаковку, отдавая предпочтение экологически безопасной упаковке, если есть выбор, нужно отказаться от приобретения продуктов

в пластиковой упаковке. Отправляясь в магазин за покупками можно взять с собой сумку, чтобы не пришлось покупать пластиковый пакет. Сбор и сдача макулатуры и металлолома, что может уменьшить складирование бытовых отходов на улицах города.

#### Список используемой литературы:

1. <http://www.saveplanet.su> – Материалы по экологии. Пластиковые отходы – проблема сегодняшнего дня.

УДК 574.24

### Оценка качества среды по состоянию листьев на примере берёзы повислой

*А.А. Аверьянова*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

*E-mail: [alenaShk@vandex.ru](mailto:alenaShk@vandex.ru)*

Показана возможность расчета экологического состояния среды на примере березы повислой (*Betula pendula*). Установлено, что состояние окружающей среды неудовлетворительно. Сделан вывод о том, что необходимо произвести комплекс мер по улучшению окружающей среды.

Развитие промышленности ведёт за собой загрязнение окружающей среды. Сажа, копоть, смог, выхлопные газы, дым, всё это ведёт к ухудшению качества окружающей среды. Это сильно влияет на состояние животных, растений. Помимо загрязнения газообразными частицами, в атмосферу попадают так же твёрдые частицы (сажа, пыль, копоть), так же частицы металлов. Мелкие частицы пыли, сажи, взвесей растворов, некоторых химических соединений, появляются в воздухе из различных аэрозолей. Распыление аэрозолей ведёт не только к загрязнению окружающей среды, но и к увеличению концентрации углекислого газа в воздухе, что может привести к заметным изменениям климата и соответственно к нарушению равновесных связей в биосфере [1]. Глобальное загрязнение атмосферного воздуха сказывается на состоянии природных экосистем, особенно на зеленом покрове нашей планеты. Проводилось исследование состояния окружающей среды по состоянию листьев на примере берёзы повислой. Листья березы повислой были собраны на территории экспериментального хозяйства Сибирского ботанического сада Томского государственного университета, который находится в районе улицы Мокрушина. Сбор листьев составил 10 проб, пробы в сумме составляли из 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев).

Каждая проба хранилась отдельно, в полиэтиленовом пакете, с вложенной этикеткой, указывающая номер пробы, место и дату сбора. При выборе деревьев учитывалось, во-первых, точность определения принадлежности растения к исследуемому виду. Во-вторых, листья были собраны с растений, находящихся в похожих экологических условиях (учитывалось: уровень освещенности, увлажнения и т.д.). При выполнении исследований были проведены следующие операции: лист березы помещался перед собой брюшной (внутренней) стороной вверх и проводились измерения. Брюшной стороной листа называют сторону листа, обращенную к верхушке побега. С каждого листа снимались показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа (рис. 1).

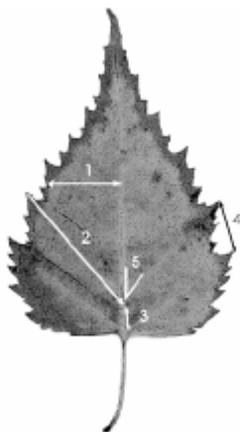


Рис. 1. Схема морфологических признаков, использованных для оценки стабильности развития березы повислой (1 - ширина левой и правой половинок листа, 2 - длина жилки второго порядка, 3 - расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, 4 - расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, 5 - угол между главной жилкой и жилкой второго порядка).

Так же в ходе работы была вычислена относительная величина асимметрии,  $a$ . Она была вычислена по формуле:

$$a = \frac{|L - R|}{|L + R|},$$

где  $L$  – промер слева,  $R$  – промер справа.

Был вычислен показатель асимметрии для каждого листа. Для этого суммировались значения относительных величин асимметрии по каждому признаку и делились на число признаков.

Для оценки степени выявленных отклонений от нормы, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя разработана балльная шкала. Балл - величина показателя стабильности развития. Диапазон значений интегрального показателя асимметрии, соответствующий условно нормальному фоновому состоянию, принимается как первый балл (условная норма). Он соответствует данным, полученным в природных популяциях при отсутствии видимых неблагоприятных воздействий (например, на особо охраняемых природных территориях). В этой связи надо иметь в виду, что на практике при оценке качества среды в регионе с повышенной антропогенной нагрузкой фоновый уровень нарушений в выборке растений или животных даже из точки условного контроля не всегда находится в диапазоне значений, соответствующих первому баллу. Диапазон значений, соответствующий критическому состоянию, принимается за пятый балл. Он соответствует тем популяциям, где есть явное неблагоприятное воздействие и такие изменения состояния организма, которые приводят организм к гибели. Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой [2].

Таблица 1 «Балловая система».

Балл	Величина асимметрии, <i>a</i>
I	<0,040
II	0,040 - 0,044
III	0,045 - 0,049
IV	0,050 - 0,054
V	>0,054

Исходя из исследования территории, из десяти проб всего две получили III балл, остальные получили V, который соответствует критическому состоянию. Из этого следует, что на популяцию берёзы повислой, явно воздействуют неблагоприятные факторы, которые могут привести к гибели организмов. Для улучшения экологических условий необходимо произвести комплексные изменения, например, перенести железнодорожную ветвь за город, расширить дорогу, для уменьшения автомобильных пробок.

#### Список используемой литературы:

1. Панин О.С. Проблемы антропогенного воздействия на биосферу: Курс лекций. – М.: МГУ, – 2007. – 120с.
2. Дадаева А.Р. Оценка качества среды по состоянию листьев на примере берёзы (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур): Методические указания к лабораторной работе. – Великий Новгород: НовГУ, – 2006. – 7 с.

УДК 620.193.004.2

### Обеспечение экологической безопасности эксплуатации магистральных трубопроводов

*А.Ф. Бархатов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [barhatov@sibmail.com](mailto:barhatov@sibmail.com)*

Показана актуальность проблемы несанкционированных врезок на действующих магистральных трубопроводах. Установлена экологическая опасность несанкционированных врезок. Проанализированы системы, которые используются для обнаружения несанкционированных врезок. Сделан вывод о том, что инфразвуковая система мониторинга трубопроводов позволит повысить экологическую безопасность эксплуатации трубопроводов за счет снижения количества несанкционированных врезок, а также скорости их регистрации.

Проблема обеспечения промышленной и экологической безопасности трубопроводного транспорта углеводородов (УВ) – нефтепроводов, продуктопроводов и газопроводов – всегда была актуальной. Магистральные трубопроводы (МТ) работают под большим давлением и при нарушении их герметичности происходит значительный по объему выброс продуктов перекачки. Это не только причиняет материальный ущерб предприятиям трубопроводного транспорта в связи

с потерями продукта перекачки, затратами на ликвидацию аварий, штрафными санкциями, но и приводит к загрязнению окружающей среды, создает предпосылки для возникновения чрезвычайных экологических ситуаций техногенного характера.

Для России необходимость обеспечения безопасности трубопроводного транспорта УВ носит особенно острый характер. Это связано в первую очередь с большой протяженностью действующих и проектируемых МТ. Кроме того, серьезной проблемой являются несанкционированные врезки в МТ с целью отбора продукта перекачки, приобретающие все более серьезные масштабы. Рост числа таких врезок напрямую связан с увеличением стоимости УВ и продуктов их переработки. Несанкционированные врезки сопровождаются механическими воздействиями на трубопровод, утечками продукта перекачки, наносят значительный материальный ущерб компаниям, эксплуатирующим трубопроводы, и в ряде случаев приводят к серьезным экологическим катастрофам [1].

В настоящее время хищения нефтепродуктов и газа путем несанкционированных врезок в МТ приобретают масштаб острой государственной проблемы. Значительная протяженность МТ затрудняет постоянный контроль их состояния, а прохождение трубопроводных систем через густонаселенные территории способствует росту числа несанкционированных врезок. В некоторых регионах ситуация с такими врезками привела к тому, что транспортные компании вынуждены рассматривать вопрос о закрытии части своих магистральных трубопроводов, в том числе работавших на экспорт газа и нефтепродуктов. Это связано с тем, что суммы ущерба от хищения транспортируемых продуктов делают эти участки трубопроводов нерентабельными [2].

Компании, эксплуатирующие МТ прилагают немало усилий для обеспечения их безопасной эксплуатации. Значительные средства расходуются на охрану трубопроводов, текущее обслуживание, диагностику и ремонт.

Для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта, защиты от несанкционированных врезок необходима надежная система непрерывного дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек и охраны. Такие системы интенсивно разрабатываются как в России, так и за рубежом.

В настоящее время на трубопроводах эксплуатируется ряд систем, работа которых основана на различных физических принципах.

**Акустические** системы регистрируют в акустическом диапазоне частот волны, сформированные утечками. К этим системам относятся:

- СНКГН-1, СНКГН-2 (НИИ интроскопии при Томском политехническом университете);
- "LeakWave" (фирма "Энергоавтоматика", Москва);
- "Капкан" (ООО "Проект-ресурс", Нижний Новгород);
- "WaveAlert Acoustic Leak Detection System" (компания Acoustic Systems Incorporated, США);
- "Leak and Impact / Shock Detection System L.D.S." (Франция).

**Параметрические** системы основаны на измерении давления и расхода продукта перекачки. К таким системам относятся:

- "Leak Detection System" (компания Process Automation Systems, Чехия);
- "LeakSpy" (фирма "Энергоавтоматика", Россия); "Leak Detection System" (компания S.E.I.C., Италия);
- "Pipeline Leak Detection System" (компания Tokyo Keiso - KROHNE Pte. Ltd., Сингапур);
- "ATMOS (TM) Pipe" (компания ATMOS INTERNATIONAL LIMITED, Великобритания);
- "Leak detection and location system" (компания Sinulation Software Limited", Великобритания) и некоторые другие.

Предлагаются также системы, работающие на других физических принципах, среди которых, в частности, следует отметить:

- систему виброакустического мониторинга на основе волоконно-оптического кабеля (ООО "ПЕТРОЛАЙТ", Россия);
- волоконно-оптический датчик (кабель) для обнаружения утечек нефти и нефтепродуктов (ООО "Управляющая компания "Созвездие" совместно с ИПМ РАН);
- систему оперативного дистанционного контроля утечек (ОДК) (ЗАО "МосФлоулайн"), основанную на измерении проводимости изоляционного покрытия трубопровода.

Акустические и параметрические системы имеют преимущества по сравнению с другими благодаря более высоким техническим характеристикам и экономическим показателям. При сравнении систем существенным показателем является стоимость оборудования, его монтажа и

текущего обслуживания в расчете на 1 км протяженности трубопровода. И если характеристики двух систем сравнимы, то предпочтение отдается, безусловно, экономически более привлекательной разработке.

Анализ экономических показателей позволяет условно разделить перечисленные системы на две стоимостные группы (распределенные и протяженные системы), которые отличаются способом монтажа оборудования на трубопроводе:

- в распределенных системах регистрирующие модули устанавливаются на МТ, как правило, на значительном расстоянии друг от друга и используют доступные каналы связи - радиоканал, спутниковый, телемеханический, оптоволоконный. К этой группе относятся акустические и параметрические системы;
- в протяженных системах устанавливаемое оборудование требует прокладки вдоль трубопровода дополнительного канала связи.

Для распределенных систем стоимость оборудования, монтажа и текущего обслуживания в расчете на 1 км примерно в 10 раз ниже по сравнению с протяженными системами. В то же время анализ технических характеристик указанных систем показывает, что они обеспечивают регистрацию крупных утечек, сопровождающихся падением давления, и имеют предел чувствительности, который составляет около 1 % производительности трубопровода. При этом утечки с низкой интенсивностью (менее 1 %) такие системы не регистрируют. Так, например, при производительности 2000 м<sup>3</sup>/ч система с чувствительностью 1 % способна обнаружить только утечку с интенсивностью 333,3 л/мин и более [1].

Чувствительность рассматриваемых систем ограничена "шумом" измеряемых параметров. В последнее время растет производительность магистральных трубопроводов, что приводит к увеличению "шума" и снижению чувствительности систем. Реализация только одной функции контроля технического состояния в акустических и параметрических системах является их существенным недостатком.

Для обеспечения нескольких функций, например таких, как регистрация утечек, охрана трубопровода, сопровождение (контроль местоположения) внутритрубных устройств, необходимо устанавливать 3 разные системы, что приводит к снижению надежности при реализации отдельных функций и росту общих затрат.

Актуальность регистрации утечек с низкой интенсивностью чрезвычайно высока, поскольку такие утечки в ряде случаев приводят к масштабным катастрофам. В качестве примера можно привести утечку из Трансаляскинского нефтепровода 2 марта 2006 г., которая привела к одному из крупнейших разливов нефти в США. Установленная на нефтепроводе, эксплуатируемом компанией BP, система обнаружения утечек с чувствительностью 1 % не позволила зарегистрировать утечку. За 5 сут. разлива нефти экологии был нанесен катастрофический ущерб.

Согласно оценкам Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, общий объем потерь при транспортировке нефти в России составляет от 3 до 7%. Двукратный разброс в оценках вызван тем, что не все компании раскрывают статистику происшествий. По информации службы охраны ОАО «Лукойл-Пермь», у компании ежегодно воруются около 100 тыс. тонн нефти - это 1% от всего объема добычи. За счет такого воровства преступные группировки получают средства для дальнейшего существования [3].

Справка: По оценкам экологов, при разливе 25 л нефти на 1 кв. м фитомасса сокращается на 90 % за 1 год. Период самовосстановления растительного покрова после загрязнения почвы нефтью для северных широт составляет 10-15 лет. Растворенная и эмульгированная нефть в концентрации выше 0,05 мг/л приводит к значительным нарушениям биологического равновесия водоемов. 1%-ный водный раствор ароматических углеводородов, которых в нефти содержится 30-40%, убивает все водные растения.

Утечки с низкой интенсивностью характерны и для несанкционированных врезок. Так, например, при производительности трубопровода 2000 м<sup>3</sup>/ч достаточно 30 мин, чтобы, не превышая предела чувствительности системы обнаружения утечек в 1 %, заполнить автоцистерну вместимостью 10 м<sup>3</sup>. Крупные трубопроводы имеют производительность в ряде случаев около 10000 м<sup>3</sup>/ч, и рассматриваемый процесс несанкционированного отбора продукта на таких трубопроводах занимает около 6 мин. В случае разлива продукта с интенсивностью 1 % из трубопровода, работающего при производительности 10000 м<sup>3</sup>/ч, в течение 5 сут. происходит загрязнение территории площадью 1,2 км<sup>2</sup> и толщиной слоя продукта 1 см. Опасен разлив при попадании продукта в реки, в этом случае негативные последствия могут быть катастрофическими [3].

К сожалению, в большинстве случаев факт обнаружения утечки при несанкционированном отборе не позволяет предотвратить хищение. Действительно, в течение нескольких минут отбора служба охраны трубопровода не успевает предпринять защитных мер. В то же время существует возможность раннего обнаружения несанкционированного доступа, поскольку работы, связанные с врезками, сопровождаются механическими воздействиями на трубопровод, которые могут быть зарегистрированы.

В 2009-2010 гг. на действующих МТ проведены комплексные испытания новой, разработанной новосибирскими учеными, многофункциональной системы мониторинга технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек. Система получила название «Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов» (ИСМТ). В ИСМТ используется метод регистрации инфразвуковых колебаний, которые, как показали исследования, распространяются внутри трубопровода (по крайней мере, с жидкими продуктами) на расстояния до нескольких сотен километров. Благодаря слабому затуханию инфразвуковых волн эта система способна обнаружить утечку из трубопровода, механическое воздействие на стенку трубы, источники "шума", формирующиеся на значительном удалении от места регистрации.

Высокая чувствительность системы обеспечивает сопровождение внутритрубных снарядов для ряда участков трубопроводов протяженностью до 100 км с помощью одной инфразвуковой антенны, установленной на трубопроводе. В системе реализована возможность подключения к известным каналам связи, организована передача результатов мониторинга во внешние системы управления технологическими процессами [1].

Практика внедрения ИСМТ показала, что требования к надежности оборудования, устанавливаемого на трубопроводах, крайне высоки, поскольку оно работает на большом расстоянии от оператора и средств технической поддержки. В ИСМТ реализованы аппаратные и программные решения, которые обеспечивают ее стабильную автономную работу. Текущее обслуживание не требуется благодаря функции автоматической дистанционной самодиагностики (сервисная функция "охрана и диагностика собственных модулей"), включающей элементы прогноза технического состояния оборудования и запись архивов результатов диагностики с длительностью до 3 мес. в энергонезависимую память. Благодаря реализации указанной функции обеспечиваются повышение надежности работы оборудования ИСМТ, его безаварийная эксплуатация в течение не менее 6 лет. Все это позволяет минимизировать затраты на его обслуживание.

#### **Список используемой литературы:**

1. Васильев И.В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – № 6 – С.51 – 54.
2. Новые системы охраны магистральных нефтегазопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.psj.ru> (дата обращения 27.05.10).
3. Казаков А.В. Защита трубопроводов от несанкционированных врезок // Системы безопасности. – 2008. – № 5. – С.68 – 72.

УДК 620.193.004.2

### **Проблема сжигания попутного нефтяного газа в Томской области**

*А.Ф. Бархатов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**E-mail: [barhatov@sibmail.com](mailto: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 недропользователями, 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  $\text{CO}_2$  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 невозполнимый энергетический ресурс, являющийся к тому же ценным нефтехимическим сырьем. За 2008 г. на территории Томской области добыто 764 млн.  $\text{м}^3$  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.  $\text{м}^3$  попутного нефтяного газа, а в денежном эквиваленте, при средней цене на ПНГ в 253 руб. за 1000  $\text{м}^3$ , 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 способом 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  $\text{CO}_2$ , то есть 90 млн. тонн  $\text{CO}_2$  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 поглощаются 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.  $\text{м}^3$  ПНГ.

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

Еще одной проблемой, связанной с утилизацией попутного нефтяного газа, является низкая цена на ПНГ, которая зависит от газожижкостного 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  $\text{м}^3$  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 используемой 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](http://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 628.32

#### **Разрушение пероксидных соединений в отходах производства растительных масел**

*М.В. Енютина, Л.Н. Костылева, Т.В. Тарасевич*

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия*

*E-mail: [kostyleva12@yandex.ru](mailto:kostyleva12@yandex.ru)*

Изучили возможности разрушения пероксидов и изменения класса опасности отработанных отбельных глин при их размещении на полигонах твердых отходов. Отработанная отбельная глина обрабатывалась образцами сточной воды с различными рН, которые достигались введением золы, имеющей щелочную реакцию, при различном времени контакта водной фазы с отходом. Содержание пероксидов контролировали с использованием отраслевых методик анализа. В результате проведенных экспериментов удалось снизить класс опасности отхода.

Развитие отраслей пищевой промышленности приводит к появлению многотоннажных отходов производства, утилизация которых представляет значительные проблемы. Одним из таких отходов являются отработанные отбельные глины, образующиеся на стадии обесцвечивания растительных масел. Существующая технология утилизации данных отходов предусматривает их захоронение на свалках твердых бытовых отходов. Однако, при доступе воздуха начинается интенсивное окисление адсорбированных на глинах органических веществ с образованием органических пероксидов, что приводит к самопроизвольному возгоранию при захоронении. Происходит неконтролируемое горение данных отходов с выбросом в атмосферу различных токсичных веществ.

Целью данных исследований являлось изучение возможности разрушения пероксидов и изменения класса опасности отработанных отбельных глин при их размещении на полигонах твердых отходов.

Поставленная цель достигалась обработкой отхода сточными водами того же предприятия и золой, полученной при сжигании лузги подсолнечных семечек. Количество отбеленной глины составляет 0,1-2 % от массы масла, температура отбеливания – 75-80 °С, давление в отбельных аппаратах – 4 кПа.

В качестве исходного раствора рассматривались два образца сточной воды с рН равными 4,5 и 6,5. Экспериментальные исследования проводились с использованием сточной воды, имеющей рН 4,5, выбор образца осуществлялся с учетом того обстоятельства, что сточная вода с указанным рН не может быть отправлена на обезвреживание в локальные очистные сооружения предприятия, требуется ее предварительная нейтрализация. Поэтому рН сточной воды изменяли введением щелочных реагентов, в качестве которых использовали золу от сжигания лузги подсолнечных семян, образующуюся на предприятии в качестве отхода производства. В результате были получены четыре варианта сточной воды с рН 6,81; 7,84; 8,32; 8,50.

Процесс разрушения контролировался аналитически по методике определения пероксидов. Исходные образцы отработанной отбельной глины относятся к 4 классу опасности. Содержание пероксидов в этих образцах составляет 5,82 и 6,89 ммоль/кг. Экспериментальные исследования проводили на образце глины, имеющем большее содержание пероксидов. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента по разрушению пероксидов в отработанных, отбельных глинах при рН 6,5-8,5.

Номер опыта	Массовая доля введенной в сточную воду золы, масс.д., %	Полученное значение рН сточной воды	Массовое соотношение глина:сточная вода	Содержание пероксидов после 24 ч взаимодействия, ммоль/кг
1	0,5	6,81	1:1	3,13
2	1	7,84	1:1	1,65
3	1,5	8,32	1:1	2,25
4	2	8,50	1:1	2,52

Регрессионный анализ результатов эксперимента показал, что наилучшие результаты по разрушению пероксидов в отработанных отбельных глинах получены при рН раствора, которым обрабатываются отходы, равным 6,5-8,5 (рис. 1)

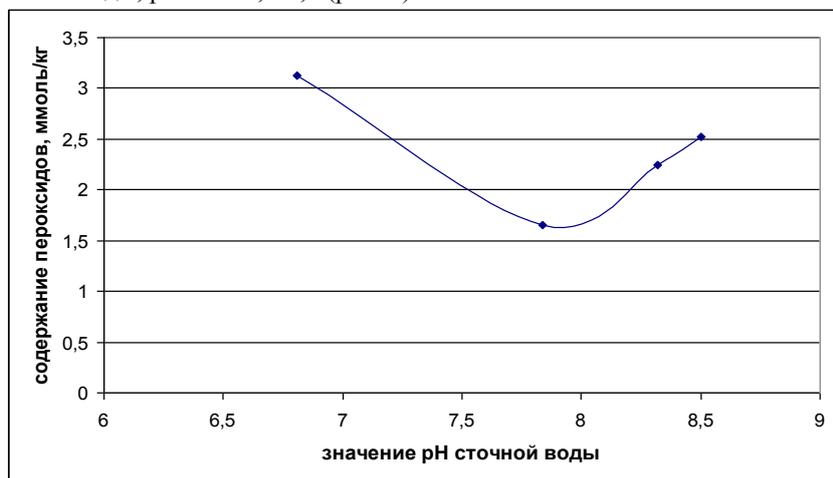


Рис. 1. Зависимость содержания пероксидов от рН сточной воды.

Дальнейшие исследования проводились для определения необходимого времени контакта водной фазы с отходом и массового соотношения отхода и водной фазы. Для этого образцы отхода обрабатывались сточной водой с рН 7,84 в различном соотношении и различном времени контакта. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. Определение времени контакта водной фазы с отходом и массового соотношения глина/сточная вода.

Номер опыта	Массовое соотношение глина:сточная вода	Содержание пероксидов после 15 мин взаимодействия, моль/кг	Содержание пероксидов после 24 ч взаимодействия, моль/кг	Содержание пероксидов после 7 сут взаимодействия, моль/кг
1	1:1	4,49	1,63	1,63
2	1:2	3,64	1,54	1,52
3	1:3	2,53	1,55	1,52
4	1:4	2,47	1,50	1,49

Из полученных данных видно, что наилучшие результаты эксперимента достигнуты при времени контакта не менее 24 ч и массовом соотношении глина/сточная вода  $\frac{1}{2}$  и 7 суток. Обработанные таким образом отбеленные глины можно отнести к 5 классу опасности. При захоронении обработанного бентонита по предложенной нами методики экологическая система практически не нарушается.

Обезвреживание пероксидных соединений в отработанных отбеленных глинах достигалось обработкой отхода сточными водами того же предприятия и золой, полученной при сжигании лузги и подсолнечных семечек, что является экономически выгодно.

Таким образом, выявлено, что образец, в массовом соотношении глина/сточная вода (рН=7,84) 7/2 при времени контакта не менее 24 ч, может быть отнесен к 5 классу опасности, согласно п.20 «Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды», т.е. класс опасности отхода снижен. Полученные нами результаты подтверждены исследованием на токсические свойства методом биотестирования.

УДК 628.16

#### **Системный анализ энергетических возможностей наружного климата юга Дальнего Востока**

*Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, Ю.Ю. Ильинский, В.И. Николаев*

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

*E-mail: roman44@yandex.ru*

В ходе своего исследования автор сделал вывод, что взаимосвязь уникальных климатообразующих факторов юга Дальнего Востока и их совместное воздействие на тепловой баланс здания в настоящее время недооценивается в строительной практике.

В настоящее время неправильно выбранные исходные климатические показатели для теплотехнических и других расчетов ведут к строительству зданий с плохими эксплуатационными качествами, обусловленными несоответствием между расчетным и фактическим состоянием ограждающих конструкций.

Учет комплексного воздействия климатических параметров необходим в первую очередь при расчетах теплопотерь и теплопоступлений через ограждения, при оценке величины сопротивления теплопередаче и теплоустойчивости наружных ограждений, а также при определении воздухопроницаемости и влажностного состояния ограждающих конструкций и их долговечности.

Недоучет особенностей этих основных факторов климата ведет к несоответствию расчетного теплотехнического состояния сооружения действительному, что сказывается на качестве строительных сооружений, их долговечности и санитарно-гигиенических условиях внутреннего режима помещений. В результате недостаточно полного, а иногда и неверного использования данных о климатических особенностях района застройки фактический срок службы зданий в ряде случаев оказывается в 1,5-2 раза меньше расчетного [1].

За последние годы в отечественной и зарубежной литературе много внимания уделяется необходимости создания комплексных климатологических характеристик, которые будут вмещать в себя все основные особенности метеорологического режима местности. Это важно, прежде всего, потому, что все метеорологические факторы действуют на здание одновременно, усиливая или ослабляя влияние друг друга.

При строительном проектировании необходимо учитывать не просто большое количество климатических параметров, а некоторую комплексную климатическую величину, выражающую совместное действие некоторых метеорологических факторов.

В качестве некоторого приближения к таким комплексным характеристикам могут служить температурные розы ветров, выражающие одновременно повторяемость, среднюю температуру и среднюю скорость ветра каждого направления.

Знание этой величины для каждого пункта строительства позволит оценить наиболее неблагоприятную в отношении совместного действия сильных и холодных ветров сторону ограждения, чтобы исключить отрицательное действие указанных факторов, установив на этой стене здания дополнительные нагревательные приборы, предусмотреть планировочные мероприятия, улучшающие ориентацию сооружений и размещение отдельных комнат внутри здания, или же улучшить теплозащитные свойства стен неблагоприятной ориентации.

Воздействие наружного климата на ограждающие конструкции здания целесообразно характеризовать градиентом метеорологической величины [2, 3], который учитывает направление, величину и повторяемость показателей наружного климата. Статистическая обработка наружного климата как совокупности зависимых (или независимых) случайных величин показывает, что в каждой местности для отдельных характерных периодов времени имеет место свой метеорологический градиент, оказывающий направленное воздействие на формирование теплового баланса ориентированных помещений, так что в результате совокупного действия ветра, солнечной радиации и температуры различно ориентированные помещения имеют соответственно отличающиеся теплотери или теплоступления [4].

Влияние наружного климата на тепловой режим здания и затраты энергии на отопление и охлаждение помещения заключается в комплексном воздействии отдельных метеорологических показателей: температуры, влажности, скорости и направления движения наружного воздуха, прямой и рассеянной радиации. Основным требованием, предъявляемым к математической модели показателей наружного климата, является учет их совместного сочетания. Возможны три подхода к построению математической модели совокупности показателей наружного климата: детерминированный, вероятностный и детерминированно-вероятностный.

Детерминированный подход основан на использовании реального сочетания совокупности показателей наружного климата каждого географического пункта за многолетний период. Сущность этого подхода заключается в следующем. В архивах метеостанции собраны за много лет ежечасные и срочные показатели климата для данного географического пункта. С целью использования в теплотехнических расчетах данные за весь период наблюдения систематизируют в табличную форму. После этого массивы чисел из таблицы заносят во внешнюю память компьютера. При расчетах теплового режима здания значения показателей наружного климата вызываются из внешней памяти компьютера в оперативное устройство, выполняющее расчет. При этом могут быть вызваны значения показателей наружного климата всего периода или его отдельных частей (например, холодный период - январь, теплый период - июль и т.д.). Рассмотренная модель представляется наиболее адекватной моделью климата для данного географического пункта. Использование такой модели позволяет построить гистограмму распределения частот выходного показателя (нагрузки на систему регулирования теплового режима, температуры помещения, температуры внутреннего воздуха и т.д.). Для построения гистограммы на оси ординат наносят расчетные интервалы времени (шаги по времени), а на оси абсцисс – возможные (ожидаемые) значения выходного показателя. Учитывая, что современные компьютеры снабжены графопостроителями, процесс построения гистограммы целесообразно автоматизировать. Анализ распределения частот появления выходного показателя позволяет визуально, а при необходимости и численно оценить его обеспеченность.

При вероятностном подходе к построению математической модели совокупности показателей наружного климата изменение этих показателей является случайным процессом, причем нестационарным и многомерным. Показатели климата проявляют взаимные корреляции, как положительные, так и отрицательные. Так, например, климатической особенностью юга Дальнего Востока в зимнее время сочетание низких температур наружного воздуха с высокими скоростями ветра; в других - низким температурам соответствуют малые скорости ветра. Некоторые метеостанции регистрируют показатели, которые свидетельствуют об отсутствии корреляции похолодания со скоростью ветра. Нестационарность случайного процесса изменения показателей наружного климата иллюстрируется выраженными периодическими составляющими амплитуд, которые, однако, того же порядка, что и чисто случайные составляющие. Если же выделить чисто случайный процесс и рассматривать его изменения во времени, то видно, что

спектр его очень широк, и наряду с очень медленными составляющими (один год в среднем может очень сильно отличаться от другого) видны и быстрые гармоники с периодом в несколько часов. В свете отмеченных выше трудностей нельзя ожидать единого для всех местностей и конкретных задач универсального подхода к построению вероятностной математической модели совокупности показателей наружного климата. В то же время Ю.А. Табунщиков и М.М. Бродач [5] рекомендуют следующие подходы к решению задачи. По экспериментальным данным можно построить как одномерные функции распределения показателей наружного климата, так и двухмерные: температура - скорость ветра, температура - солнечная радиация, температура - относительная влажность, энтальпия наружного воздуха - солнечная радиация.

Распределение повторяемостей двухмерного комплекса можно представить в виде поверхности, определяемой рядом статистических характеристик. Так, поверхность, подчиняющаяся закону нормального распределения, полностью описывается пятью статистическими параметрами: двумя средними, двумя среднеквадратичными отклонениями и коэффициентом корреляции.

Рассмотрение более сложных фазовых областей (трехмерных и более) нецелесообразно, так как потребует большего экспериментального материала, чем накопленный на метеостанциях. Наличие неслучайных составляющих приводит к тому, что приходится все эти распределения строить для конкретного набора времен: скажем, четыре раза в сутки для всех дней данного месяца. Затем выполняется интерполяция по времени между этими четырьмя замерами, причем интерполируется не сам показатель (например, температура), а параметры распределения: среднее и дисперсия. Для двухмерных распределений выполняется интерполяция двух средних, двух дисперсий и коэффициента корреляции. В результате получаем функцию распределения для произвольного момента времени, не ограничиваясь только штатными сроками замеров на метеостанции. Трудность в этом методе возникает при необходимости интерполирования распределения величин, не меняющихся по гармонике. Например, солнечная радиация ночью равна нулю, и ход изменения ее во времени в дневное время может быть очень сложным при переменной облачности. Одним из недостатков метода является то, что он не учитывает динамику процесса, не рассматривает инерцию климатических явлений. Например, в распределение температуры в 19 часов в июне войдут все измерения за июнь текущего года и ряда предыдущих лет. Между тем, погодные условия на юге Дальнего Востока в июне может сильно отличаться в разные годы. Разница между днями этого года может быть несравнимой с разницей, определяемой для разных лет. Однако, исходя из практических потребностей расчетов теплового режима помещений, можно считать, что изложенный метод моделирования распределений обеспечивает инженерную точность результатов расчета.

#### **Список используемой литературы:**

1. Цвид А.А. Комплексный учет климата в строительстве на Дальнем Востоке: дис. ... докт. геогр. наук. Благовещенск. – 1967. – 232 с.
2. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. – Владивосток: ДВГУ, – 2005.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология.- СПб.: Гидрометеиздат, – 1994.
4. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. – Л.: Гидрометеиздат, – 1978. – 170 с.
5. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, – 2002. – 194 с : ил.

УДК 678.762.2

#### **Использование отходов стирольного производства при получении бутадиенового каучука**

***О.Н. Филимонова, Т.В. Маслакова, С.С. Никулин***

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия*

***E-mail: olga270757@rambler.ru***

Показана возможность синтеза низкомолекулярного полимерного продукта из отходов стирольного производства и использование его при получении бутадиенового каучука. Установлено, что содержание полимерного продукта в бутадиене целесообразно выдерживать 3,0-5,0 мас.%. Сделан вывод о том, что полимерный продукт на основе КОРС, КОРЭ и МА улучшает свойства получаемых на его основе вулканизатов, чем масло ПН-6 и позволяет повысить устойчивость их к термоокислительному воздействию.

Производство стирола неизбежно сопровождается образованием и накоплением значительного количества отходов (на 1 т товарного стирола приходится около 20-25 кг побочных

продуктов), основными из которых являются кубовые остатки, образующиеся при выделении и очистке целевого продукта. В составы кубовых остатков ректификации стирола (КОРС) и кубовых остатков ректификации этилбензола (КОРЭ) входит большое количество разнообразных органических соединений, в том числе и стирол, полное извлечение которого по существующей в промышленности технологии не представляется возможным. Его состав также в значительной степени определяется способом получения стирола, применяемыми ингибиторами, технологическими особенностями процесса. В зависимости от условий фракционирования печного масла содержание стирола в КОРС может изменяться от 10 до 50 %, а полистирола – от 15 до 70 %. Сложность поиска наиболее эффективного использования КОРС и КОРЭ заключается в том, что качественный и количественный состав продукта колеблется в значительных пределах. Несмотря на это поисковые исследования по их переработке и использованию продолжаются. В центральной печати опубликован ряд работ по их переработке и использованию. Доминирующая часть предлагаемых методов переработки КОРС направлена на получение на их основе полимерных материалов. Именно это направление и было использовано в промышленных масштабах. Полимерные материалы на их основе широко применялись в производстве лакокрасочных материалов [1]. В ряде работ [2, 3] была показана перспективность применения полимерных материалов на основе КОРС и КОРЭ в качестве пропиточных составов для древесных материалов, в дорожном строительстве и др.

Однако и до настоящего времени продолжают проводиться поисковые исследования по переработке и использованию КОРС и КОРЭ, которые имеют важное научное и прикладное значение, так как позволяют снизить потери ценного углеводородного сырья, получить продукты, обладающие комплексом новых свойств и улучшить экологическую обстановку.

Цель исследования – получение низкомолекулярного полимерного продукта из КОРС и КОРЭ с последующим рассмотрением возможности его применения в производстве полибутадиенового каучука.

Введение низкомолекулярного полимерного материала полученного из КОРС и КОРЭ в полибутадиеновый каучук можно осуществить следующими способами:

- непосредственное смешение раствора полибутадиена с раствором низкомолекулярного полимерного материала на основе КОРС и КОРЭ;
- растворение в полученном низкомолекулярном полимерном материале антиоксидантов, перед подачей на смешение с раствором полибутадиена;
- растворение в низкомолекулярном полимерном материале антиоксидантов с последующим эмульгированием полученной полимерноантиоксидантной смеси в водной фазе, содержащей поверхностно-активные вещества (ПАВ) и последующим смешением с раствором полибутадиена.

Два последних варианта являются предпочтительными. Это связано с тем, что дополнительное введение в получаемый полибутадиен полимерного материала на основе КОРС позволит более полно и рационально использовать дорогостоящее сырье. Введение в углеводородный раствор полибутадиена эмульгированного раствора низкомолекулярного полимерного материала и антиоксиданта позволит исключить применение подщелоченной воды, подаваемой для дезактивации катализатора Циглера-Натта.

Выделение каучука из раствора осуществляли методом водной дегазации. Обезвоживание проводили в сушильном шкафу при температуре 80-85 °С. В дальнейшем из полученного полибутадиена готовили резиновые смеси, которые подвергали вулканизации.

В данной работе проведено исследование по синтезу полимеров на основе КОРС и КОРЭ с дополнительным введением малеинового ангидрида (МА) в количестве от 5 до 10 мас.% на 100 мас.% отхода. Синтез проводили следующим образом. В реактор, снабженный перемешивающим устройством, загружали расчетное количество КОРС, КОРЭ и МА. Реактор герметично закрывали, реакционную массу нагревали до  $(150 \pm 2)$  °С и выдерживали в течение заданного времени при постоянном перемешивании. Процесс контролировали периодическим отбором проб из реактора с последующим отгоном из них непрореагировавших продуктов.

Математическая обработка экспериментальных результатов с использованием компьютерных программ позволила получить уравнения, описывающие влияние продолжительности процесса сополимеризации на выход полимерного материала на основе КОРС, КОРЭ и МА ( $Y$ , %) при разном их содержании. Для процесса проводимого при 150 °С при изменении соотношения КОРС и КОРЭ (1:2; 1:1; 2:1), а также содержания МА 5, 7, 10 мас.% уравнения соответственно имели следующий вид:

$$Y_5 = 3,34 + 0,675x - 6,39 \cdot 10^{-3}x^2,$$

$$Y_7 = 4,53 + 0,737x - 7,18 \cdot 10^{-3}x^2,$$

$$Y_{10} = 3,69 + 1,02x - 1,11 \cdot 10^{-2}x^2.$$

В ряде опубликованных работ [4, 5] была показана возможность применения низкомолекулярных сополимеров из отходов и побочных продуктов нефтехимии в составах резиновых смесей. Так, добавка в бутадиеновый каучук, имеющий низкую пластичность полимерных материалов из побочных продуктов нефтехимии позволяет снизить вязкость и повысить пластичность каучука. По своему действию они приближаются к маслу ПН-6.

Важным аспектом при этом является способ ввода в каучук полученного полимерного материала и оценка его влияния на свойства получаемого каучука и вулканизатов. Ввод в каучук низкомолекулярных полимерных продуктов на основе отходов и побочных продуктов нефтехимии на вальцах в процессе приготовления резиновых смесей не обеспечивает хорошего равномерного распределения его в объеме каучуковой матрицы. Наиболее перспективным способом ввода синтезированных продуктов является использование их в виде толуольного раствора для приготовления раствора антиоксиданта, с последующим вводом в раствор полибутадиена перед подачей на дегазацию. Ещё более совершенным направлением является предварительное эмульгирование полученного толуольного раствора полимера и антиоксиданта, перед подачей его на смешение с раствором полибутадиена. Однако для получения эмульсии требуется применение водной фазы, содержащей щелочь, которая взаимодействуя с ангидридными группами, дает соответствующие соли, что и обеспечивает получение стабильной эмульсии.

Молекулярная масса синтезированного полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА, определенная вискозиметрическим методом, находилась в пределах от 1200 до 2500.

В дальнейшем, в полученный полимерный материал на основе КОРС и КОРЭ вводили дополнительно углеводородный растворитель — толуол, с целью снижения вязкости и получения раствора с концентрацией 40-60 мас.% с антиоксидантом (агидол-2), применяемым в производстве полибутадиена. Полибутадиен, с введенным в него полимерным материалом и антиоксидантом, эмульгированном в водном растворе, содержащим ~2,0 мас.% гидроксида натрия или калия, выделяли из раствора методом водной дегазации и сушили в сушильном шкафу при температуре 80-85 °С. На основе полученных образцов полибутадиенового каучука приготовлены резиновые смеси по стандартной рецептуре, которые были подвергнуты вулканизации. Испытания полученного каучука и вулканизатов проводились по общепринятым методикам, результаты представлены в таблице.

Таблица. Свойства полибутадиенового каучука и вулканизатов.

Наименование показателя	Содержание полимерного продукта в бутадиене, мас.%				Масло ПН-6, мас.%	Контроль
	0,5	1,5	3,0	5,0		
Вязкость по Муни	45	43,5	42,5	40	39	48
Потеря массы при сушке, мас.%	0,11	0,11	0,13	0,14	0,13	0,13
Массовая доля золы, %	0,14	0,15	0,16	0,17	0,16	0,18
Массовая доля антиоксиданта (агидол-2), %	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Условное напряжение при 300 % удлинении, МПа	8,6	8,5	7,9	7,7	7,1	8,9
Условная прочность при растяжении, МПа	19,7	19,3	18,8	18,1	17,7	19,353
Относительное удлинение при разрыве, %	600	695	680	550	610	570
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	10	9	9	8	14	10
Коэффициент старения:	0,44	0,49	0,52	0,50	0,37	0,47
- по относительному удлинению	0,55	0,57	0,61	0,58	0,45	0,56

Примечание: температура вулканизации – 143 °С; продолжительность вулканизации – 40 минут.

Анализ полученных результатов показывает, что дополнительное введение в полибутадиен полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА приводит к небольшому снижению прочностных показателей вулканизатов. Особенно это заметно при повышенном содержании

полимерного материала в полибутадиене. Оценка влияния масла ПН-6 на свойства полибутадиена в сравнении с синтезированным полимерным продуктом показывает на преимущества данного продукта перед маслом ПН-6, выражающееся в меньшем влиянии на снижение прочностных показателей вулканизатов. Это может быть объяснено усилением полимерной матрицы стирольными фрагментами. Так как известно, что стиролсодержащие сополимеры обладают более высокими показателями, чем полидиены [6].

Необходимо отметить также, что введение антиоксиданта совместно с полимерным материалом обеспечивает его меньшие потери в процессе дегазации (выделения каучука из раствора), заключающимся в отгонке незаполимеризовавшихся мономеров и растворителя из полимеризата. Это может быть связано с тем, что фенольный или аминный антиоксидант может образовывать химические и водородные связи с молекулами низкомолекулярного полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА в процессе приготовления раствора.

В результате данного взаимодействия антиоксиданта с функциональными группами макромолекул КОРС, КОРЭ и МА происходит уменьшение его потерь на стадии дегазации. Это в свою очередь должно положительно отразиться на свойствах каучука и вулканизатов на его основе. Кроме того, можно предположить, что происходит образование «депо» антиоксидантов, что способствует его более рациональному использованию, снижению потерь и увеличению защитных свойств изделия. Возможность образования «депо» антиоксидантов была показана в работе [7].

#### Выводы

- Углеводородный раствор синтезированного полимерного продукта на основе КОРС, КОРЭ и МА может быть использован в производстве полибутадиена для приготовления раствора антиоксиданта.
- Введение МА при синтезе до 7 мас.%, дозировку полимерного продукта в полибутадиен целесообразно выдерживать 3,0-5,0 мас.%
- Полимерный продукт на основе КОРС, КОРЭ и МА вводимый в полибутадиен улучшает свойства вулканизатов по сравнению с маслом ПН-6.
- Введение антиоксиданта совместно с полимерным продуктом на основе КОРС, КОРЭ и МА позволяет повысить устойчивость вулканизатов к термоокислительному воздействию.

#### Список используемой литературы:

1. Филимонова О.Н. Переработка и применение кубовых остатков ректификации стирола. – М.: Академия Естествознания, – 2009. – 76 с.
2. Никулин С.С., Шеин В.С., Злотский С.С. и др. Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза. – М.: Химия, – 1989. – 240 с.
3. Петьхин Ю.М., Концова Л.В. Отходы нефтехимических производств – сырьё для синтетических продуктов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. – 1991. – 72 с.
4. Никулин С.С., Хохлов К.А., Хохлова О.А., Сахокия И.А., Маликов Б.Ф. Сополимеризация непредельных соединений, содержащихся в кубовом остатке ректификации возвратного растворителя, со стиролом // Производство и использование эластомеров. – 2003. – № 5. – С. 16-18.
5. Филимонова О.Н., Никулин С.С., Седых В.А., Хохлова О.А. Модификация эмульсионного каучука на стадии латекса // Каучук и резина. – 2003. – № 3. – С. 13-16.
6. Кроть В.А., Ривин Э.М., Щербань Г.Т. Свойства и применение диеновых олигомеров. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, – 1984. – 41 с.
7. Легоцки П., Кавун С.М. Антиозонаты с продленным действием. Пути к достижению цели / VI Российская научно-практическая конференция «Сырье и материалы для резиновой промышленности. От материалов - к изделиям» // Тез. докл. Москва 17-21 мая 1999. – С. 141-143.

УДК 87.03.07, 87.35.91

**Самоорганизация как вариант существования природно-сельскохозяйственной геосистемы.**

**Т.Ш. Фузелла**

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

**E-mail: [fts10@yandex.ru](mailto:fts10@yandex.ru)**

Самоорганизация понимается как совокупность структуры и процессов, в ходе которых создаётся, воспроизводится, совершенствуется организация сложной динамической системы, что

происходит за счёт притока внешней энергии. Данный процесс является имманентным свойством сложной системы, стремящейся к состоянию динамического равновесия, которое “почти” достигается. Здесь подразумевается некоторая несбалансированность прихода-расхода потоков энергии (и вещества), т.е. наличия такого “сальдо”, которое и служит материалом саморазвития системы. Отчуждение системой вещества и энергии приводит к их дальнейшей концентрации, поляризации, т.е. к увеличению свободной энергии, которая и тратится на самосовершенствование и укрепление организации, своего рода “возвышение” над средой. Сами системы такого рода “живут” (в системном смысле) за счёт использования отторгнутой энергии внешней среды для собственных нужд. Мы предпочитаем называть это явление самоорганизацией, а системы, которые обладают таким свойством, - самоорганизующимися. Самоорганизация – это свойство и агроэкосистемы.

Следуя общему определению, агроэкосистема - это природно-сельскохозяйственная геосистема региональной размерности, в структуре которой главную роль играют обрабатываемые земли, сочетающиеся с пастбищными и сенокосными угодьями, элементами экологического каркаса и социально-экономической инфраструктуры.

Подходя с позиций самоорганизации, *агроэкосистемами* мы называем такие социальные эколого-экономические образования, которые, формируясь на основе взаимной целесообразности структуры, достигают наивысшей в данных условиях производительности и устойчивости.

Такие системы относятся к числу самоорганизующихся, потому что они формируются, “самопричинно”, или самопроизвольно, без заранее поставленной и просчитанной цели. Цель их развития является аттрактивной в том отношении, что, появляясь, они влекут процесс к себе, поскольку представляют собой наиболее эффективную силу производства продукции.

Целенаправленное конструирование природных систем технически решить возможно. Но для этого необходимо знать законы организации и функционирования экосистем, механизмы, обеспечивающие их устойчивость, реакцию на различные виды возделывания, допустимые уровни воздействия.

В давно обжитых районах надо изменить не только наше поведение, технологии, но и сами экосистемы, хотя бы потому, что они здесь нарушены и угнетены. Рекультивация - это тоже конструирование агроэкосистем. Проще и полезнее исключить выброс вредных веществ в экосистему, чем затрачивать средства и энергию на очистку, предотвращение последствий. Существует необходимость в создании агроценозов, приспособленных к условиям периодического длительного обводнения, так как среди саморегулируемых систем рекордными по продуктивности и социальной значимости являются заливные луга и экосистемы приливных маршей.

Идею ландшафтного конструирования первоначально требуется проверить на небольшой натурной модели, например на участке площадью в несколько гектаров. Участок должен включать разнообразные урочища. Необходимо добиться устойчивого воспроизводства культур, довести их продуктивность до максимально возможной. Если будет перерабатываться значительная часть годового прироста растительности, возрастёт продуктивность территории, а контуры продуктивных сообществ будут расширяться, то эксперимент по “раскручиванию” биокруговорота можно считать удавшимся. Здесь не требуется рисковать большими деньгами и территориями, всё можно проверить на малой модели. Исследования необходимо проводить с позиций системного подхода, когда конкретная хозяйственная деятельность в конкретных природных условиях рассматривается как единая природно-хозяйственная система (ПХС). Природно-хозяйственная система - это открытая сложная система, состоящая из двух блоков: природного и хозяйственного.

Основу, структуру и пространственные масштабы природно-хозяйственной системы определяют природные условия территории, на которой она формируется. Производственный блок - наиболее активная часть системы, включает все виды хозяйственного возделывания и позволяет управлять развитием и перестройкой всей системы в целом. Целостность ПХС определяется единством выполняемых социальных и экономических функций, а время их существования - продолжительностью природопользования. Для ПХС характерно появление новых устойчивых элементов в природной составляющей, а также формирование разных типов природно-антропогенного круговорота веществ и потоков энергии на основе использования человеком природного потенциала ландшафта. Современные ПХС, в отличие от составляющих их коренных элементов экосистемы, характеризуются более сложным функционированием и своеобразным сочетанием самоорганизации природных процессов и самоорганизации, обусловленной управлением.

Тесная корреляция ПХС с местной ландшафтной структурой наблюдается на локальном уровне и связана с исторически выработанной адаптивностью хозяйственной деятельности. Территориальная организация, типы производства в сельском и лесном хозяйстве, размещение и характер поселения во многом обусловлены исходной ландшафтной дифференциацией. Наиболее трудной задачей в изучении и конструировании ПХС, тем более существовавших в давнем историческом прошлом, является установление их границ. Принимая за основу границы территории, в которых велась та или иная хозяйственная деятельность, необходимо учитывать степень и антропогенной изменчивости.

В наше время всё больший вес приобретают идеи адаптивно-ландшафтного земледелия, ориентированные на максимальную мобилизацию естественного потенциала возделываемых земель при разумном сокращении антропогенного воздействия. Главным правилом оптимизации функционирующих сельскохозяйственных земель должно быть неукоснительное сбережение и поддержание в хорошем состоянии естественных элементов экологического каркаса. Природная основа экосистемы должна рассматриваться как безусловный базис устойчивого природопользования. Природные геосистемные образования обладают той подвижно-равновесной, способной к самовосстановлению структурой, в которую должны “встраиваться” и “вписываться” хозяйственные структуры. Непонимание или игнорирование столь важного принципа современного природопользования - главная причина всех локальных, региональных и глобальных экологических проблем нашего времени. Достичь оптимального положения можно сочетанием адаптивного и конструктивного подходов при проектировании хозяйственных начинаний. Адаптивное земледелие заключается в сближении структуры и функционирования агроэкосистемы с естественными системами, в имитации на сельскохозяйственных землях природных режимов и механизмов саморегуляции.

Вариант решения проблемы целенаправленного крупномасштабного конструирования природно-хозяйственных систем должен включать следующие этапы:

- 1) картографирование исследуемой территории и выявление современной ландшафтной структуры;
- 2) установление главных черт динамики и функционирования природно-территориальных комплексов, их ресурсного потенциала, составление агропроизводственных характеристик и т.д.;
- 3) определение современных антропогенных нагрузок и современного состояния ландшафтов;
- 4) определение ресурсного потенциала ландшафтов и их морфологических частей;
- 5) изучение истории заселения и освоения ландшафтов на основе исторических и архивных материалов;
- 6) поиск вариантов конструирования экосистемы на принципах самоорганизации и разработка моделей их функционирования на принципах саморегуляции.

Однако решение данных проблем не будет успешным, если не будет введено научно обоснованное, целенаправленное управление процессом, не будет отработан соответствующий управляющий орган. Тем более, когда совокупность агроэкосистем по занимаемой территории и производимой продукции, по социальной и жизненной значимости играет определяющую роль. Целесообразность природных процессов должна соединиться с целесообразностью процессов управления – действий власти на различных иерархических уровнях. Управляющие органы тогда соответствуют целям, когда они формируются на основе требований технологического процесса.

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

### **Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров с учетом преград**

*Е.С. Хапова, Е.А. Халдина*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [ekaterinakhapova@mail.ru](mailto:ekaterinakhapova@mail.ru)*

Лес – часть поверхности Земного шара, покрытая древесными растениями. Жизненная среда для многих птиц и зверей, источник древесины, ягод, грибов и технического сырья. Имея важное климаторегулирующее, почво- и водозащитное значение, лесной покров Земли является одним из факторов устойчивости биосферы и требует постоянной заботы о его сохранении и возобновлении.

Леса покрывают в России 1254 млн. га. Это составляет 22.5 % от площади лесов во всем мире. Наша страна является крупнейшим производителем деловой древесины. Кроме того, леса являются источником различных видов сырья для промышленности. С экологической точки зрения они играют важную роль в очищении атмосферного воздуха и обогащении его кислородом. В результате лесных пожаров ежегодно в Российской Федерации гибнет около 1 млн. га леса. Возникновение и распространение лесных пожаров зависят от различных условий (климатических: скорости ветра, температуры окружающей среды, состояния атмосферы и т.д.) рельефа местности и других факторов. Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади. Следует отметить, что до сих пор не выяснены до конца механизмы и условия возникновения различных видов лесных пожаров. Тушение лесных пожаров требует больших затрат сил и средств, и, в подавляющем большинстве случаев, малоэффективно или невозможно. Экспериментальные методы изучения лесных пожаров являются дорогостоящими и не позволяют проводить полное физическое моделирование данного явления, представляют интерес теоретические методы исследования. Поэтому изучение данного явления с помощью метода математического моделирования помогает разработать профилактические меры по предотвращению и определению возможности возникновения лесных пожаров. Как показали исследования, метод математического моделирования позволяет адекватно описывать состояние лесного биогеоценоза и приземного слоя атмосферы при лесных пожарах.

Лесной пожар — это стихийное, неуправляемое распространение огня по лесным площадям. В результате лесных пожаров ежегодно в Российской Федерации гибнет около 1 млн. га леса. Возникновение и распространение лесных пожаров зависят от различных условий (климатических: скорости ветра, температуры окружающей среды, состояния атмосферы и т.д.) рельефа местности и других факторов. Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади. Для устойчивого развития любой страны необходимо принятие мер по сокращению ущерба, причиняемого чрезвычайными ситуациями, в частности лесными пожарами. Эти меры должны опираться на теорию анализа и управления риском. Согласно статистике, приведенной в государственных докладах Министерства по чрезвычайным ситуациям Российской Федерации за 2003-2005 годы, природные пожары составили значительную часть всех чрезвычайных ситуаций природного характера.

В данной работе приводятся результаты расчетов возникновения и распространения верхового лесного пожара по осредненной по высоте полого леса двухмерной постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров. Этот метод основывался на численном решении трехмерных уравнений Рейнольдса для турбулентного течения с учетом уравнений диффузии для химических компонентов и уравнений сохранения энергии для газовой и конденсированной фаз и уравнения состояния. Для получения дискретных аналогов использовался метод контрольного объема.

Ежегодно проводится комплекс контролируемых и совершенствующихся мероприятий, в том числе и профилактических, направленных на предупреждение, снижение пожарной опасности, своевременное обнаружение и ликвидацию лесных пожаров.

К таким мероприятиям можно отнести создание специально разрубленной в лесу просеки шириной до 20 м, очищенной от горючих материалов, с минерализованной полосой или дорогой с целью организации препятствий на пути распространения лесных пожаров и создающий условия для их тушения. Это так называемый противопожарный разрыв, который предназначен для остановки распространения верховых и сильных низовых лесных пожаров.

В ходе нашей работы исследуется такой параметр лесного массива, как противопожарные разрывы различного рода (просеки, дороги, поляны и т.д.). Были проведены численные расчеты для определения значений ширины разрыва, при котором пожар переходит его либо не преодолевает данный разрыв. Так же экспериментально получено минимальное расстояние разрыва, при котором фронт пожара останавливается и уже не распространяется на дальнейшие участки.

В результате численного интегрирования получены поля массовых концентраций компонент газовой фазы, температур, объемных долей компонент твердой фазы.

На рисунках 2-4 представлены перечисленные выше характеристики, равномерно распределенные по всей области.

1) Разрыва нет.

Изотермы газовой фазы и изолинии концентраций кислорода и продуктов пиролиза равномерно распределены по всей области. Фронт движется по направлению ветра (ось X1) и расширяется в перпендикулярном направлении ветру по оси X2.

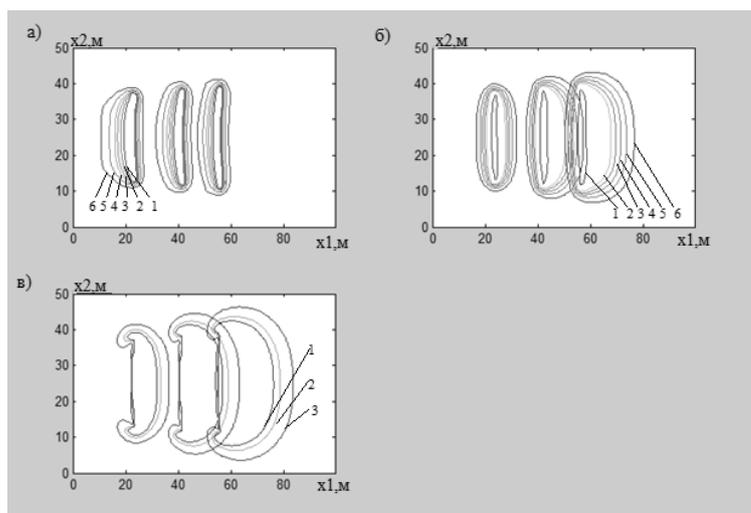


Рис.2. Распределения изолиний при отсутствии разрыва.

а) Изотермы газовой фазы  $\bar{T}$  ( $\bar{T} = T/T_e, T_e = 300K$ ): 1 – 4; 2 – 3,5; 3 – 3; 4 – 2,6; 5 – 2,0; 6 – 1,5.

б) Изолинии концентрации кислорода ( $\bar{c}_1 = c_1/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ): 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 0,6; 4 – 0,7; 5 – 0,8; 6 – 0,9.

в) Изолинии концентрации продуктов пиролиза  $\bar{c}_2$  ( $\bar{c}_2 = c_2/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ): 1 – 0, 1; 2 – 0,05; 3 – 0,01.

2) Пожар преодолевает разрыв.

Фронт пожара по оси X2 в окрестности разрыва остается неизменным, а далее, преодолев разрыв, расширяется в перпендикулярном направлении (по оси X2).

3) Пожар не преодолевает разрыв.

Изотермы газовой фазы и изолинии концентраций кислорода и продуктов пиролиза равномерно распределены только до разрыва.

На рисунке 5 показаны результаты расчетов при распространении по всей поляне со скоростью ветра 5 м/с. Скорость ветра совпадает с направлением оси X1. Изначально источник пожара имеет форму прямоугольника. Изотермы деформируются под действием ветра и контур лесного пожара имеет форму полумесяца (рис.5а, кривые I). Когда пожар (изотермы II на рис.5а) движется вокруг лесной поляны, он делится на две части. Но после этого два фронта пожара объединяются в единый огонь (изотермы III на рис.5а).

На рисунках 5б и 5с представлено распределение концентраций кислорода и горючих летучих продуктов пиролиза в этом случае.

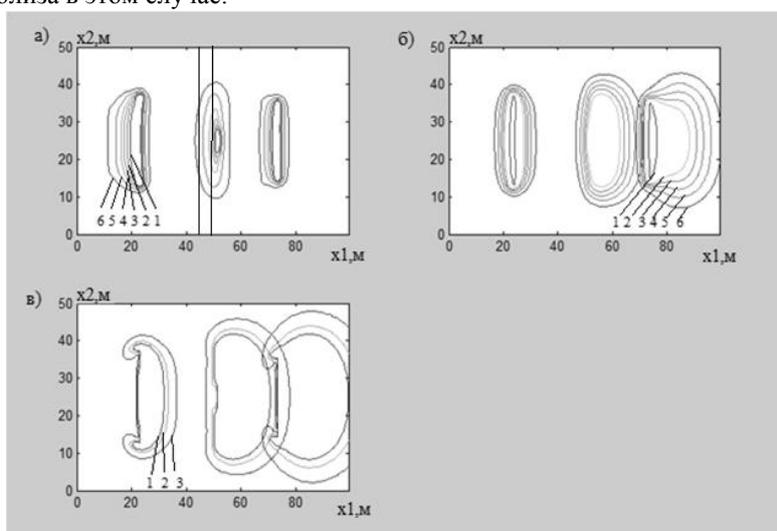


Рис.3. Распределения изолиний для случая преодоления разрыва фронтом пожара.

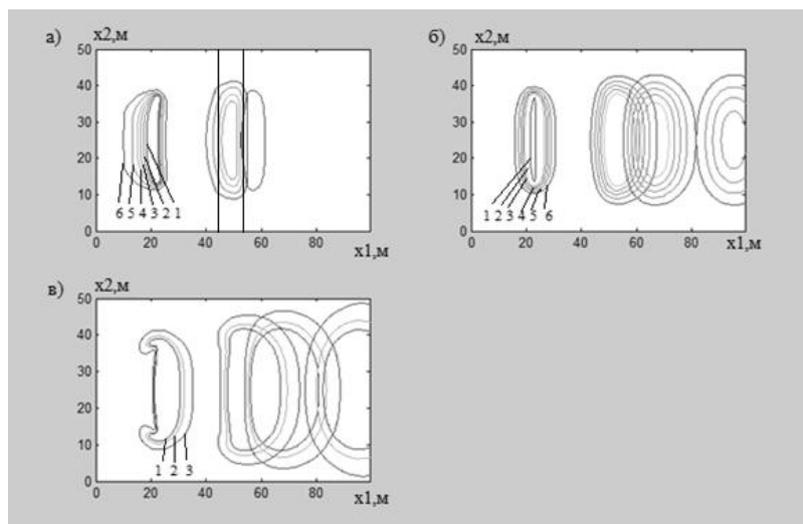


Рис.4. Распределения изолиний в случае затухания пожара.

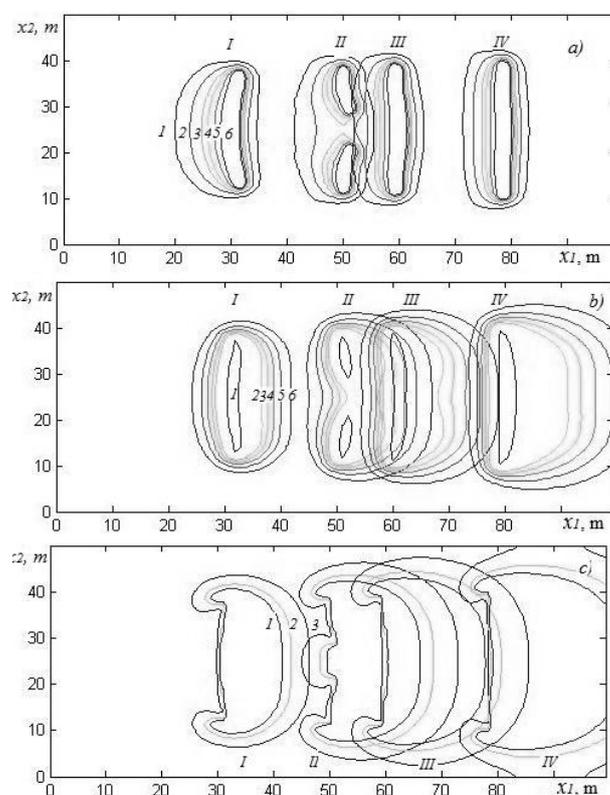


Рис.5. Распределение изотерм газовой фазы (а), изолиний кислорода (б) и летучих продуктов пиролиза (с).

Предложенная в работе методика может быть использована для оценки размеров противопожарных разрывов в зависимости от характеристик лесных массивов и типичных метеоусловий, реализуемых в данной местности.

#### Список используемой литературы.

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, – 1997. – 408 с.
2. Гришин А.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск: ИТФ СО АН СССР. – 1984. – С.38 – 75.
3. Perminov V. Numerical Solution of Reynolds equations for Forest Fire Spread // Lecture Notes in Computer Science. – 2002. – V.2329. – P. 823 – 832.

4. Патанкар С.В. Численные метода решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, – 1984. – 152 с.
5. Stone H.L. Iterative solution of implicit approximations of multidimensional partial differential equations // SIAM Journal of Numerical Analysis. – 1968. – № 5. – P. 530 – 558.

УДК 662.986:662.613

### Современные методы решения экологических проблем ТЭС

***Е.Н. Манчин, С.В. Голдаев***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: manchynsport1990@mail.ru***

Интенсивное использование ископаемого органического топлива в XX веке привело к загрязнению окружающей среды оксидами серы ( $\text{SO}_2$ ) и азота ( $\text{NO}_x$ ), а также твердыми зольными частицами, в состав которых входят соединения тяжелых металлов и конденсированные ароматические органические системы, обладающие канцерогенными свойствами.

Во всех промышленно развитых странах, в том числе в России, установлены низкие значения предельно допустимых концентраций (ПДК) летучей золы, оксидов серы и азота в воздухе, причем их нижние пределы периодически пересматриваются в сторону уменьшения.

Примерно третья часть всех вредных выбросов приходится на долю тепловых электростанций [1]. В большинстве стран мира приняты законодательные меры, призванные ограничить выброс вредных веществ в атмосферу электростанциями. С 1 января 2000 г. на территории России в соответствии с решениями Европейской комиссии вдвое снижены допустимые пределы по выбросам (ПДВ) летучей золы, оксидов серы и азота для установок тепловых электростанций мощностью более 50 МВт. Новые нормативы действовали до конца 2005 г. В дальнейшем планируется их ужесточение и приведение в соответствие со стандартами промышленно развитых стран.

Для снижения выбросов вредных веществ до нормативных значений на тепловых электростанциях применяются специальные мероприятия, включающие способы сокращения образования вредных веществ в процессе сжигания топлива и меры по очистке газов от уже образовавшихся продуктов сгорания. К таким мероприятиям относятся: использование экологически чистого топлива, совершенствование технологии сжигания топлива, газоочистка, золоулавливание, сероочистка и азотоочистка. В данном докладе будет более подробно рассмотрена азотоочистка дымовых газов.

С середины 80-х – начала 90-х годов прошлого века на ТЭС проводят очистку дымовых газов от оксидов азота (денитрификацию). Сегодня на ТЭС эксплуатируется свыше 500 азотоочистных установок, причем их используют, как правило, в сочетании с первичными методами подавления образования  $\text{NO}_x$  в процессе горения топлива. Наиболее широко азотоочистные системы применяют на электростанциях в Японии, Германии, Австрии, Дании, Швейцарии, Швеции, Нидерландах и США. Азотоочистные установки используют как на котельных агрегатах, сжигающих угольное и мазутное топливо, так и на газовых турбинах, расположенных в основном в крупных городах.

В предстоящие годы предполагается дальнейшее активное внедрение технологий денитрификации дымовых газов на ТЭС. Так, США планируют в ближайшие 10 лет ввести в эксплуатацию 2003 установки по азотоочистке. Существуют несколько инвестиционных проектов по установке денитрификационных систем на электростанциях России. Например, Мосэнерго планирует внедрить технологии азотоочистки на энергоблоках ТЭЦ-21, -22, -23, а на пяти блоках ТЭЦ-27 денитрификационные установки уже действуют. Всего на территории России в настоящее время работает около 10 азотоочистных систем.

В настоящее время для очистки дымовых газов от оксидов азота на электростанциях применяются технологии преимущественно двух типов – селективное некаталитическое восстановление  $\text{NO}_x$  (СНКВ) и селективное каталитическое восстановление  $\text{NO}_x$  (СКВ) аммиаком или его производными. Кроме того, ожидается скорое появление на рынках Европы и США новой технологии – селективного автокаталитического восстановления  $\text{NO}_x$  аммиаком, недавно разработанной японской компанией Mitsui Babcock [4].

Перечисленные технологии основаны на реакциях восстановления оксидов азота аммиаком до молекулярного азота и воды. В последние годы вместо  $\text{NH}_3$  используют его производные – мочевину, аммонийные соли неорганических и органических кислот, которые превращаются в

$\text{NH}_3$ . При использовании методов СНКВ и автокаталитического восстановления  $\text{NO}_x$  процесс осуществляют в газовой фазе при температурах, превышающих  $800^\circ\text{C}$ , а в случае применения метода СКВ восстановление оксидов азота проводят на поверхности гетерогенных катализаторов при температурах в диапазоне  $200\text{--}500^\circ\text{C}$ .

В качестве катализаторов в СКВ-системах применяют оксид ванадия  $\text{V}_2\text{O}_5$ , нанесенный на диоксид титана или на  $\gamma$ -оксид алюминия [2]. Известны также модификации катализатора с добавками оксида вольфрама  $\text{WO}_3$  или оксида молибдена  $\text{MoO}_3$ . Выпускаются катализаторы в основном двух типов: пластинчатые, изготовленные из пластин листового металла, поверхность которых покрыта каталитической массой, и монолитные, в которых активные каталитические компоненты нанесены на керамическую или стекловолоконную подложку сотовой структуры. Гарантированный срок службы катализаторов СКВ от 2 до 5 лет. Фактически же средний срок службы достигает 7–10 лет. Производство СКВ-катализаторов сосредоточено в Японии, Германии, Австрии, Дании, США.

В табл. 1, заимствованной из работы [2], приведены технико-экономические показатели указанных выше технологий селективного восстановления оксидов азота аммиаком.

Таблица 1. Технико-экономические показатели технологий селективного восстановления оксидов азота аммиаком.

Технология	Капитальные затраты, дол. США, кВт	Эксплуатационные расходы, цент, (кВт·ч)	Степень снижения выбросов, $\text{NO}_x$ , %	Концентрация в отходящих газах	
				$\text{NO}_x$ , $\text{мг/м}^3$	$\text{NH}_3$ , $\text{млн}^{-1}$
СНКВ: с аммиаком	1,5–15	0,08–0,2	30–90	200–300	3–20
с аммиаком + современные топочные технологии	4,5–25	0,18–0,3	30–90	120–200	До 20
Селективное автокаталитическое восстановление аммиаком	20–30	–	–	Менее 120	–
СКВ: с аммиаком	40–100	0,3–0,7	85–95	50–100	0–5
с аммиаком + современные топочные технологии	43–110	0,4–0,8	До 99	15–30	0–5

Можно видеть, что наиболее глубокую степень очистки обеспечивают СКВ-системы (особенно в сочетании с применением современных топочных технологий), а наиболее дешевыми являются СНКВ установки. Технология же автокаталитического восстановления оксидов азота аммиаком по стоимости занимает промежуточное положение между СНКВ- и СКВ-методами, а по эффективности близка к СКВ-технологии.

Сегодня наиболее широко распространена азотоочистка методом СКВ. Эта технология хорошо отработана и позволяет с высокой надежностью обеспечивать очистку с эффективностью до 90–95 % независимо от начальной концентрации  $\text{NO}_x$ , типа используемого топлива и конструктивных особенностей котла при минимальном расходе аммиака (1 моль  $\text{NH}_3$  приводит к нейтрализации 1 моля  $\text{NO}_x$ ). По этой технологии на ТЭС общей мощностью более 100 ГВт эксплуатируется свыше 300 установок в Японии, Германии, Австрии, Дании, США, Канаде, Швеции, Финляндии и других странах. В России (на ТЭЦ-27 Мосэнерго) построено пять первых СКВ-установок и запланировано сооружение еще нескольких на других ТЭЦ Москвы. Продолжается строительство подобных установок в США, Японии, странах Европейского союза. В ближайшие годы только на электростанциях США предполагается разместить 130 СКВ-установок.

В отличие от технологии СКВ, которая может быть использована практически на любой ТЭС, системы СНКВ применяют для очистки дымовых газов на котлах в основном малой и средней мощности. В последнее время для азотоочистки методом СНКВ открылись новые

перспективы в связи с появлением новых технологий сжигания топлива в котлах с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС). При установке СНКВ-системы на котлах с ЦКС предлагается подавать реагент (аммиачную воду, мочевины, аммониевые соли неорганических и органических кислот) непосредственно в зону сгорания топлива, при этом возможно совмещение азотоочистки с сероочисткой дымовых газов путем одновременного использования присадок аммиака или его производных вместе с известняком.

Сегодня более 20 СНКВ-установок имеется в Западной Европе и более 100 в США. Идет строительство СНКВ-установок в Японии, Пуэрто-Рико, Польше, США. В России эксплуатируются две полномасштабные опытно-промышленные СНКВ-установки, использующие в качестве реагента аммиачную воду. Они сооружены на котлах ТП-87 Тольяттинской ТЭЦ, сжигающих газ и кузнецкий уголь, с жидким шлакоудалением.

Технология селективного автокаталитического восстановления оксидов азота аммиаком является новой и сейчас проходит испытания на энергоблоке мощностью 200 МВт одной из пилеугольных ТЭС США.

Все описанные выше технологии являются эффективными методами азотоочистки, но они имеют серьезный недостаток: используемый в них для восстановления оксидов азота аммиак обладает высокой токсичностью, что заставляет разрабатывать альтернативные методы денитрификации дымовых газов без использования  $\text{NH}_3$  или его производных [2].

В настоящее время ведется разработка различных сорбционных методов азотоочистки дымовых газов с предварительным принудительным окислением  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_x$  и методов селективного каталитического восстановления оксидов азота углеводородами. Процесс азотоочистки дымовых газов методом селективного каталитического восстановления  $\text{NO}_x$  метаном находится на стадии лабораторной проработки. Для того, чтобы он стал экономически конкурентоспособным селективному каталитическому восстановлению  $\text{NO}_x$  с использованием аммиака, должна быть проделана еще очень большая работа, в том числе и по поиску активных, селективных и стабильных катализаторов.

Интенсивные работы по снижению выбросов  $\text{NO}_x$  в атмосферу тепловыми электростанциями проводятся в странах Европейского союза и в Японии с середины 80-х годов, а в США и Китае – с начала 90-х годов XX века. Так, только в США в 1998 г. были снижены выбросы  $\text{NO}_x$  – на 48 % по сравнению с данными, приведенными за 1970 г. В Германии же в 1998 г. котельные установки стали меньше выбрасывать в окружающую среду  $\text{NO}_x$  – на 40 %, чем в 1980 г. В России также были существенно снижены выбросы  $\text{NO}_x$  в атмосферу за период 1990-2000 гг. В последние годы в ряде стран таких как Япония, США, Германия, Россия, Польша ведется разработка новых методов и аппаратов, рассчитанных на одновременную очистку дымовых газов о нескольких загрязнителей, которые являются более компактными и менее затратными.

#### **Список используемой литературы:**

1. Салов Ю.В., Семашко В.А., Варнашов В.В. и др. Повышение надежности и экологической безопасности внешних газоходов и дымовых труб ТЭС // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – №2. – С. 54 – 57.
2. Ежова Н.Н., Власов А.С., Делицын Л.М. Современные методы очистки дымовых газов // Экология промышленного производства. – 2006. – № 2. – С. 50 – 57.
3. Тумановский А.Г., Котлер В.Р. Перспективы решения экологических проблем тепловых электростанций // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 5 – 11.
4. Котлер В.Р. Пути решения проблемы выбросов оксидов азота на ТЭС России // Электрические станции. – 2008. – №11. – С. 9 – 12.

УДК 630\*181.8:630\*181.65

#### **Сезонный рост подростка сосны обыкновенной на отчужденной территории ЛЭП**

**А.Н. Панов**

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

**E-mail: panov\_1958@hotmail.com**

Безопасность работы энергетической отрасли в Сибири в немалой степени зависит от древесно-кустарниковой растительности, произрастающей под ЛЭП. Изучение особенностей роста растений позволит производству своевременно проводить профилактические мероприятия и снижать себестоимость продукции.

Знание закономерностей ответных реакций растительного организма на различные воздействия позволит организовать мониторинг влияния как антропогенных, так и природных факторов на лесные фитоценозы. Данные исследования необходимы и для организации профилактических мер в целях предупреждения техногенных и экологических катастроф. Растения стремятся к развитию адекватной структуры организма и его функции в изменяющихся условиях. Формируют максимально возможную поверхность соприкосновения со средой обитания, обходясь минимально возможным количеством живого органического материала [1, 2]. Цель работы – выявление адаптации подроста сосны обыкновенной, произрастающих в зоне действия ЛЭП на уровне морфологических и физиологических особенностей сезонного роста.

Объект исследования — подрост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) произрастающей на отчужденной территории ЛЭП. Контролем служил подрост под пологом леса березняка крапивного. Изучали хвою первого года жизни как наиболее чувствительного и отзывчивого органа к воздействию различных экологических факторов. Пигментный комплекс фотосинтетического аппарата определяли согласно рекомендациям А.А. Шлык [3]. Полевую влажность верхнего слоя почвы и влажность листового аппарата, определяли по общепринятым методикам. Температурный режим почвы и воздуха измеряли при помощи термометра. Световой режим фитоценозов определяли при помощи люксметра на высоте 1,3 метра от поверхности почвы.

Собственные результаты показали, что в сезонном развитии компонентов (древостой, подлесок, подрост, травяной ярус) этих сообществ выделяются три этапа. На первом этапе с конца апреля до начала июня наблюдается формирование кроны деревьев верхнего яруса березы. В начале вегетационного сезона кроны березового сообщества имели рыхлую структуру и пропускали много солнечного света. Динамика снижения освещенности связана с распусканием и ростом листовой пластинки взрослых деревьев. При максимальной величине сомкнутости листвы наблюдался период нестабильной освещенности. Для данного этапа характерно мозаичное освещение под пологом леса. При этом фотосинтетический аппарат подроста сосны обыкновенной испытывает значительные перегрузки, так как освещенность за короткий период может меняться от минимальных значений (затенения) до максимума, что может вызывать ингибирование фотосинтеза. В березняке крапивном даже при полном штиле листва постоянно меняет свое положение в пространстве, что способствует проникновению солнечных лучей к подросту и травяному покрову.

Начальный период роста побега является критическим в жизни растений по отношению к недостатку воды и элементов корневого питания. А в период скрытого роста происходит закладка, дифференциация и рост почек и накапливаются органические вещества в растении. Рост побега в 2006 г. начинался 13-15 мая и практически заканчивается 9-13 июля; хвои в конце мая и во II декаде августа соответственно. Однако скорость и сроки ростовых процессов различались. Если линейный рост побега на отчужденной территории ЛЭП завершался к августу, то под пологом леса окончание роста наблюдали уже в июле. Спад скорости роста побега в первую декаду июня совпадал с понижением температуры. Замедление темпов роста хвои в первой декаде приходилось на период ливневых дождей и гроз. К концу сезона длина побегов сосны под пологом леса составила 6-18 (в среднем 10,7) см, а на открытом участке – 29-51 (40,2) см, хвои – 4,5-8 (5,8) см и 4,5-7,5 (6,5) см соответственно. Различия по длине хвои и, особенно побегов, у сосны на этих участках связана с разной продолжительностью и интенсивностью их сезонного роста. Сроки интенсивного роста под пологом леса на 1-2 недели, а скорость роста в 2-4 раза меньше, чем под ЛЭП. Снижение скорости роста побегов и хвои на обоих участках в начале сезона совпадает с понижениями температуры воздуха в мае-первой декаде июня, в дальнейшем – с датами ливневых осадков. Различия в увлажненности верхних почвенных горизонтов и подстилки этих участков при повышении температур воздуха на фоне недостатка осадков во второй половине июня, начале июля приводят к отклику особей, обратному выше описанному, т.е. скорость роста хвои под пологом леса в это время была выше, чем на открытом участке.

Повышение температуры воздуха в третьей декаде июня создавало благоприятные условия для роста хвои под пологом леса и замедляло темп роста хвои у растений, произрастающих на открытом участке. В березняке при повышении температуры воздуха лучше прогревался корнеобитаемый слой, и достаточное увлажнение почвы создавали благоприятные условия для минерального питания подроста. На открытом участке повышение температуры воздуха приводило к снижению запасов влаги в почве, что приводило к замедлению скорости роста хвои. Известны экспериментальные данные о замедлении процессов фотосинтеза у древесных растений, произрастающих в лесу в полдень, что, вероятно, также может способствовать замедлению роста

хвои на открытых участках. Во второй половине сезона (июнь-октябрь) после того, как хвоя закончила свой рост в длину и толщину, вес одной хвоинки в березняке составлял 7,8-10,1 мг в сыром и 2,7 – 5,9 мг в сухом виде, а на открытом участке 19,7 – 25,4 и 7,0 – 12,5 мг соответственно.

Колебание веса хвои, по-видимому, связаны с изменениями ее влажности и влажности почвы в течение вегетационного сезона, а также с избытком инсоляции на открытом участке. На процессы испарения воды оказывает влияние влажность атмосферы. Данный процесс зависит от степени раскрытия устьиц [4]. На состояние водного потенциала оказывает влияние влажность почвы, т.е. количество воды, приходящееся на единицу объема почвы. Вода, которая находится в почве, оказывает большое влияние, на ее свойства начиная с несущей способности (проходимости) и кончая теплопроводностью [5]. В период роста хвои ее сырой вес в березняке крапивном увеличился в 2 раза из-за ежегодного застоя там талых вод по сравнению с весом хвои растений на открытом участке. Снижение сухой массы в середине вегетационного сезона может свидетельствовать об активном оттоке метаболитов из фотосинтетического аппарата на ростовые процессы надземных и подземных органов подроста сосны. Осеннее накопление сухих веществ в хвое может свидетельствовать о подготовке к зимнему покою, растения освобождаются от свободной воды и укрепляют мезофилл листа. Увеличение влажности хвои сосны, произрастающей в зоне действия ЛЭП, возможно объяснить адаптацией растений к определенному дефициту почвенной влаги. К концу сезона средняя длина побегов подроста сосны обыкновенной под пологом леса составляло 12,2 мм, а на открытом участке 40,2 мм, хвоя достигала 59,5 мм и 65,0 мм соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Морфология хвои подроста сосны обыкновенной.

Параметр	Тип леса		Параметр	Тип леса	
	Березняк	ЛЭП		Березняк	ЛЭП
26,06,06					
длина хвои мм	59,88±6,87	65,00±6,69	влажность %	52,85	59,08
сечение хвои, мм	0,54±0,09	0,87±0,10	вес 1 влажной хвои, мг	7,80±0,1	20,49±0,2
площадь хвои мм <sup>2</sup>	49,25±13,6	99,71±15,8	вес 1 сухой хвоинки, мг	3,64±0,07	8,30±0,06
29,08,06					
длина хвои мм	56,94±8,97	67,92±2,78	влажность %	68,78	64,25
сечение хвои, мм	0,56±0,08	1,00±0,14	вес 1 влажной хвои, мг	8,70±0,2	19,68±0,2
площадь хвои мм <sup>2</sup>	57,039±13	116,91±17	вес 1 сухой хвоинки, мг	2,7±0,1	7,04±0,08
16,11,06					
длина хвои мм	60,73±10,8	66,50±9,41	влажность %	35,97	50,42
сечение хвои, мм	0,55±0,08	1,02±0,14	вес 1 влажной хвои, мг	10,11±0,3	25,37±0,5
площадь хвои мм <sup>2</sup>	56,45±13	116,45±17	вес 1 сухой хвоинки, мг	5,97±0,06	12,54±0,2

Существенным показателем, характеризующим приспособление растений к тем или иным условиям освещенности, может служить содержание пигментов фотосинтетической системы листового аппарата растений. Установлено, что в ответ на неблагоприятные природные факторы хлоропласт способен осуществлять процесс трансформации энергии с достаточно высокой эффективностью и быстро приспосабливаться к изменению окружающей среды [6]. Сезонные изменения в содержании пигментов у подроста сосны обыкновенной в целом соответствует общей закономерности снижения зеленых пигментов к осени. В период роста побегов и хвои в июне отмечалось максимальное количество хлорофилла "а" и постепенное снижение к осени. Максимум хлорофиллов в июне обеспечивает синтез ассимилянтов, необходимых для роста вегетативных органов подроста. На открытом участке количество хлорофилла "а" было 0,83 мг/г сырой массы и уступало данному показателю хвои под пологом леса 1,24 соответственно. В сформированном однолетнем листовом аппарате в июне отмечено максимальное накопление всех пигментов, в т. ч.

и хлорофилла "а". Они обеспечивают повышенный синтез метаболитов, необходимых для активно нарастающих в это время хвои текущего года и почек, а также утолщения побега (табл. 2).

Таблица 2. Пигментный комплекс однолетней хвои, мг/ г сырой массы.

Дата	Хл. а	Хл. б	Хл. а+хл б	каротиноиды	а/ б
<b>Открытый участок</b>					
26,06	0,83±0,21	0,30±0,09	1,15±0,3	0,16±0,03	2,6
20,08	0,81±0,04	0,29±0,03	1,11±0,07	0,14±0,004	2,7
29,08	0,57±0,06	0,21±0,00	0,79±0,07	0,12±0,02	2,6
16,10	0,53±0,10	0,21±0,04	0,75±0,15	0,15±0,02	2,4
<b>Березняк крапивный</b>					
26,06	1,24±0,38	0,45±0,12	1,70±0,4	0,26±0,07	2,6
20,08	0,82±0,08	0,30±0,02	1,13±0,10	0,14±0,01	2,6
29,08	0,78±0,24	0,27±0,09	1,06±0,3	0,18±0,05	2,8
16,10	0,33±0,12	0,12±0,05	0,45±0,1	0,13±0,03	2,7

Важный показатель, характеризующий приспособление растений к условиям освещенности, - соотношение между зелеными пигментами. Считается, что повышение данного показателя больше 3 может указывать на процессы разрушения хлорофилла "б". На фоне лабильности освещения в августе увеличение отношения хлорофилла "а" к хлорофиллу "б" указывает на частичное разрушение хлорофилла "б". Анализируемый пигмент участвует в системе, собирающий кванты света, для передачи их на реакционный центр. При интенсивном освещении он может подвергаться частичному разрушению. Данные факты указывают на достаточную степень освещения подростка сосны под пологом леса в период осеннего уменьшения плотности древесных крон. На открытом участке процесс освещения хвои менее зависел от затенения крон и процессы фотосинтеза протекали более равномерно.

Одна из существенных особенностей хвойных деревьев это наличие у них разновозрастных и зимующих групп видоизмененных листьев – хвои. Внешняя среда оказывает постоянное воздействие на растительный организм. Для получения достаточного количества питательных веществ необходимо адекватно реагировать на внешние раздражители. Задача каротиноидов призвана предохранять молекулы хлорофиллов от необратимого фотоокисления. Данные наших исследований показали, что наибольшие изменения наблюдаются в содержании каротиноидов. Осенний листопад способствует притоку солнечного света и следует ожидать увеличение защитных пигментов. Однако под пологом леса наблюдали снижение с 0,26 мг/г сырой массы до 0,13. Изменение соотношения хлорофилла "а" к хлорофиллу "б" не выходило за пределы физиологической нормы. Вероятно, данные факты связаны с наличием кутикулы выполняющей защитную функцию хвои и пропускающих достаточное количество квантов света необходимых для обеспечения процессов фотосинтеза.

Таким образом, результаты наших исследований показывают, что рост побега подростка сосны обыкновенной чувствителен к температуре окружающей среды, хвоя зависит от осадков, динамика накопления зеленых пигментов согласуется с литературными данными. Однако видовая состоит в том, что кутикула хвои способна выполнять защитные функции, на что указывает тенденция накопления защитных пигментов. Сосна под пологом леса имела достаточное освещение, на что указывает соотношение хлорофиллов. При физиологически обоснованном уровне освещения подрост сосны обыкновенной находится в неблагоприятных условиях развития, что подтверждается более низкой жизненностью особей сосны (больше относительная высота стволика, меньше размеры кроны, побегов и хвои, хуже охвоенность), что объясняется переувлажнением верхних почвенных горизонтов в мае-июне. Следовательно, подрост сосны обладает пластичностью к изменяющимся обстоятельствам среды и способен адаптироваться к различным условиям произрастания.

#### Список используемой литературы:

1. Ламан Н.А. Концепция биологического потенциала в исследованиях продукционного процесса растений // Регуляция роста, развития и продуктивности растений. Материалы II Международной конференции. – Минск: ИЭБ НАНБ, – 2001. – С. 3 – 24.
2. Журавлева М.В. Сезонная динамика физиологических процессов ели в насаждениях разного состава // Лесоведение. – 1976. – № 5. – С. 46 – 50.

3. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии. – М.: Наука, – 1971. – С. 154 – 170.
4. Жолкевич В.Н. Транспорт воды в растении и его эндогенная регуляция // (61-е Тимирязевские чтения) – М.: Наука, – 2001. – 73 с.
5. Пособие по проведению анализа почв и составлению агропромышленных картограмм. Под ред. Карпинского Н.П. – М.: Россельхозиздат. – 1965. – С. 257 – 258.
6. Зотикова А.П. Диагностика состояния кедрового леса по активности первичных фотосинтетических реакций // Проблемы кедрового леса. Вып. 7. Экология, современное состояние, использование и восстановление кедровых лесов Сибири. – Томск, – 2003. – С. 76 – 80.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований СО РАН (интеграционный проект №140).

УДК 533.9 (075.8)

### **Моделирование процесса плазменной утилизации сульфитных лигнинов**

***К.Г. Пиунова, А.Г. Каренгин***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: piunova93@mail.ru***

Данная работа посвящена расчету и оптимизации процесса плазменной утилизации отходов целлюлозно-бумажного производства в виде сульфитных лигнинов в условиях воздушной плазмы. Установлено, что утилизация отходов в виде оптимальных по составу водноорганических композиций обеспечивает экологически безопасную утилизацию таких отходов.

Самая актуальная задача в мире на сегодняшний день – это решение проблемы рационального природопользования, в том числе, решение проблемы утилизации крупнотоннажных промышленных отходов. Накопленные отходы производства занимают значительные земельные территории, являются источником загрязнения окружающей среды, которые в последующем влияют на здоровье человека и уровень его жизни. Количество некоторых углеродсодержащих отходов столь велико, что их рассматривают как вторичные техногенные сырьевые ресурсы.

Лигнин, как составная часть древесины, наиболее трудно утилизируемый отход, который образуется при её химической переработке на целлюлозно-бумажных и гидролизных предприятиях [1].

В гидролизной промышленности получают порошок так называемый гидролизный лигнин.

В целлюлозном производстве образуются водорастворимые формы лигнина. Существуют две основные технологии варки целлюлозы, более распространенная сульфатная варка (щелочная) и менее употребляемая в настоящее время, сульфитная (кислотная) варка.

Лигнин, получаемый в сульфатном производстве - сульфатный лигнин, в большой степени утилизируется в энергетических установках целлюлозных заводов.

В сульфитном производстве образуются растворы сульфитных лигнинов (лигносульфонатов), часть которых накапливается в лигнохранилищах, а часть уходит со сточными водами предприятия в реки и озера.

В настоящее время отсутствуют исчерпывающие технические решения по утилизации технических лигнинов, хотя обзор научной литературы последних лет свидетельствует о возрастающем интересе исследователей к этому сырьевому ресурсу [2-8].

Количество лигнинов в Украине (отходы дрожжевой, кормовой, целлюлозно-бумажной промышленности), по разным данным, составляет от 5 до 15 млн. т, в России и Белоруссии их на порядок больше.

В данной работе представлены результаты термодинамического моделирования процесса плазменной утилизации сульфитных лигнинов при атмосферном давлении ( $P=0,1$  МПа), для широкого диапазона температур (300-4000 К) и массовых долей воздушного плазменного теплоносителя. В расчётах использовались следующие брутто-формула ( $C_{26}H_{30}O_{12}S$ ) и средний элементный состав сульфитного лигнина (С-53,46%; Н-5,37%; ОСН3-12%; S-5,02%) [2].

На первом этапе были проведены расчеты равновесных составов продуктов плазменного горения при различной массовой доле воздушного плазменного теплоносителя.

На рисунках 1 и 2 представлены равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 85% и 80 %.

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 85% (рис. 1) основными газообразными продуктами плазменного горения сульфитного лигнина при температурах 300ч1000 К являются  $N_2$ ,  $CO$  и  $CO_2$ . Малое содержание сажи  $C(s)$  и незначительное количество  $NO$  и  $NO_2$  указывают на то, что процесс плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 85%, идет в оптимальном режиме.

Снижение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 85% до 80% (рис. 2) приводит к повышению содержания сажи  $C(s)$  и  $CO$ , что указывает на неоптимальный режим плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме.

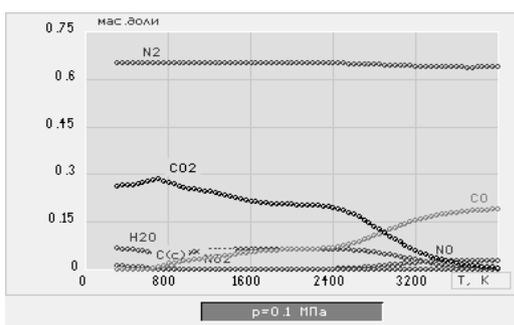


Рис. 1. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме (85% воздух : 15% сульфитный лигнин).

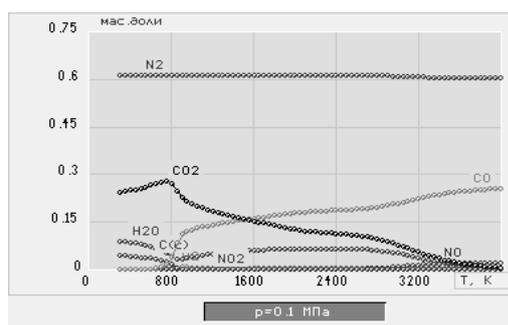


Рис. 2. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме (80% воздух : 20% сульфитный лигнин).

На втором этапе был произведен расчёт показателей горения модельных водноорганических композиций, имеющие высокую взаимную растворимость, и включающие сульфитный лигнин, воду и этиловый спирт.

На рисунке 3 показано влияние содержания сульфитного лигнина и этилового спирта на адиабатическую температуру горения водноорганических композиций «лигнин-вода-спирт» различного состава.

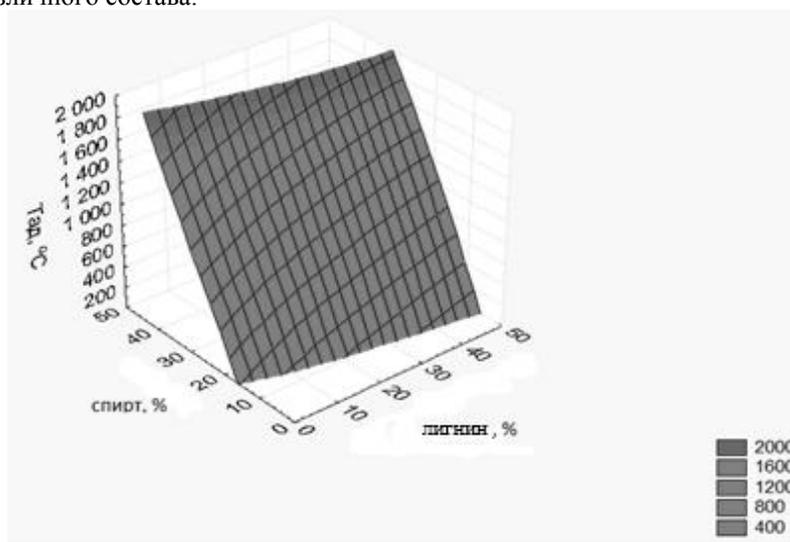


Рис. 3. Влияние содержания сульфитного лигнина и этилового спирта на адиабатическую температуру горения водноорганических композиций «лигнин-вода-спирт».

Из анализа полученных результатов определена оптимальная водноорганическая композиция с максимальным содержанием сульфитного лигнина, имеющая адиабатическую температуру горения  $\approx 1200$  °C (ВОК): 45% лигнин : 33% вода : 22% спирт.

На рисунке 4 и 5 представлены равновесные составы основных газообразных и конденсированных продуктов плазменного горения оптимальной водноорганической композиции

на основе сульфитного лигнина при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70% и 65%.

Из анализа равновесных составов следует, что при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 70% (рис. 4) основными газообразными продуктами плазменного горения являются при температурах 1000ч1200 К  $N_2$ , CO и  $CO_2$ . Отсутствие сажи C(c) и незначительное количество NO и  $NO_2$  указывают на то, что процесс плазменного горения водноорганической композиции ВОК в воздушной плазме при массовой доле воздушного теплоносителя 70% идет в оптимальном режиме.

Снижение массовой доли воздушного плазменного теплоносителя с 70% до 65% (рис. 5) приводит к повышению содержания сажи C(c) и CO, что указывает на неоптимальный режим плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме.

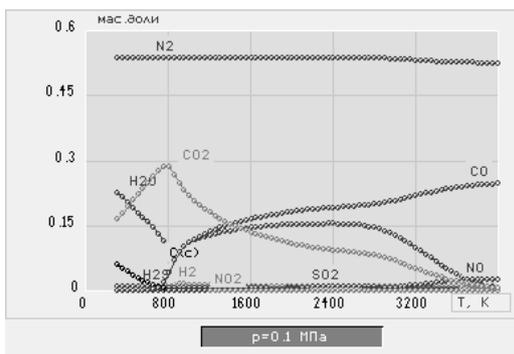


Рис. 4. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме в виде оптимальной водноорганической композиции (70% воздух : 30% ВОК).

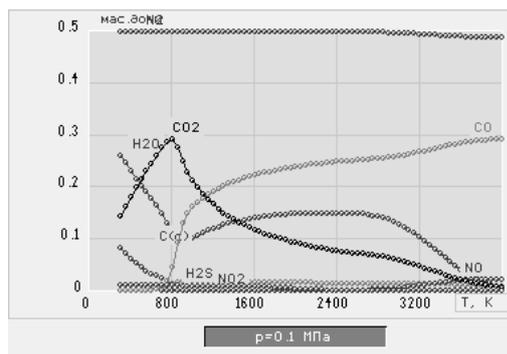


Рис. 5. Равновесный состав продуктов плазменного горения сульфитного лигнина в воздушной плазме в виде оптимальной водноорганической композиции (65% воздух : 35% ВОК).

С учётом полученных результатов могут быть рекомендованы для практической реализации процесса плазменной утилизации сульфитного лигнина в воздушной плазме следующие технологические режимы:

1. Интервал рабочих температур 1500±200 К;
2. Оптимальный состав ВОК: (45% лигнин : 33% вода : 22 % спирт);
3. Массовое соотношение: 70% воздух : 30% ВОК.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы при создании технологии и оборудования для промышленной утилизации технических лигнинов.

#### Список используемой литературы:

1. Лигнины: Структура, свойства и реакции / Под ред. К. В. Сарканена, К. Х. Людвиг; Пер. с англ. – М.: – 1975. – 632 с.
2. Симонова В.В., Шендрик Т.Г., Кузнецов Б.Н. Методы утилизации технических лигнинов // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2010. – № 3. – С. 340 – 354.
3. Гоготов А. Ф., Рыбальченко Н. А., Бабкин В. А. Достижения и проблемы переработки лигнина в ароматические альдегиды (обзор) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 2. – С. 161 – 167.
4. Камалдина О. Д., Массов Я. А. Получение ванилина из лигносульфонатов. – М.: ЦБТИ ЦИНИС, – 1959. – 38 с.
5. Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Тарабанько В.Е. Новые методы получения химических продуктов из биомассы деревьев сибирских пород // Российский химический журнал. – 2004. – Т. 48. – № 3. – С. 4 – 19.
6. Тарабанько В.Е., Иванченко Н.М., Коропачинская Н.В., Кузнецов Б.Н. Исследование процессов переработки древесины и лигносульфонатов в продукты тонкого органического синтеза // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – Т. 4. – № 4–5. – С. 405 – 418.
7. Тарабанько В. Е., Коропачинская Н. В., Кудряшев А. В., Кузнецов Б. Н. Влияние природы лигнина на эффективность каталитического окисления в ванилин и сиреневый альдегид // Изв. РАН, сер.хим. – 1995. – № 2. – С. 375 – 379.
8. Холькин Ю.И. Технология гидролизных производств. – М.: Лесная промышленность, – 1989. – с. 438 – 444.

**Расчет риска техногенной чрезвычайной ситуации на ЗАО «Том-Мас»****Е.В. Воробьева, Н.А. Чулков***Томский политехнический университет, г. Томск, Россия***E-mail: eworobieva@gmail.com**

Установлено, что расчет риска ЧС на ЗАО «Том-Мас» может быть проведен на основе математического моделирования. Сделан вывод о том, что вероятность одного из возможных сценариев, взрыв природного газа, не превышает нормативного значения, при реализации всех запланированных мероприятий в полном объеме.

В соответствии с [1, 2] необходимо для каждого объекта разрабатывать паспорт опасного объекта. Для ЗАО «Том-Мас», на котором применяется природный газ как топливо котельной, аммиак как хладагент и ряд других реагентов, актуально выполнение требований Федерального закона.

На основе анализа технической документации [3] предприятия и специальной литературы рассмотрены следующие сценарии возможных аварий:

1. Разгерметизация подводящего газопровода (трещина) —> выброс природного газа —> образование облака ТВС —> возгорание от источника огня -> дефлаграционный взрыв ТВС

Основные возможные причины которого: Ошибки персонала, технические неполадки, отказ оборудования, нарушение правил пожарной безопасности

2. Разгерметизация подводящего газопровода (свищ) -> выброс природного газа -> образование облака ТВС —> возгорание от источника огня —> дефлаграционный взрыв ТВС

Основные возможные причины которого: Ошибки персонала, технические неполадки, нарушение правил пожарной безопасности

3. Разгерметизация подводящего газопровода (полное) -> выброс природного газа -> образование облака ТВС —> возгорание от источника зажигания —> дефлаграционный взрыв ТВС

Основные возможные причины которого: Ошибки персонала, технические неполадки, нарушение правил пожарной безопасности

По сценарию 3 количество выбросов природного газа из подводящего газопровода принимается равным сумме выбросов газа от момента разгерметизации газопровода до закрытия задвижки и количества газа оставшегося в отключенном участке газопровода.

Основным поражающим фактором будет являться воздушная ударная волна, возникшая в последствии дефлаграционного взрыва ТВС. Количество опасного вещества участвующего в аварии и количество опасного вещества участвующего в создании поражающих факторов составит 12,3 т

Сценарий 3. Разгерметизация подводящего газопровода (полное раскрытие), - выброс природного газа, - образование облака ТВС, - возгорание от источника огня, - дефлаграционный взрыв ТВС.

Рассмотрим аварию, когда при разгерметизации газопровода на полное сечение, в окружающее пространство выбрасывается природный газ с последующим возникновением топливно-воздушной смеси. Воспламенение образовавшейся топливно-воздушной смеси с образованием избыточного давления возможно при наличии источника зажигания.

Расчет количества выбросов природного газа из газопровода проводится по «Методике по расчету удельных показателей загрязняющих веществ в выбросах (сбросах) в атмосферу (водоемы) на объектах газового хозяйства».

Исходные данные:

–	внутренний диаметр газопровода	$d = 98.0$ мм;
–	плотность природного газа	$\rho = 0,76$ кг/м <sup>3</sup> ;
–	абсолютное давление в газопроводе	$P = 0,6$ МПа;
–	расчетная температура воздуха	$t = 20$ °С;
–	время выброса газа	$T = 40$ мин.

По расчетам, выполненным в соответствии с «Методикой по расчету удельных показателей загрязняющих веществ в выбросах (сбросах) в атмосферу (водоемы) на объектах газового хозяйства», за 40 мин. из газопровода выйдет 16231 м<sup>3</sup> природного газа.

Расчеты зон действия воздушной ударной волны при дефлаграционном взрыве облака ТВС проводятся по Приложению Е ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

**Исходные данные:**

- объем газа, попавшего в атмосферу:  $V = 16231 \text{ м}^3$  (12,3 т.);
- удельная теплота сгорания газа:  $Q, = 41,84 \text{ МДж/кг}$ ;
- коэффициент участия:  $Z = 0.1$

Оценка последствий аварии.

Расчитали избыточное давление  $\Delta P$ , развиваемое при сгорании ТВС.

График зависимости расчетного избыточного давления  $\Delta P$  (кПа) от расстояния  $r$  (м) до центра облака ТВС представлен на рис. 1.

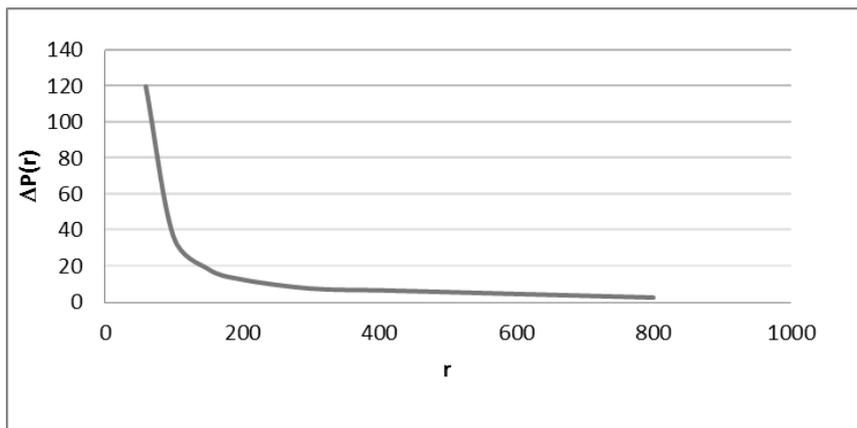


Рис. 1. Зависимость избыточного давления от расстояния.

Таким образом, в санитарно-защитной зоне возможны разрушения зданий [3]. Для жилых зданий расположенных за пределами санитарно-защитной зоны возможны незначительные разрушения.

**Список используемой литературы:**

1. Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности», ФЗ-123 от 22.07.08 г.
2. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009г. № 272 г. Москва
3. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, утв. постановлением ГТН России от 26.06.01 г. № 25.

УДК 621.181.018: 504.3.054

**Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных малой мощности  
Томской области**

***Е.С. Воронцова, У.В. Дорохова, Т.С. Тайлашева***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: ves@tpu.ru***

Описаны современные проблемы «малой» и «большой» энергетики. Показан и произведен аналитический метод расчета выбросов вредных веществ в атмосферу. Из расчетов установлено, что предельно-допустимая концентрация вредных выбросов не превышена. Сделаны выводы о необходимости проведения специальных мероприятий по увеличению эффективности функционирования предприятий энергетики.

Под словом «энергетика» чаще всего представляются крупные энергетические объекты по преобразованию, распределению и использованию ресурсов всех видов. По совокупности эти объекты представляют собой так называемую «большую» энергетику.

На сегодняшний день большинство существующих и работающих электро- и теплогенерирующих станций построены в середине 20 века и нуждаются в реконструкции и

модернизации как основного и вспомогательного оборудования, так и всего технико-экономического комплекса энергообъекта.

Немаловажным аспектом в поддержании и дальнейшем развитии энергетики является рациональное использование энергетических ресурсов. Программы по энергетической эффективности учитывают уровень развития техники и технологии и требования к охране окружающей среды. При выполнении данных программ, уместно задать вопрос: какими темпами современная техника и технологии внедряются в сегодняшнюю энергетику?

Также стоит помнить о том, что при разработке программ по энергоэффективности необходимо учитывать мощности «малой» энергетики, энергоснабжающие организации которой обеспечивают функционирование промышленного производства, образовательных учреждений, жилых домов и прочих потребителей.

Именно сегодня как «большая», так и «малая» энергетика нуждается в постановке новых задач и реализации новых решений. Лишь немногие компании ставят целью обновить производство, остальные же заменяют часть устаревшего оборудования, продолжая использовать установки, отработавшие ресурсный срок.

Наряду с этим, выявлены одни из главных проблем энергетики:

- техническая разница среди предприятий энергетической отрасли, вызванная условиями рыночной экономики. Многие предприятия России оказались в собственности разных хозяйствующих структур и относятся к разным видам собственности [1]. Руководства предприятий вынуждены искать дешевые способы получения тепло- и энергоснабжения, от части не задумываясь о качестве поставляемой и отпускаемой продукции.

- поставка большей части углей, являющихся преобладающим видом топлива, осуществляется железнодорожным транспортом. Здесь можно столкнуться с недобросовестностью поставщиков, что приводит к ухудшению качества топлива в процессе поставки из-за нарушения договора, правил перевозок и безопасности при транспортировке[2].

- проблема исчерпания запасов проектного топлива, которая ведет к изменению топливного режима энергетических объектов и использованию непроеKTного топлива. Использование непроеKTного топлива приведет к ухудшению технико-экономических показателей или снижению надежности работы основного и вспомогательного оборудования [3] энергопредприятия, а также к увеличению количества вредных выбросов.

Достоинство любого топлива в экологическом аспекте – это минимальное содержание в нем минеральной части, серы и топливного азота, от которых зависит выброс в атмосферу кислотообразующих компонентов и твердых частиц. Кроме того, в последнее время топливо начали оценивать и по содержанию в нем горючих водорода и углерода, последний образует при сжигании  $\text{CO}_2$ , который является основным компонентом парниковых газов [4], и изменение содержания которого называют основной причиной современного повышения температуры [5].

Нормативы удельных выбросов для котельных установок устанавливаются для следующих загрязняющих веществ: зола твердого топлива, оксиды азота (в пересчете на  $\text{NO}_2$ ), оксида серы, оксидов углерода[6].

В качестве объекта исследования были выбраны 7 котельных Томской области разной мощностью от 0,46 до 3,77 МВт, на которых эксплуатируются водогрейные котлы производительностью менее 30 Гкал/час. Для проведения расчетов выбраны следующие заводы – изготовители котлов: «Евротерм» (Чехия), ООО ПФ «Октан» (г. Омск), «ЭкоДРЕВ» (г. Тверь), ПО «Теплоресурс» (г. Ковров), которые частично введены или еще не введены в эксплуатацию на исследуемых котельных. Выбрано необходимое количество котлов – от 2 до 4 на каждой котельной, в зависимости от мощности.

В анализе используются следующие виды топлива: каменный уголь кузнецкого бассейна марки Д; низкосернистый мазут марки 40 и 100; топливо на основе древесины, спрессованное в древесные гранулы (пеллеты); топливо на основе торфа, спрессованное в топливные брикеты; природный газ Томской области для промышленного и коммунально-бытового назначения. Твердое топливо сжигается слоевым способом.

Исследование проводится аналитическим методом с применением анализа данных [7]. Для расчета валовых выбросов твердых частиц значения необходимых величин для каждого вида топлива выбираются по международным стандартам и справочным данным нормативного метода теплового расчета котлов [8] в соответствии со значением калорийности, способа сжигания, производительности котлов. Расчет ведется по формуле:

$$M_{TB} = B \cdot \frac{A^r}{100 - \Gamma_{yn}} \cdot a_{yn} \cdot (1 - \eta_3). \quad (1)$$

Здесь  $B$  – расход натурального топлива, т/г;  $A^r$  – зольность топлива на рабочую массу, %;  $a_{yn}$  – доля золы, уносимой газами из котла;  $\eta_3$  – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях;  $\Gamma_{yn}$  – содержание горючих в уносе, %.

При расчетах выбросов газообразных веществ были использованы справочные данные, паспортные данные котлов.

1 Оксиды азота:

1.1 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании природного газа:

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^r \cdot \beta_k \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_{II}. \quad (2)$$

1.2 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании мазута:

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^M \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_{II}. \quad (3)$$

1.3 Расчет выбросов оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива:

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q_i^r \cdot K_{NO_2}^T \cdot \beta_r \cdot k_{II}. \quad (4)$$

В данных формулах  $B_p$  – расчетный расход топлива, т/г ( $\text{м}^3/\text{г}$ );  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг ( $\text{МДж}/\text{м}^3$ );  $K_{NO_2}$  – удельный выброс оксидов в зависимости от вида сжигаемого топлива;  $\beta_k$  – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелок;  $\beta_t$  – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения;  $\beta_\alpha$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов вещества;  $\beta_r$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование оксидов азота;  $\beta_\delta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру;  $k_{II}$  – коэффициент пересчета.

2 Оксид серы:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (5)$$

где  $B$  – расход натурального топлива, т/г;  $S^r$  – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;  $\eta'_{SO_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле;  $\eta''_{SO_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц.

3 Оксид углерода:

$$M_{CO} = 10^{-3} \cdot B \cdot C_{CO} \cdot (1 - \frac{q_4}{100}), \quad (6)$$

где  $C_{CO}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т;  $q_4$  – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Концентрация вредного вещества в пересчете на  $\alpha = 1,4$  выражается в виде:

$$C = n \cdot \frac{Q_i^r}{V_r} \cdot 10^3, \quad (7)$$

где  $n$  – удельный выброс загрязняющего вещества, г/МДж;  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;  $V_r$  – объем дымовых газов при нормальных условиях  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ).

Удельный выброс выражается в виде:

$$n = \frac{M}{B \cdot Q_i^r}, \quad (8)$$

где  $M$  – величина выброса, г/с;  $B$  – расход топлива, кг/с.

Допускается не более чем двукратное превышение нормативов удельных выбросов в течение не более 30 минут при условии, что общая продолжительность 30-минутных превышений будет менее 5% времени за год [6].

Согласно ГН 2.1.6.1338-03 концентрации выбросов оксидов азота, серы и углерода подлежат суммации, сумма их концентраций не должна превышать 1 при расчете по формуле:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (9)$$

где  $C_1, C_2, C_n$  – фактические концентрации веществ в атмосферном воздухе;  $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_n$  – предельно допустимые концентрации тех же веществ в атмосферном воздухе [9].

Среднесуточная ПДК твердых частиц –  $0,02 \text{ мг/м}^3$ , оксидов азота –  $0,06 \text{ мг/м}^3$ , оксидов серы –  $0,05 \text{ мг/м}^3$ , оксидов углерода –  $3 \text{ мг/м}^3$ . Количество валовых выбросов загрязняющих веществ от каждой исследуемой котельной, а также их концентрация в атмосферном воздухе, рассчитаны по формулам (1) – (9). Таким образом, концентрация твердых частиц не превышает  $0,0198 \text{ мг/м}^3$ , оксидов азота –  $0,0012 \text{ мг/м}^3$ , оксидов серы –  $0,000001 \text{ мг/м}^3$ , оксидов углерода –  $0,0001 \text{ мг/м}^3$ . При обобщающем анализе полученных результатов можно сделать вывод, что концентрация загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, от исследуемых котельных не превысила нормированные предельно допустимые концентрации.

Применение описанного метода служит одним из критериев по выбору оптимального вида топлива при условиях отдаленности месторождения, количества затрат разного рода и качества топлива, а также условием экологической обстановки местности.

Особенности расчета позволяют судить о необходимости установки дорогостоящего оборудования для улавливания твердых частиц и оксидов по ходу дымовых газов, и применении технологических методов снижения загрязняющих выбросов.

#### Список используемой литературы:

1. Кожуховский И.С., Эдельман В.И., Говсиевич Е.Р. Проблемы монополизма поставщиков твердого топлива на рынках энергетических углей // Теплоэнергетика. – 2006. – № 5. – С. 45–49.
2. Воронцова, Е.С., Дорохова У.В. Организация работы с энергетическим топливом // Современные техника и технологии: сб. трудов XVIII Междунар. науч-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск: ТПУ, 2012. – Т. 3. – С. 169-170.
3. Воронцова, Е.С. Особенности использования непроектных углей на ТЭС // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: труды XIV Междунар. студенческого науч-техн. сем. – Томск: ТПУ, – 2012. – Т. 2. – С. 23 – 27.
4. Беспалов В.И., Беспалова С.У., Вагнер М.А. Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие – Томск: Изд. ТПУ, – 2010. – 240 с.
5. Клименко В.В., Терёшин А.Г. Мировая энергетика и глобальный климат после 2100 // Теплоэнергетика. – 2010. – № 12. – С. 38 – 44.
6. Временные методические указания по установлению технических (максимально допустимых) нормативов удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для действующих котельных установок. – Введ. 2001-02-13. – М.: – 2001. – 6 с.
7. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара час или менее 30 Гкал в час.– Введ. 2000-01-01. – М.: – 1999. – 27 с.
8. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
9. Бондалетова В.Т., Новиков В.Т., Алексеев Н.А. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных. Методическое пособие по выполнению практических занятий – Томск: Изд. ТПУ, – 2000. – 39 с.

УДК 629.76+662.61.8:551.5

#### Исследование термогазодинамических процессов в жидко-капельной среде при авиационном тушении пожаров

*И.К. Жарова, Е.А. Козлов, Н.В. Коровина\*, В.Т. Кузнецов, А.С. Ткаченко\*\**

*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики*

*Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

*\*Институт проблем химико-энергетических технологий*

*Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

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

*E-mail: Zharova@niipmm.tsu.ru*

В работе представлена физико-математическая модель эволюции облака хладагента в атмосфере. Приведены некоторые результаты расчетов процесса выпадения капель воды при авиационном тушении пожара.

При постановке задачи пожаротушения путем авиационного сброса распыленной воды с высот порядка сотен метров математическое моделирование и результаты численного анализа

процесса выпадения капель воды проводилось при следующих предположениях. Учитывались реальные метеорологические условия – сила и направление ветра: предполагалось, что на каждую каплю в аэрозольном облаке, выброшенную в атмосферу с заданной начальной скоростью и начальной температурой, действует сила тяжести, ветровая нагрузка и сила аэродинамического сопротивления, направленная навстречу суммарному вектору скорости капли. Также при моделировании учитывалось изменение во времени температуры капли вследствие конвективно-кондуктивного теплообмена с окружающим воздухом и вклад в теплообмен теплоты фазового перехода при испарении капли, при этом учитывалось изменение размера капли вследствие испарения. Полная система уравнений включает уравнения движения капли, уравнение теплового баланса и уравнение изменения размера капли за счет ее испарения:

$$\begin{cases} \frac{du_s}{dt} = \phi(u - u_s), \quad \frac{dv_s}{dt} = \phi(v - v_s), \quad \frac{dw_s}{dt} = \phi(w - w_s) + g, \\ \frac{dT_s}{dt} = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{r_s^2 \rho_s c_p} \text{Nu}(T - T_s) - \frac{q_{vap} m_{vap}}{m_s c_p}, \quad \frac{dr_s}{dt} = -\frac{k}{\rho_s} \frac{p_0}{p - p_0}, \\ \frac{dx}{dt} = u_s, \quad \frac{dy}{dt} = v_s, \quad \frac{dz}{dt} = w_s, \end{cases} \quad (1)$$

где  $u_s, v_s, w_s$  – компоненты вектора скорости капли  $\vec{U}_s$ ;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости ветра  $\vec{U}$ ;  $\phi = \frac{3\rho}{8\rho_s r_s} C_D |\vec{U} - \vec{U}_s|$  – безразмерный комплекс;  $\rho$  – плотность воздуха;  $\rho_s$  – плотность жидкости;  $C_D$  – коэффициент сопротивления;  $r_s$  – радиус капли;  $g$  – ускорение свободного падения;  $T$  – абсолютная температура воздуха;  $T_s$  – температура капли (осредненная по объему);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха;  $c_p$  – удельная теплоемкость жидкости;  $\text{Nu} = 2 + 0.6\text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$  – число Нуссельта;  $\text{Re} = 2\rho |\vec{U} - \vec{U}_s| r_s / \mu$  – число Рейнольдса относительного движения;  $\text{Pr}$  – число Прандтля;  $q_{vap}$  – удельная теплота испарения жидкости;  $m_{vap}$  – масса испарившейся жидкости;  $m_s$  – масса капли;  $k$  – коэффициент массоотдачи;  $p$  – давление окружающей среды;  $p_0$  – парциальное давление пара.

Учет дробления капель за счет неустойчивости Рэлея–Тейлора или Кельвина–Гельмгольца проводился путем расчета значений чисел Бонда  $\text{Bo} = \rho_s \omega D^2 / \sigma$  (где  $\omega$  – ускорение массовых сил) и Вебера  $\text{We} = \rho |\vec{U} - \vec{U}_s|^2 D / \sigma$ , согласно [1]. Предполагалось, что при достижении критического значения числа Бонда  $\text{Bo}_* = 90$  или критического значения числа Вебера  $\text{We}_* = 17$  капля дробится на две сферические капли равной массы [2]. В расчетах учитывалось, что дробление капель происходит не мгновенно, а через характерное время [1]  $t_* = \frac{2r_s}{|\vec{U} - \vec{U}_s|} \left( \frac{\rho_s}{\rho} \right)^{1/2}$ .

При выбросе в атмосферу сравнительно большого количества жидкости в результате спонтанного дробления отдельных неустойчивых объемов и капель жидкости образуется первичное облако капель с дифференциальной функцией счетного распределения, близкой к экспоненциальной. В настоящей работе была принята функция распределения числа капель воды по размерам [3]

$$f(D) = a \exp(-1,56D),$$

где  $a = 1,575 \text{ мм}^{-1}$  – нормирующий множитель;  $D$  – текущий диаметр капель, мм.

Исследование термогазодинамических характеристик капель при авиационном сбросе на основании математической модели (1) реализовано путем модельных расчетов для 6 фракций капель воды различных начальных размеров,  $D = (1 \div 6)$  мм, высоты сброса 300 м при нулевой начальной скорости. Считалось, что сброс осуществляется при наличии западного ветра, скорость ветра 6 м/с, температура окружающей среды 20 °С. Принималось, что в диапазоне высот от 0 до 50 м скорость восходящего потока воздуха линейно уменьшается от 0,5 м/с до 0. Температура воздуха в диапазоне высот от 0 до 200 м линейно уменьшается от 370 °С до 20 °С. На рис. 1–3

приведены полученные характеристики для капель воды разных размеров в аэрозольном облаке в зависимости от высоты.

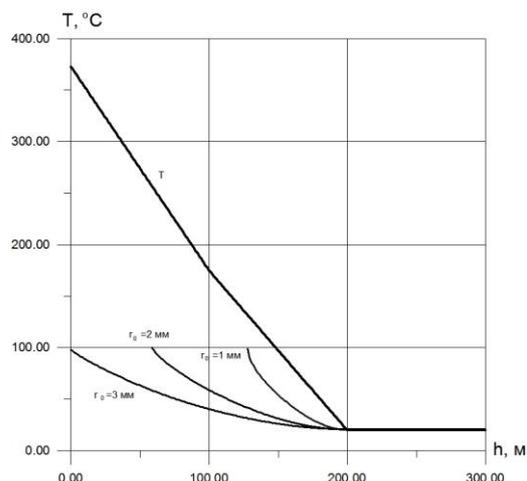


Рис. 1. Зависимость температуры капель разных начальных размеров от высоты (Т – температура окружающей среды).

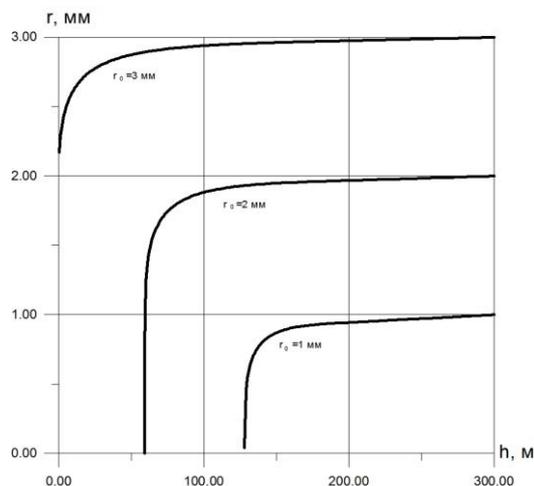


Рис. 2. Зависимость текущего радиуса капель разных начальных размеров от высоты.

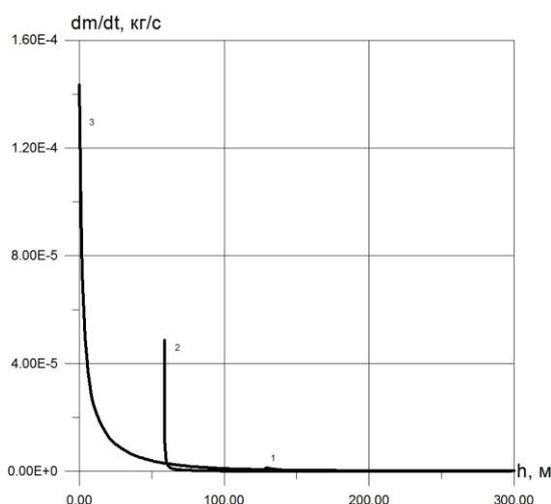


Рис. 3. Скорость испарения капель воды на разных высотах (цифрами 1, 2 обозначен начальный радиус капель, мм).

В модельных расчетах использованы исходные данные, соответствующие варианту сброса воды с нулевой начальной скоростью капель, что имитирует реальные условия при пожаротушении с вертолета при помощи водосливного устройства ВСУ–5.

Предварительный анализ исходных данных показал, что капли диаметром от 5 мм до 6 мм составляют всего 1,1 % от общего числа капель, однако в них содержится 20,4 % массы жидкости. При этом получено, что капли с начальным размером 1 мм и 2 мм начинают нагреваться с высоты 200 м и полностью испаряются на высотах соответственно 59 м и 128 м. Капли с начальным размером 3 мм прогреваются до температуры 97 °С, но не успевают полностью испариться. При этом их размер уменьшается до 2,2 мм. По мере входа капли в прогретую зону скорость испарения возрастает экспоненциально (рис. 3), причем для крупных капель увеличение скорости испарения наступает позднее в сравнении с мелкими каплями. Этот эффект объясняется тепловой инерцией крупных капель и их более высокой скоростью прохождения прогретой области.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 12-08-90810-мол\_рф\_нр.

#### Список используемой литературы:

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. – М.: Наука, – 1987. – 464 с.

2. Васенин И.М., Архипов В.А., Бутов В.Г., Глазунов А.А., Трофимов В.Ф. Газовая динамика двухфазных течений в соплах. – Томск: Изд-во Том. ун-та, – 1986. – 286 с.
3. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 1. – М.: Гидрометеиздат, – 1979. – 320 с.

УДК 621.867

### Экологичность и безопасность элеваторных систем транспортировки частиц в технологиях переработки дисперсных материалов

*М.В. Василевский, И.В. Додонова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [my\\_mailboxxx@mail.ru](mailto:my_mailboxxx@mail.ru)*

В работе рассматриваются анализ механизмов образования пыли в элеваторах, усовершенствование аспирационных систем, сопоставление различных средств транспортировки сыпучих грузов с точки зрения энергозатрат и затрат на уменьшение выбросов пыли в окружающую среду. Предложены технические решения, позволяющие повысить эффективность пылеулавливающих систем.

При проектировании транспортных установок ставится 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]. Однако вопросам безопасности, воздействия на окружающую среду уделяется мало внимания.

Механические элеваторы используют для непрерывного подъема грузов и делят на ковшовые, люльчатые и полочные. Преимущества механических элеваторов заключаются в сохранности транспортируемого материала, простоте конструкции, надежности при эксплуатации, возможности создания герметичного и звукоизолирующего кожуха, обеспечивающего охрану окружающей среды от шума. Недостатками являются большие габаритные размеры по сравнению с конвейерами сплошного волочения, износ и выход из строя ковшей при перемещении абразивных грузов, необходимость их аспирирования из-за больших перетоков пыли в подающий транспортер при подъеме дисперсных материалов.

Другим средством транспортирования являются пневматические элеваторы (эрлифты). Материал подается в загрузочную камеру, аэрируется и с высокой концентрацией транспортируется в приемник. Концентрация материала в транспортирующем воздухе составляет 200-600 кг/кг.

В рабочем здании элеватора размещают машины и механизмы для подъема зерна (нории), взвешивания, очистки, а также механизмы для перемещения и распределения зерна. Нория поднимает зерно на самый верх рабочего здания и сбрасывает его в лари, под которыми установлены ковшовые или автоматические весы. После взвешивания зерно попадает в подвесные лари или непосредственно на распределительный этаж, откуда самотеком по трубам направляется на очистку, сушку и хранение.

Движение ковшей создает завихрения воздуха в каналах нории, которое способствует

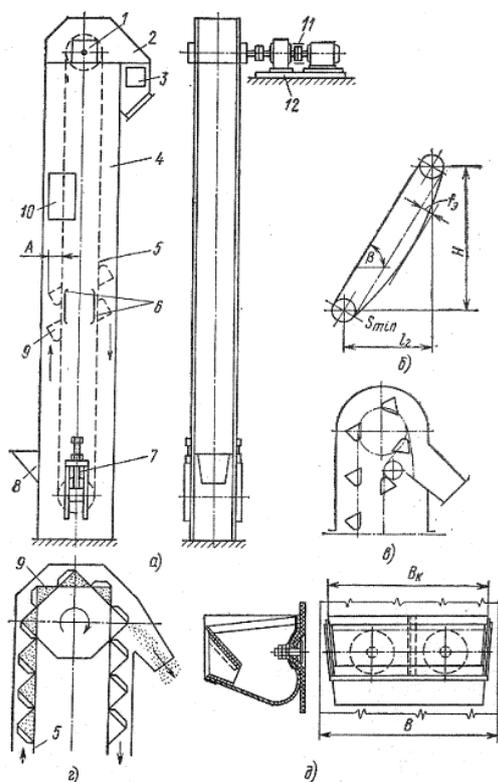


Рис. 1. Ковшовые элеваторы:

- 1 - барабан, 2 - головная часть, 3 - люк для ревизии, 4 - кожух 5 - тяговый орган, 6 - ковш, 7 - натяжное устройство, 8 - башмак, 9 - лента, 10 - люк, 11 - тормоз, 12 - привод.

повышенному диффузионному переносу пыли в объеме норрии, поэтому по высоте норрии формируется пылевой столб с концентрацией пыли, зависящей от содержания мелкой фракции в дисперсном материале, степени его электризации и распыления материала движущимися ковшами.

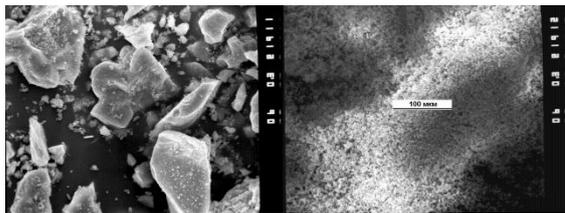


Рис. 2. Цемент улов, унос – увеличение 300.

На рис. 2 показаны фотографии пробы частиц уноса цементной пыли из циклона [2] с малым увеличением. Видно, что при малом увеличении проба уноса выглядит как совокупность агрегатов, а также, что крупные частицы на своих поверхностях содержат прилипшие мелкие частицы.

Таким образом, материал, выходящий из ковша, движется в виде струи или сгустками, мелкодисперсные материалы, транспортируемые норрией, могут разгружаться в головной части норрии, если отсутствует диспергация слоя материала, вышедшего из ковша, в процессе его полета к выгрузному патрубку. Однако диспергация присутствует и некоторая часть дисперсного материала в воздухе находится в виде индивидуальных мелких частиц.

Поскольку происходит непрерывное пополнение воздуха мелкими частицами, концентрация этих частиц в объеме норрии возрастает. Возрастает гидростатическое давление на подножье норрии, там, где находится загрузочный транспортер.

Движущийся материал, выброшенный из ковша, эжектирует окружающую запыленную среду в верхний разгрузочный транспортер. Поэтому, часть мелких частиц захватывается крупными частицам вместе с эжектируемым воздухом. Вопросам эжектирования воздуха в процессах пересыпки дисперсных материалов, движения его по желобам, при диспергации материала посвящена обширная литература [3].

Полагают, что количество эжектируемого воздуха определяется объемным расходом сыпучего, скоростью частиц, особенностями структуры потока. Известны эжекторные устройства для очистки газа, в которых напор создается распыленной жидкостью, эжектирующей очищаемый газ [4]. Анализ имеющихся исследований позволяет сделать вывод, что для крупных частиц (более 100 мкм) коэффициент эжекции, равный отношению объемного расхода воздуха к объемному расходу дисперсного материала  $k_э = Q_в/Q_м$ , находится в диапазоне 0,9–9.

Будем называть агломераты, которые попали в выгрузной патрубок также крупными частицами. Обозначим  $G_н$ – подачу норрии (кг/с),  $G_к$ –весовой расход крупных частиц, попавших в верхний транспортер (кг/с), плотность запыленного воздуха (плотность среды)  $\rho_с = \rho_в[1+(c_д/\rho_в)]$ , где  $c_д$  – концентрация частиц кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_в$  – плотность воздуха кг/м<sup>3</sup>. Объемный расход частиц определяется через весовой по формуле  $Q_к = G_к/\rho_д$ , где  $\rho_д$  – плотность частиц, количество мелкой пыли с воздухом, эжектируемой крупными частицами  $G_{сэ} = Q_{сэ}\rho_с = Q_{сэ}\rho_в[1+(c_д/\rho_в)] = Q_кk_э\rho_в[1+(c_д/\rho_в)]$ . Подача норрии  $G_н = G_{сэ}+G_к$ . Используя приведенные соотношения, получим

$$c_д = \left( \frac{G_н - G_к}{G_к k_э} \frac{\rho_д}{\rho_в} - 1 \right) \rho_в$$

$$\text{При } \frac{G_н - G_к}{G_к} = 0,02 \text{ и } \frac{\rho_д}{\rho_в} = 1000, \rho_в = 1,2 \text{ кг/м}^3, k_э = 5, c_д = 3,6 \text{ кг/м}^3$$

Давление пылевого столба на башмак норрии составляет величину  $P_{ст} = gHc_д$ . При высоте норрии 40 м давление составляет 1,4 кПа, что сопоставимо с сопротивлением аспирационной установки. При повышенном давлении пыль из башмака норрии поступает в загрузочный транспортер, распространяется по всей его длине и достигает начального пункта подачи материала. При отсутствии герметизации и аспирации пыль поступает в окружающую среду. Таким образом, нижняя часть норрии находится под высоким избыточным давлением.

В [5] проведена оценка существующих конструкций ковшовых подъемников в зависимости от их скоростного режима работы по такому показателю как расход энергии на транспортирование зерна. Для исследования были рассмотрены около 40 марок ковшовых

элеваторов, используемых для транспортирования материалов в вертикальном направлении. Результаты исследований представлены на рис. 3.

Из графика на рисунке 3 видно, что максимальные удельные энергетические затраты (более 7 Вт/т\*ч\*м.) наблюдаются у ковшовых элеваторов со скоростью движения ленты в пределах 1,0–1,5 м/с.

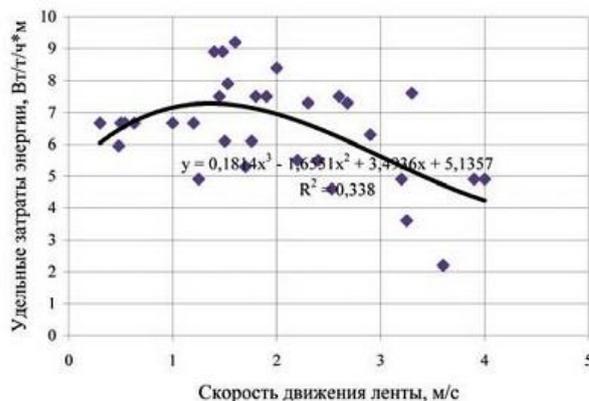


Рис. 3. Зависимость удельных энергетических затрат от скорости движения ленты при достоверности аппроксимации 0,338: у – удельные энергетические затраты, х – скорость ленты.

Нории, по сравнению с другими транспортирующими машинами, малоэнергоёмки. Однако, в зависимости от скорости транспортирования зерна, которая находится в пределах 0,5–4 м/с, мощность норий также будет

варьировать в широких пределах [5]. Мощность (кВт), определяется формулой

$$N = \frac{G_i H}{367\eta}$$

где  $G_i$  - производительность (т/ч),  $H$  - высота подъема (м), КПД нории 0,45-0,65.

Уменьшение или увеличение скорости движения ленты относительно указанного предела способствует снижению удельных энергетических затрат, причем в большей мере это относится к быстроходным элеваторам.

Таким образом, с целью снижения удельного расхода энергии на транспортирование зерна следует использовать быстроходные ковшовые элеваторы.

Полимерные ковши имеют ряд преимуществ, по сравнению с металлическими (в соответствии с ТУ 24.06.07.38-94):

- полностью обеспечивается взрывобезопасность: исключается возможность возникновения искры при задевании кромки ковша о норийную трубу;
- снижается расход электроэнергии на 15–20 %, механическая нагрузка на норийную ленту и привод нории, вследствие уменьшения массы ковша в 2–3 раза;
- практически не травмируется зерно и семена; исключается налипание трудносыпучих продуктов; обладают значительной прочностью: при ударах не теряют своей формы;
- электростатически искробезопасны;
- бесшумны в работе.

В [6] приводятся примеры оценки эффективности систем обеспыливания воздуха, которые применяются в элеваторных установках.

По итогам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Механические элеваторы ковшового типа являются наименее энергозатратными по сравнению с другими типами элеваторов. Однако их использование для транспортировки мелкодисперсных материалов требует эффективных систем аспирирования и возврата уловленной пыли в технологию.

2. Наиболее надежным средством транспортировки являются пневматические элеваторы. Количество воздуха, требуемого для перемещения материала приблизительно на порядок меньше количества воздуха, требуемого для аспирирования механических элеваторов. Однако затраты энергии на транспортировку в 2–3 раза выше.

3. Затраты на обеспыливание воздуха в пневматических элеваторах на порядок меньше по сравнению с механическими элеваторами.

#### Список используемой литературы:

1. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, – 1980. – 304 с.
2. Василевский М.В., Романдин В.И., Разва А.С., Зыков Е.Г., Полюшко В.А. Влияние аутогезионных свойств тонкодисперсных материалов на характеристики фильтрующего слоя в

- пылеуловителе //Материалы семнадцатой Всеросс. науч.-техн. конференции "Энергетика: эффективность, надежность, безопасность." – Томск: Изд-во ТПУ, – 2011. С. 260 – 262.
3. Аэродинамические основы аспирации: Монография / И.Н.Логачев,К.И.Логачев. – Санкт-Петербург: Химиздат, – 2005. – □□659с.
  4. Справочник по пыле- и золоулавливанию // Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. М.: Энергоатомиздат, – 1983. – 312 с.
  5. <http://www.pole-news.ru/news-agro/news/tech-news/26-hi-tech/481-vliyanie-skorostnogo-rezhimara-boty-norij-na-ikh-moshchnostnye-pokazateli>.
  6. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2008. – 248 с.

УДК 621.928.9

**Метод определения характеристик слоя дисперсного материала на пористой фильтрующей перегородке**

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

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

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

*\*\*ООО «Томсказоочистка», г. Томск, Россия*

***E-mail: [vasmix40@mail.ru](mailto:vasmix40@mail.ru)***

В процессе фильтрации газа через пористую перегородку осаждаемая пыль находится в агломерированном состоянии. Уплотнение слоя при накоплении частиц связано с переформированием агрегатов. Пористость слоя, расчетный диаметр частиц являются переменными величинами. В статье предлагается метод оценки характеристик слоя дисперсного материала на пористой перегородке.

В технике обеспыливания газов применяют разнообразные по свойствам фильтровальные перегородки. Для некоторых фильтровальных перегородок (ткани, волокнистые слои) характерна сжимаемость под воздействием разности давлений (толщина уменьшается, поры деформируются и уменьшаются). Частицы, увлекаемые потоком газа, попадают в различные условия. Частица может пройти через пору, задержаться в результате адгезии на поверхности от касания частицы при воздействии на нее инерционных сил при движении в искривленной поре. Структура осаждаемого слоя определяется гидродинамическими и физико-химическими факторами: пористость слоя, размер частиц, сферичность частиц, относительная влажность несущей среды, образование двойного электрического слоя на границе дисперсных материалов – перегородка, степень агломерации частиц, деформация агломератов с закупоркой пор [1, 2]. Способность к агрегированию сказывается на процессе фильтрования запыленных газов через пористую перегородку. В процессе фильтрования на перегородке образуется пористый пылевой слой, который под действием осаждающихся частиц претерпевает изменения. Средний размер и форма пор фильтровальных перегородок определяется размерами и формами элементов, из которых они изготовлены, а также технологией изготовления.

В зависимости от вида ткани допустимые значения удельной газовой нагрузки  $v_{\phi}$  [ $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ мин})$ ] для разных пылей составляют: 0,6–1,2 – для хлопчатобумажной и шерстяной тканей; 0,5–1,0 – для синтетической; 0,3–0,9 – для стеклоткани.

Расчет рукавного тканевого фильтра сводится к определению общей поверхности фильтрования  $F_{\phi}$  и числа фильтров или секций. Расчетная поверхность фильтрования определяется по формуле

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\Gamma} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{п.в}}}{v_{\phi}}$$

где  $Q_{\Gamma}$  – расход запыленного газа, поступающего в аппарат,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_{\text{пр}} = (0,1-0,2)Q_{\Gamma}$  – расход продувочного воздуха,  $\text{м}^3/\text{мин}$  (меньшие значения принимают для синтетических тканей, чтобы предотвратить их переочистку);  $Q_{\text{п.в}}$  – расход подсазываемого в аппарат воздуха для снижения температуры,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $v_{\phi}$  – допускаемая удельная нагрузка тканевого фильтра по газу.

В общем виде сопротивление фильтра [3]

$$\Delta P_{\Sigma} = \mu(R_0 + R_{\tau})w, \quad (1)$$

где  $R_0 = r_0 h_0$  – сопротивление уравновешенного слоя (1/м),  $r_0 = k \frac{\varphi(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \delta_0^2}$  – удельное

сопротивление (1/м<sup>2</sup>),  $h_0 = g_0 / \rho_n$  – толщина слоя (м),  $g_0$  – равновесная масса пыли в порах перегородки на единицу поверхности,  $\varphi = 1/\psi^2$ ,  $\psi$  – фактор формы – отношение поверхности шара к поверхности тела, имеющего тот же объем.  $R_\tau = r_0 h_\tau$ ,  $h_\tau = \frac{V_{\text{пт}}}{F_\phi} = \frac{C_0 w \tau}{\rho_\tau (1-\varepsilon)}$  – переменная толщина слоя

отфильтрованной пыли (м),  $V_{\text{пт}}$  – объем отфильтрованного слоя (м<sup>3</sup>),  $F_\phi$  – поверхность фильтра.

Однако пористость зависит от давления и расчетные формулы должны быть введены корректировки. В [3] приведен анализ способов определения удельного сопротивления осадка. По первому способу проводятся опыты по разделению исследуемой суспензии в заданных условиях на небольшом фильтре. Определяются расход, объем осадка, перепад давления, физические параметры воздуха. По этим данным определяется удельное сопротивление осадка. По второму способу удельное сопротивление определяется на предварительно сформированном на фильтре осадке. Результаты определения удельного сопротивления по способам обоих видов совпадают.

На рис. 1 представлена установка для определения уплотнения материала при фильтрации воздуха через слой дисперсного материала на фильтре. Площадь поперечного сечения сосудов  $S=344 \text{ см}^2$ , фиксированное изменение уровня при перетечке воды из верхнего бака в нижний  $h=1 \text{ см}$ ,  $H$  – разность уровней воды в системе (см), диаметр фильтра  $D_\phi=2,50 \text{ см}$ ,  $S_\phi=4,87 \text{ см}^2$ .

Скорость фильтрации при  $H=50-100 \text{ см}$   $v_\phi = \left( \frac{Sh}{t} \frac{P_H + B}{P_y + B} \right) / S_\phi$ , где  $P_H$  – давление

столба жидкости высотой  $H$ ,  $P_y$  – давление воздуха перед измерительным участком с дисперсным телом,  $B$  – барометрическое давление.

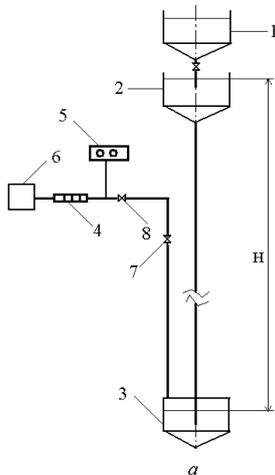


Рис. 1. 1, 2, 3 – сосуды;  
4 – исследуемый участок;  
5 – регистратор давления;  
6 – фильтр; 7 – дроссель; 8 – запорный вентиль.

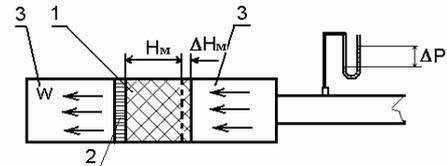


Рис. 2. Устройство для определения параметров дисперсного материала:  
1 – рабочая секция; 2 – фильтр;  
3 – вспомогательные секции.

1 кПа  $\approx 10 \text{ г/см}^2$ . Регистратор давления позволяет фиксировать минимальное и максимальное давления и время изменения давления на исследуемом участке.

Уплотнение материала характеризуется отклонением зависимости давления от скорости фильтрации воздуха от линейной.

**Уплотнение фильтрацией.** Микропорошок (корунд), цемент просеивают через сито с ячейкой  $1 \text{ мм}^2$  и порционно загружают в основной цилиндр, измеряют суммарную массу, вычисляют массу неуплотненного порошка и насыпную плотность. Объем цилиндра  $V_{\text{ц}}=23,5 \text{ см}^3$ ,

$\rho'_m = G'_m/V_{ц}$ . Масса цилиндра с фильтром  $G_{ц} = 31,0$  г. Вес материала в цилиндре равен разнице суммарного веса цилиндра с порошком и веса цилиндра:  $G'_m = G_{\Sigma} - G_{ц}$ . После уплотнения фильтрацией присоединяют второй цилиндр, добавляют порошок, снимают второй цилиндр, удаляют лишний слой порошка с первого цилиндра с образованием поверхности вровень с торцом. Цилиндры с порошком взвешиваются, определяется вес суммарной массы порошка в объеме цилиндра  $G''_m$ . Изменение объема материала после фильтрации  $\Delta V_m = \frac{G''_m - G'_m}{\rho'_m}$ . Опыты

проводились при постепенном повышении давления до заданного и при скачкообразном повышении давления. Определялась скорость фильтрации по времени изменения объема воды в верхнем бачке

$\Delta Q_H$ . В опытах величина  $\Delta Q_H$  равна  $344 \text{ см}^3$ . Данные опытов заносят в таблицу 1.

Каждая частица соприкасается с соседними частицами и с воздухом, протекающим через поры. Давление, оказываемое на частицу соседними частицами одинаково для всех слоев дисперсного тела, а давление воздуха меняется от слоя к слою. В этом случае  $\sigma_z$  – осевое напряжение, обусловленное взаимодействием частиц, будет равно перепаду давления на всем слое и постоянно по слою. Под действием давления форма агрегатов частиц изменяется таким образом, что пористость дисперсного тела  $\varepsilon$  уменьшается, а его сопротивление потоку воздуха возрастает. Отношение плотностей при таком методе определения может быть представлено как  $\rho''_m/\rho'_m = 1/(1-\Delta\varepsilon)$ . Оценки напряженного состояния дисперсного материала при уплотнении его плунжером рассмотрено в [4]. Изменение пористости в опытах [4]  $\Delta\varepsilon = (\rho''_m/\rho'_m) - 1$ . Сравнение данных отношения плотностей слоя частиц  $\rho''_m/\rho'_m$ , полученного уплотнением плунжером и фильтрацией, показывает, что это отношение в случае плунжера намного превышает значения при фильтрации. При уплотнении материала основное значение имеют контактные напряжения. Анализ показывает, что при уплотнении плунжером действующие контактные напряжения в скелете материала намного превышают расчетное напряжение по сечению. При уплотнении фильтрацией действующие контактные напряжения равны перепаду давления. В связи с этим требуется ввести поправки соответствия контактных напряжений при уплотнении плунжером и фильтрацией при одних и тех же давлениях.

Таблица 1. Изменение пористости в зависимости от скорости фильтрации

$$(\rho'_m = G'_m/V_{ц}, \Delta V_m = \frac{G''_m - G'_m}{\rho'_m}, \Delta\varepsilon = \Delta V_m/V_{ц})$$

М5						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
128	2,5	0,55	0,74	2,44	0,104	
85	6,4	0,82	0,74	3,1	0,132	
51	9,6	1,38	0,75	3,73	0,16	
М14						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
92	9,7	0,76	1,08	3,42	0,146	
98,5	6,7	0,7	1,1	2,9	0,124	
248	3,1	0,28	1,1	1,3	0,074	
цемент						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
144	2,2	0,5	0,89	2,0	0,085	
84	5,2	0,83	0,89	2,25	0,096	
38,5	9,8	1,18	0,89	3,3	0,13	
М40						
$t$ с	$P$ кПа	$V_{ф}$ см/с	$\rho'_m$ г/см <sup>3</sup>	$\Delta V_m$ см <sup>3</sup>	$\Delta\varepsilon$	
26	9,2	2,69	2,04	0,047	0,0021	
64	3,5	1,08	2,04	0,042	0,0019	
225	1,35	0,38	2,04	0,041	0,0018	

Имеются различные соотношения, связывающие порозность с диаметром частиц. В [3] дан метод вычисления удельного сопротивления осадка, выраженного как  $r_0/(1-\varepsilon)$ . Для характерного размера частиц приведено соотношение  $r_0/(1-\varepsilon) = 2300/\delta^2$ . В связи с тем, что удельное сопротивление осадка с увеличением содержания мелких частиц значительно возрастает даны соотношения  $r_0/(1-\varepsilon) = r_{cm} r_{cm} = (r_1/r_2)^{M_v} / [0,85(\delta_2/\delta_1)^2 + 0,5]$ , где  $r_1, r_2$  – удельные сопротивления осадков из

частиц с размерами  $\delta_1, \delta_2$  соответственно,  $M_v$ –доля тонкодисперсных частиц в смеси.

В [5] приведены данные при уплотнении апатита с высокой насыпной плотностью. Изменение плотности при давлении 100 кПа составило 6,5%. Изменение плотности корунда М40, согласно данным таблицы 1, составило 0,2%. Следовательно, слой из среднезернистых дисперсных материалов практически не меняет плотность при фильтрации. Удельное сопротивление является функцией пористости и удельной поверхности твердых частиц. Если рассматривать движение газа как ламинарное движение через систему сообщающихся пор, то можно использовать уравнение Гагена–Пуайзеля  $W = S_k \frac{\delta_3^2 \Delta P}{32 \mu h_{oc}}$ , где  $S_k$ –общая площадь

эффективного сечения пор на единицу площади фильтра,  $\delta_3$ –эквивалентный диаметр частиц.

$S_k \approx \varepsilon$ ,  $\delta_3 = \frac{4\varepsilon}{S_0(1-\varepsilon)}$ , где  $S_0$ –удельная поверхность твердых частиц осадка. Из уравнения Козени

–Кармана [3] получается соотношение  $S_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon^2}{k(1-\varepsilon)^2} \frac{\Delta P}{\mu h_{oc} W}}$ .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №11–08–00059).

#### Список используемой литературы:

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию //Под ред. М.И . Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, – 1983. – 312 с.
2. Фильтры для улавливания промышленных пылей /М.Г. Мазус, А.Д. Мальгин, М.Л. Моргулис.– М.: Машиностроение, – 1985.– 240 с.
3. Жужиков В.А. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, – 1980, – 400 с.
4. Василевский М.В., Некрасова К.В., Разва А.С., Зыков Е.Г. Оценка связности дисперсного материала из агрегированных частиц //Заводская лаборатория, – 2009, – т. 75, – № 5, с. 32 – 36.
5. Воронин В.Н., Егоров В.М. Экспериментальное исследование особенностей трения тонкодисперсных сыпучих материалов /Вопросы аэрогидромеханики и теплообмена.– Томск: Изд-во Томск. ун-та, – 1983. – С. 85 – 91.

УДК 544,772,3

#### Высокодисперсные капельные аэрозоли с заданными характеристиками

*Ишматов А.Н. \*, Елесин В.В. \*\*, Трубников А.А. \*, Огородников С.П. \*\**

*\*ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, Россия*

*\*\* ОАО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск, Россия*

*E-mail: ishmatoff@rambler.ru*

Решалась задача создания капельных аэрозолей заданной дисперсности. Проведена оценка возможности создания аэрозолей с частицами нанометрового диапазона.

#### Введение

Изучение принципов формирования аэрозолей имеет важное значение для создания систем эффективной нейтрализации токсичных аэрозолей и газов, создания автономных систем постановки аэрозольных завес для защиты от теплового излучения, систем подавления дыма в помещениях при эвакуации персонала во время пожара. Для описанных целей наиболее подходят высокодисперсные туманы. Важным является изучение эффективности туманов с различной дисперсностью капель и плотности.

В настоящей работе решается проблема создания капельных аэрозолей с заданными характеристиками для широкого круга научных задач.

#### Основная часть

Разработан прототип устройства для создания высокодисперсного тумана с регулируемыми характеристиками по размеру капель и массовому потоку. Суть устройства заключается в следующем. Аэрозоль, содержащий капли различных размеров, с определенной скоростью подается в канал в виде трубы («отсекатель»), закрученной по спирали вверх. При движении потока капель в канале за счет центробежных сил происходит сепарация, с осаждением крупных тяжелых капель на стенках канала с последующим сливом образовавшейся жидкости в приемник, расположенный в нижнем входном конце канала. Изменением параметров первоначального распыления, скорости потока, числа витков канала и угла закрутки регулируется степень

сепарации капель. Забор жидкости для распыления производится из приемника, расположенного в нижнем конце канала, тем самым производится повторное распыление жидкости, образовавшейся при осаждении на стенках канала крупных капель. Для эффективного «слива» жидкости стенки канала покрыты водоотталкивающим материалом. Численными методами 3-х мерной 2-х фазной газовой динамики проведено моделирование движения капельного потока через «отсекатель». Уравнения в форме Эйлера решались методом конечных объемов.

Уравнения сохранения импульса [1]:

$$\nabla \cdot (r_\alpha (\rho_\alpha \vec{U}_\alpha \times \vec{U}_\alpha)) = r_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla \cdot r_\alpha \tau$$

Уравнение неразрывности

$$\nabla \cdot (r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha) = 0,$$

где  $\rho = \text{const}$  – плотность среды,  $r_\alpha$  – концентрация  $\alpha$  фазы,  $\alpha$  – фаза (жидкость или газ),  $\vec{U}$  – вектор скорости,  $p$  – парциальное давление,  $\tau$  – силы трения.

Начальные условия моделирования:

- расход воздуха: 180 л/мин;
- расход жидкости (вода): 200 г/мин;
- размеры капель: от 1 мкм до 100 мкм;
- все расчеты для стационарных условий течения;
- поток двухфазный, несжимаемый, равномерный;
- скорость движения на стенке «отсекателя» равна нулю (условие «прилипания» частиц);
- температура в потоке постоянная (293 К);
- испарение капель, диффузия газов, силы тяжести, силы Архимеда, взаимодействие капель, коагуляция не учитывались.

В результате расчетов для имеющихся условий распыления (см. ниже) выбраны оптимальные геометрические параметры конструкции для обеспечения получения на выходе капель с размерами до 10 мкм. На рис. 1 представлены результаты расчета степени осаждения капель на стенках «отсекателя». В экспериментальном исследовании использовался распылитель аэродинамического типа. Давление распыливающего газа составляло 0,4 МПа, расход воздуха 180 л/мин, расход распыливаемой жидкости 200 г/мин, дисперсность распыла приведена на рис. 2. Для измерения характеристик распыла применялась установка «Malvern Spraytec». Для стабилизации получаемых капель в воду добавляли глицерин, получали 20 % раствор, который применялся для распыления.

При пропуски получаемого аэрозоля через трубу-отсекатель на выходе получали сепарированный аэрозоль (рис. 2).

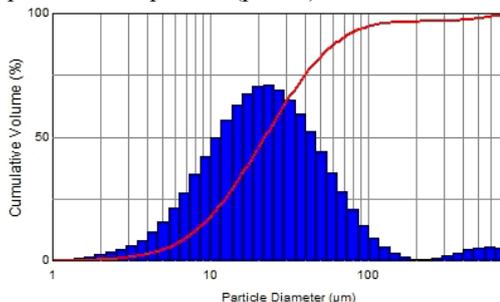


Рис. 2. Функция массового распределения капель в распыле

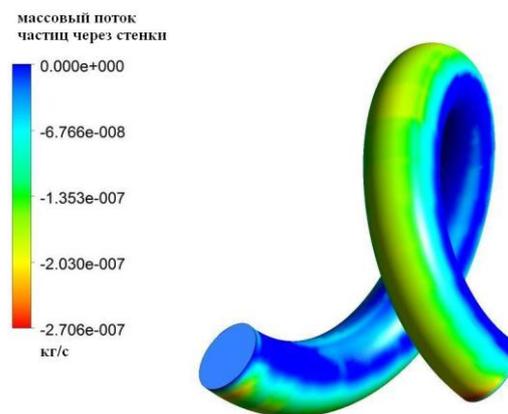


Рис. 1. Массовый поток капель через стенки трубы-отсекателя

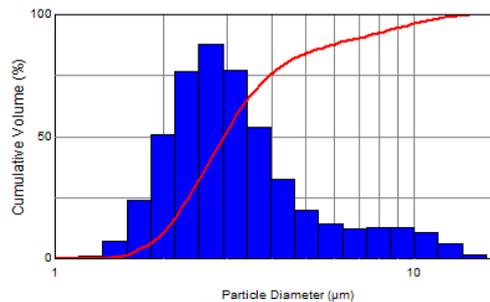


Рис. 3. Функция массового распределения капель на выходе трубы-отсекателя

Содержание капель до 10 мкм составляло 96 %, в первоначальном распыле процент капель до 10 мкм порядка 8 %. При этом коэффициент оптического пропускания среды для первоначального распыла равен 46 %, для получаемого на выходе отсекаателя – 87 %. Дополнительная настройка системы позволила получать, практически, монодисперсный аэрозоль с каплями до 3 мкм (рис. 4.).

На рис. 4 наличие «крупных частиц» (1 мм) объясняется случайным «пролетом» через отсекаатель отдельных капель, наличие которых в аэрозоле на фоне мелких капель значительно сказывается. Таким образом, отсекаатель позволяет сепарировать капли в распыле. С помощью регулировки системы можно регулировать степень сепарирования. Проведена серия экспериментов по изучению возможностей повышения производительности системы. Для этого через один отсекаатель пропускаться аэрозоль, созданный группой

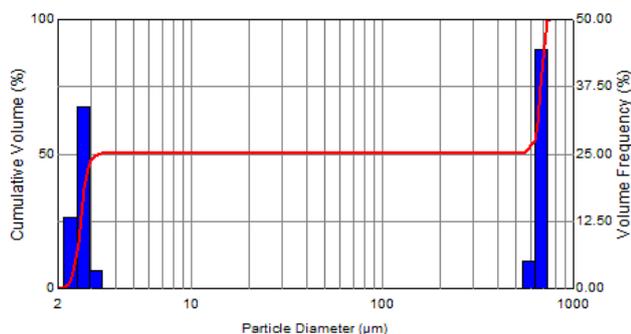


Рис. 4. Функция массового распределения капель на выходе трубы-отсекателя (тонкая настройка)

распылителей. Системы из двух распылителей позволяла получать капли до 10 мкм с производительностью 18-25 г/мин; система из четырех распылителей позволяла получать до 35 г/мин. При этом концентрация аэрозоля на выходе составляла порядка 100 г/м<sup>3</sup>.

Таким образом, была показана возможность создания аэрозолей с требуемыми характеристиками по концентрации и размерам капель. Для получения субмикронных и наноразмерных частиц предлагается экспериментальная методика по распылению растворов с содержанием неиспаряемой примеси [2, 3]. Методика построена по принципу получения тонкодисперсных порошков NaCl, полистирола, оксида железа и др., при распылении их растворов с легкоиспаряемым растворителем [4, 5, 6]. Оценка степени уменьшения аэрозольных частиц вследствие испарения определяется из условия равенства массового содержания неиспаряемой примеси в капле первоначального раствора и частицы после полного испарения растворителя:

$$m = \tilde{N}_m \rho_{\delta-\delta a} V_1 = \rho_1 V_2,$$

где  $m$  – масса примеси в капле раствора;  $\tilde{N}_m$  – относительная массовая концентрации примеси в растворе;  $\rho_{\delta-\delta a}$ ,  $\rho_1$  – плотность раствора и примеси в растворе, соответственно;  $V_1$ ,  $V_2$  – объем капли и примеси в ней, соответственно.

Выразив объем через диаметр сферы, получим уравнение для расчета диаметра конечной сферической частицы ( $D_2$ ), оставшейся после испарения растворителя из начальной капли диаметром ( $D_1$ ):

$$D_2 = D_1 \sqrt[3]{\tilde{N}_m \rho_{\delta-\delta a} / \rho_1} \quad 1)$$

Выражение (1) также позволяет оценить размер образуемых капель по известным конечным частицам. Данная особенность полезна, например, для исследования жидкокапельных аэрозолей методами электронной микроскопии пробоотборников с конечными частицами твердого вещества и в случае исследования наноразмерных аэрозольных частиц может быть единственно возможным способом измерения. Пример расчета для оценки изменения размеров капель при испарении раствора NaCl для различных концентраций с учетом изменения плотности раствора [7] приведен на рис. 1. Для NaCl  $\rho_1=2165$  кг/м<sup>3</sup>.

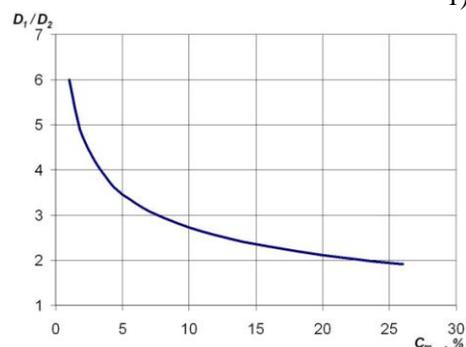


Рис. 5. Расчетный график изменения размеров конечных частиц в зависимости от массовой концентрации NaCl в распыливаемом растворе

Из рис. 5 следует, что путем изменения концентрации растворов можно получать аэрозоли с частицами заданных размеров, в том числе субмикронными и наноразмерными.

#### **Заключение**

В ходе выполнения работы разработан прототип устройства для создания высокодисперсного тумана с регулируемыми характеристиками по размеру капель и массовому потоку. С помощью моделирования процессов осаждения капель на стенках закрученного канала получены оптимальные параметры сепаратора (трубы-отсекателя). Показана возможность эффективного получения мелкодисперсной фракции капель заданной дисперсности.

*Работа выполнена при частичном финансировании по программе Минобрнауки РФ (ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 8883) и гранту РФФИ (проект № 12-08-31282 мол\_а).*

#### **Список используемой литературы**

1. Соркин Р.Е. Газотермодинамика ракетных двигателей на твердом топливе. – М., 1967 г. – 368с.
2. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И. Метод исследования тонкодисперсного распыления жидкостей // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, №7. – С.653-656.
3. Ишматов А.Н. Методика исследования жидкокапельных аэрозольных сред по солевому остатку, образованному при распылении растворов NaCl // Южно-Сибирский научный вестник. – 2012. – № 1. – С. 58-60.
4. Liu H. Science and Engineering of Droplets - Fundamentals and Applications. – William Andrew Publishing: Noyes, 2000. – 508 p.
5. Lefebvre A.H. Atomization and Sprays. – Hemisphere, New York, 1989. – 417 p.
6. Ишматов А.Н., Ворожцов Б.И. Исследование развития высокодисперсного аэрозоля жидкости с учетом влияния слабоиспаряемой примеси // Краткие сообщения по физике. ФИАН – Москва. – № 1 – 2010. – С. 22-27.
7. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. – М.: Наука, 1986. – 245 с.

УДК 621.7.08

#### **Измерение дисперсности капель методом «солевого остатка»**

***А.Н. Ишматов, Б.И. Ворожцов, В.А. Архипов***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт проблем химико-энергетических технологий*

*Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

***E-mail: ishmatoff@rambler.ru***

В работе предложен метод исследования дисперсного состава капель в факеле распылителей, основанный на анализе частиц солевого остатка, сформированного в результате испарения капель при распылении модельных водных растворов NaCl.

#### **Введение**

Проведение экспериментальной отработки устройств тонкодисперсного распыления жидкостей и исследование процессов формирования жидкокапельных сред связаны со значительными трудностями ввиду малого времени существования мелкодисперсных испаряющихся капель. Оптические методы позволяют проводить измерения с малым временным шагом непосредственно в самом потоке. Основной является проблема использования этих методов в условиях повышенной плотности и нестационарности дисперсного потока [1, 2]. Также существует проблема выбора измерительной области в потоке, поскольку сложно оценить расстояние, на котором еще протекает стадия диспергирования; не исключена коагуляция капель и к тому же их форма может отличаться от сферической. В случае выбора заведомо большего расстояния результаты измерений будут отражать картину по истечении промежутка времени, за которое размер капель может измениться вследствие испарения. Проблему с испарением и аморфностью форм можно решить методами заморозки жидких капель: например, использовать метод «парафинового» моделирования [3]. Вместо жидкости распылять расплавленный парафин, свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) которого можно промоделировать в некоторых пределах, нагревая его до определенной температуры. Метод в своем роде уникален, поскольку позволяет оперировать не с выборочной пробой, а со всем множеством капель,

формирующихся при распылении. Из-за своей сложности повседневное применение метода ограничено, но он может считаться эталонным.

### Основная часть

Предлагается экспериментальный метод также позволяющий оперировать со всем ансамблем капель образующихся при распылении. Метод заключается в распылении раствора NaCl с последующим определением дисперсного состава капель по результатам исследования кристаллов соли, сформированных в результате испарения капель. Размер частиц сухого остатка напрямую связан с содержанием неиспаряемой примеси в капле, а дисперсный состав первичных капель определяется по формуле:

$$D_1 = D_2 \sqrt[3]{\tilde{N}_m \rho_d / \rho_{imp}}, \quad (1)$$

где  $D_1$  – диаметр начальной капли;  $D_2$  – эквивалентный диаметр конечной частицы;  $\rho_{imp}$  – плотность растворенного вещества;  $\tilde{N}_m$  – относительную массовая концентрация растворенного вещества в растворе;  $\rho_d$  – плотность капли. Уравнение (1) получено из условия равенства массы неиспаряемой примеси в капле раствора и массы частицы после полного испарения растворителя при выражении объема капли и конечной частицы через диаметры эквивалентных сфер.

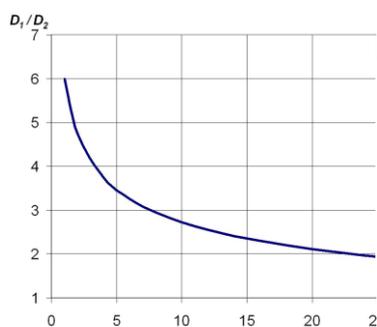
$$m_{imp} = m_2; \tilde{N}_m \rho_d \pi D_1^3 / 6 = \rho_{imp} \pi D_2^3 / 6, ,$$

где where  $m_{imp}$  – масса примеси в капле раствора,  $m_2$  – масса частицы солевого остатка.

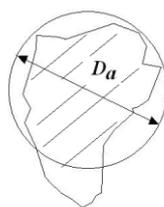
Выбор концентрации NaCl в растворе обусловлен с одной стороны относительно небольшим отличием размера капли и конечного кристалла сформированного при испарении, с другой – удаленностью от границы насыщения раствора. Пример расчета отношения размеров первоначальных капель к диаметру конечных частиц при испарении раствора NaCl различных концентраций приведен на рис. 1. Эквивалентный диаметр частицы используется в виду того, что форма частиц может отличаться от сферической и представляет собой диаметр эквивалентной сферы  $D_a$ , площадь которой равна площади проекции частицы (рис. 2). Для NaCl  $\rho_{imp} = 2165 \text{ kg/m}^3$ , в зависимости от ее содержания в растворе  $\rho_d$  находится из таблицы [4]:

**Таблица 2.** Плотность водных растворов NaCl

Параметр	Значение параметра									
$\tilde{N}_m, \%$	2	6	10	14	16	18	20	22	24	26
$\rho_d, \text{kg/m}^3$	1012	1041	1071	1101	1116	1132	1148	1164	1180	1197



**Рис 1.** Зависимость отношения  $D_1/D_2$  от концентрации раствора NaCl различных концентраций



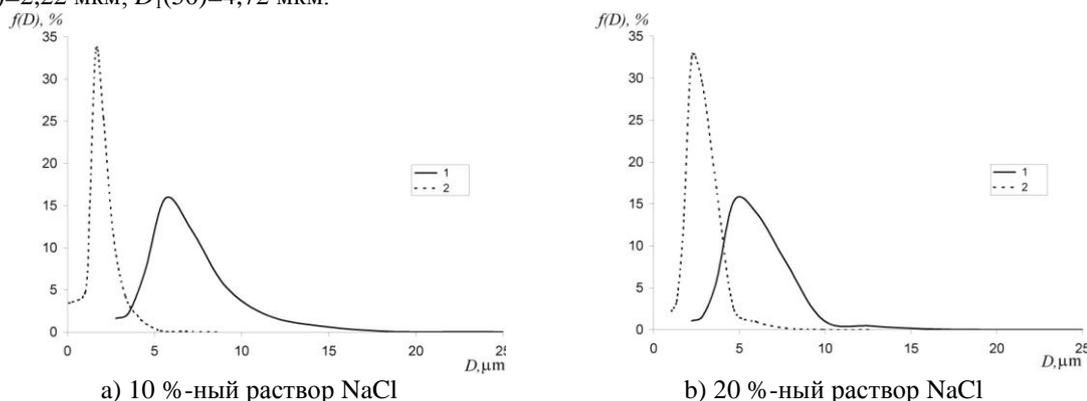
**Рис. 2.** Эквивалентный диаметр частицы солевого остатка

Метод «солевого остатка» по своей сущности близок к методу «парафинового» моделирования, не требует разработки сложных механизмов и специальной подготовки пробоотборников, допускает использование комплексного подхода (одновременное использование нескольких методов исследования), что особенно актуально для максимальной информативности измерений в одном эксперименте. Например, использование методов электронной микроскопии при исследовании капель затруднительно, а при исследовании частиц твердого остатка вполне возможно.

### Результаты и их обсуждение

Практическое применение методики для анализа дисперсности ультразвукового распыления на частотах 2,4 МГц показало, что в случае 10 %-ного модельного раствора (рис. 3а) средний размер частиц солевого остатка ( $D_2(50)$ ) составил 1,98 мкм, средний размер

восстановленных каплей ( $D_1(50)$ ) – 5,38 мкм, для случая 20 %-ного раствора (рис. 3б):  $D_2(50)=2,22$  мкм;  $D_1(50)=4,72$  мкм.



**Рис. 3.** Восстановление начальной функции распределения (1) по распределению частиц солевого остатка (2) при ультразвуковом распылении модельных растворов NaCl

Различное содержание NaCl в воде обуславливает отличие по вязкости ( $\mu_d$ ) и плотности раствора (10 %-ный раствор NaCl:  $\mu_d = 1,19$  Па·с;  $\rho_d = 1071$  кг/м<sup>3</sup>; 20 %-ный раствор NaCl:  $\mu_d = 1,56$  Па·с;  $\rho_d = 1148$  кг/м<sup>3</sup> [4]), этим объясняется (с учетом особенностей ультразвукового распыления [5]) смещение размеров каплей в сторону меньших значений при распылении 20 %-ного раствора. Описанный способ применялся также для исследования дисперсности импульсного распыления жидкостей устройствами на основе гидродинамической трубки с использованием высокоэнергетических материалов в качестве энергоносителя [6]. Метод распыления обусловлен скоротечностью процессов (менее 8 мс) формирования жидкокапельной среды и сложен для исследования. Методика «солевого остатка» по своей сути близка к методу «парафинового» моделирования и не требует разработки сложных механизмов и специальной подготовки пробоотборников, допускает использование комплексного подхода (одновременное использование нескольких методов исследования), что особенно актуально для максимальной информативности измерений в эксперименте.

#### Заключение

По результатам применения методики показано, что предложенный способ позволяет восстанавливать реальную функцию распределения начальных каплей по частицам их солевого остатка, также допускает использование комплекса методов исследования, что существенно увеличивает информативность измерений. При должном подходе по частицам солевого остатка возможно составить и описать особенности формирования дисперсной фазы в результате быстротечных процессов, когда прямые измерения развития дисперсного потока на начальных этапах невозможны ввиду его высокой плотности и скоростей выброса.

*Работа выполнена при частичном финансировании по программе Минобрнауки РФ (ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», соглашение № 8883) и гранту РФФИ (проект № 12-08-31282 мол. а).*

#### Список используемой литературы

1. Boyaval S., Dumouchel C. Investigation on the Drop Size Distribution of Sprays Produced by a High-Pressure Swirl Injector. Measurements and Application of the Maximum Entropy Formalism // Particle & Particle Systems Characterization. 2001. Vol. 18. Issue 1. P. 33-49.
2. Ишматов А.Н., Ахмадеев И.Р., Ворожцов Б.И., Титов С.С., Кудряшова О.Б. Лазерная измерительная установка для исследования высококонцентрированных жидкокапельных аэрозолей // Датчики и системы. 2011. № 11. С. 61-63.
3. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / Д. Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
4. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. М.: Наука, 1986. 245 с.
5. Хмельёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография. Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. 160 с.

6. Ворожцов Б.И., Кудряшова О.Б., Ишматов А.Н., Ахмадеев И.Р., Сакович Г.В. Взрывная генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей и их эволюция // Инженерно-физический журнал. 2010. Т. 83, № 6. С. 1084-1104.

УДК 376.5

### **Формирование ключевых экологических компетенций методом проектов**

***О.В. Ротарь, А.В. Искрижицкая,***

*Томский политехнический университет, СШ №4, г. Томск, Россия*

*E-mail: rotarov@tpu.ru*

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

Проблема качества образования и подготовки специалистов по-прежнему является первостепенной задачей в образовательной системе. Общим определением понятия «качество» может быть следующие: «качество – это степень соответствия ожиданиям», или «качество – это степень соответствия уровня образования и подготовки специалиста уровню согласованных требований по освоению той или иной программы, степень соответствия образовательному стандарту». Качество высшего образования - это сбалансированное соответствие образования и подготовки специалиста, как процесса и результата, потребностям личности, общества и государства. Конкурентоспособность выпускников вузов на рынке труда во многом зависит от его образованности, способности овладевать новыми технологиями, адаптироваться к изменяющимся условиям труда. Одним из ответов системы образования на этот запрос времени является идея компетентностно-ориентированного образования.

Под компетенцией понимается готовность специалиста эффективно мобилизовать внутренние и внешние ресурсы для достижения поставленной цели. В основу формирования компетенции личности ложится такой результат образования, как ключевые компетентности, выражающийся в овладении студентами определенным набором способов деятельности, в результате получает опыт интеграции различных результатов образования (знаний, умений, навыков, ценностей и т.д.), а значит, происходит осознание процесса управления своей деятельностью.

Достижение нового результата образования должно опираться на новые педагогические технологии. Базовой образовательной технологией, поддерживающей компетентностно-ориентированный подход в образовании, является метод проектов. Метод проектов нацелен на формирование способностей, обладая которыми, выпускник ВУЗа оказывается более приспособленным к жизни, умеющим адаптироваться к изменяющимся условиям, ориентироваться в разнообразных ситуациях, работать в различных коллективах, потому что «проектная деятельность является культурной формой деятельности, в которой возможно формирование способности к осуществлению ответственного выбора».

Метод проектов описывает комплекс действий студента и способы (техники) организации педагогом этих действий, то есть является педагогической технологией. Предлагаемый метод овладения новыми умениями и навыками является одним из немногих, который можно применить в любой форме обучения при выполнении различного рода проектов. Работая над своим проектом, студенты получают свободу действий, что даёт им возможность творчески мыслить, учит самостоятельности.

Тематика проектов может касаться какого-то теоретического вопроса школьной программы с целью углубить знания (по иностранному языку) отдельных учеников по этому вопросу, дифференцировать процесс обучения. Чаще, однако, темы проектов, особенно рекомендуемые органами образования, относятся к какому-то практическому вопросу, актуальному для практической жизни и вместе с тем, требующему привлечения знаний учащихся не по одному предмету, а из разных областей, их творческого мышления, исследовательских навыков. Современная ситуация, сложившаяся в отношении между обществом и окружающей средой, отличается сложностью и противоречивостью: с одной стороны – негативное воздействие на окружающую природную среду человека в виде возрастающего потребления природных ресурсов, с другой стороны – острота ситуации не учитывается. Как строить образовательный процесс, какие принципы должны быть положены в основу образовательной модели экологического обучения – это те проблемные вопросы, решение которых определяет

формирование конкретной модели и методов экологически образовательной деятельности учащихся. Необходим качественно новый подход к экологическому образованию и воспитанию, целью которого должно стать обучение осмысленному пониманию природы и бережному отношению к ней. Воспитать гармонически развитую, экологически подготовленную личность, которая была бы способна опираться на идеи коэволюции природы и общества, устойчивого развития биосферы – задача, стоящая перед педагогами.

Одной из форм обучения в настоящее время чаще всего обсуждается «проектирование» или «проектная деятельность». Данная форма обучения успешно внедрена нами в курсе преподавания общей экологии и основ экологии. Проектная деятельность (проектирование) – это выполнение учебного проекта для обобщения и интеграции знаний, полученных за весь период обучения; это организованная и целенаправленная деятельность, результатом которой является получение новой информации. Обучение на основе метода проектов состоит из нескольких этапов:

1. Определение темы, цели и задачи проекта, подбор участников проекта.
2. Творческий поиск идей решения задач проекта.
3. Получение ожидаемого результата и его оценка.

Созданный на базе Томского политехнического университета (кафедра технологии основного органического синтеза) и Центра допрофессионального образования учащихся «Планирование карьеры» химико-экологический профиль позволяет не только повысить уровень экологического образования и воспитания студентов и школьников, но также способствует вовлечению молодежи в решение экологических проблем региона. Нами разработана программа, в которой предлагаем модульную концепцию преподавания химии, считая, что главная её цель – раскрыть содержание химической науки и её методов, законов химии, которые помогают учащимся сквозь призму химических знаний здраво оценить экологическую ситуацию и найти выход из неё. Исходя из того, что существующей парадигмой образования является «познание мира», а студент или школьник рассматривается как объект воздействия, то мы рассматриваем учащихся как субъект воздействия, который может изменить мир. На передний план выдвигается идея саморазвития личности, для которой определяющими становятся морально-этические принципы. Экологическое образование в данном случае ориентировано на раскрытие потенциальных неповторимых способностей учащихся. Именно поэтому в созданном блоке «Школа- ВУЗ - Профессиональная деятельность» создана такая модель образования, в основе которой лежит естественно - научная предметная интеграция и теория преобразующей практики.

На кафедре технологии органических веществ и полимерных материалов (ТОВПМ) школьники принимают непосредственное участие в научно-исследовательской деятельности вместе со студентами. Профиль работает уже несколько лет. Результатом работы является выполнение следующих проектов:

1. Утилизация отходов коксохимического сырья
2. Получение фоточувствительного материала
3. Изучение адгезии полимеров к металлам (на примере металлических труб для городского водоснабжения)
4. Утилизация отходов производства ДСП
5. Очистка почвы от нефтепродуктов
6. Очистка почвы от пестицидов

В результате выполнения проекта у учащихся развивается креативность мышления – ряд мыслительных качеств, благодаря которым возможно осуществление творческого процесса. В числе креативного ряда качеств можно отметить: открытость опыту, наблюдательность, чувствительность к новым проблемам, самостоятельность, необычность, нестандартность.

Приобщение школьников к научной школе играет в процессе экологического образования огромную роль, поскольку является предпосылкой осуществления идеи непрерывности в развитии образовательно-научных традиций.

В процессе ассимиляции молодежи с научно-исследовательской работой происходит освоение исследовательских ориентиров, усвоение исследовательского и методологического аппарата. Особенностью научной школы является непосредственная связь между школьниками, учащимися и руководителем, который в качестве средств обучения выбирает диалог, а исследовательский поиск включает неформальные компоненты, способствующие творческому развитию личности.

Результаты исследований ежегодно успешно докладываются на Всероссийском конкурсе исследовательских работ имени В.И.Вернадского и подтверждаются дипломами.

Учащиеся вместе со студентами принимают активное участие в региональных научно-исследовательских конференциях (г. Томск, г. Красноярск, г. Новоуральск), а также в Областной научно-практической конференции («Сибирские Афины: вчера, сегодня, завтра»).

#### **Список используемой литературы:**

1. Ротарь О.В. Метод проектов как способ развития экологического образования Журн. Современные наукоемкие технологии, Москва, 2004, - №11. – С. 97-97.
2. Ротарь О.В., Сутягин В.М. Формирование и развитие творческого потенциала учащихся при изучении основ экологии. Журн. Успехи современного естествознания Москва, 2004, - №12. – с 96 – 97.
3. Ротарь О.В., Искрижицкий А.А. Метод проектов как способ развития экологического образования. Сообщение 2. Журн. Успехи современного естествознания, Москва, 2005. №1. – с.29 – 30.
4. Ротарь О.В. Искрижицкий А.А. Роль химико-экологического профиля в формировании экологического мировоззрения Организации предпрофильной подготовки и профильного обучения: Сборник материалов Международной научно – практической конф. Новокузнецк, 2005. – с. 48 – 49.
5. Ротарь О.В. Научная деятельность учащихся в рамках НОУ Научная деятельность учащихся в рамках Формирование инновационной модели развития системы воспитания в образовательных учреждениях НПО: Международная научно – практическая конф. –Томск, 2005. -. 33-35.
6. Величко А.В., Митин О.В., Ротарь О.В. Экологическое образование как форма гармонизации отношений .Модернизация российского образования. Сборник научных трудов, Санкт – Петербург, 2005. – т. -№1. – с.54 – 57.
7. Ротарь О.В. Мыслить глобально – действовать локально Итоги работы Дома техники НПО. Информационно – методический бюллетень, Томск, 2006, №1, с.28 -29.
8. Ротарь О.В., Величко А.В., Искрижицкий А.А. Предметная интеграция в довузовской подготовке Химико – экологического профиля. Международная научно – практическая конференция. Инновационные технологии в техническом ВУЗе: на пути к новому качеству. – Пенза, 23 -28 марта.2006, - с.123 – 124.
9. Ротарь О.В. Некоторые методологические подходы к экологическому образованию. Региональная научно – практическая конференция «Непрерывное экологическое образование: проблемы, опыт, перспективы».-Томск 2- 4 ноября 2006,-с.4-5. 2. Коробин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов н/Д.: «Феникс», 2001.-576с.

#### **Сообщества коловраток в водоёмах Каргасокского района**

***В.В. Шмырина***

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

***E-mail: [shv@sibmail.com](mailto:shv@sibmail.com)***

Исследовано 4 водных объекта Каргасокского района. Рассмотрена динамика численности сообществ и видовое разнообразие коловраток. Выявлена зависимость видового разнообразия коловраток от степени загрязнённости водоёмов.

По территории Томской области антропогенная нагрузка распределена неравномерно, и наибольшее загрязнение отмечается в местах размещения предприятий нефтедобывающей отрасли: в Каргасокском, Парабельском, Александровском районах. Основанная масса выбросов от нефтеперерабатывающих заводов приходится на Каргасокский район. В Каргасокском районе основой промышленного производства является нефтегазодобывающая отрасль, актуальными вопросами являются разработка и совершенствование методов оценки качества природных вод. На основе динамики численности различных групп гидробионтов сделано заключение, что оптимальной группой для анализа и контроля загрязнения вод является микрозоопланктон (Кренева, 1992). Коловратки представляют основную биомассу зоопланктона, для них характерен короткий жизненный цикл, колебания численности при изменениях условий обитания: трофические и токсические факторы. Доказано, что многие виды гидробионтов используются в качестве индикаторов загрязнённости водоёмов (Кутикова, 1970, 1984) [1-5,9,10].

Коловратки (*Rotatoria*) - класс первично - полостных червей (тип *Nemathelminthes*), принадлежат к микроскопическим организмам (Кутикова, 1970, 1985). Размеры их не превышают

2,5 мм, но чаще колеблются в пределах от 100 до 300 мкм, существуют и более мелкие формы. Тело коловратки подразделяется на головной отдел, туловище и хвостовой отдел, или ногу. Головной отдел снабжен чувствительными щетинками и 1-2 пигментированными глазками. В процессе эволюции у коловраток выработались приспособления к различным условиям существования. Они входят в состав пресноводного планктона, перифитона, бентоса, населяют влажный мох и почву. Целью работы являлось изучение родового разнообразия коловраток в озёрах Каргасокского района [3,5,6,7].

#### Методы исследования

Сбор коловраток осуществлялся стандартными гидробиологическими методами из 4 озёр Каргасокского района. Изучение населения конкретного биотопа включает отбор образцов, извлечение организмов из воды, определение вида и численности. Пробы микрозоопланктона отбирались прозрачными бутылками методом водозачерпывания от дна до поверхности воды. Все пробы одного водоема объединяются и обрабатываются как одна проба. Материал в живом виде доставляется в лабораторию без фиксации формалином, как положено в общепринятых методиках, фиксация 4% формалином приводит к деформации беспанцирных коловраток. Пробы просматриваются в первые часы после взятия. Обработка зоопланктона проводилась в лабораторных условиях по общепринятой методике. Пробы коловраток обрабатывались камерным методом счета в камере Богорова в 5 повторностях под световыми микроскопом «Биомед 70». Проводилась видовая оценка численности коловраток. При необходимости, коловратку при помощи пипетки отсаживала на предметное стекло, помещала в каплю глицерина и исследовала под микроскопом. Первоначально просмотр проводился при малом увеличении микроскопа; после выбора объекта наблюдения используются большие увеличения. Идентификацию коловраток производила до рода по определителям [5,7,8].

При определении панцирных коловраток выясняют наличия панциря, формы, в каком направлении он сплюснен, целый он или составлен из пластинок. Для определения беспанцирных коловраток используется характерный морфологический тип челюстного аппарата [8].

#### Результаты и их обсуждение

С 26 июня 2012 года по 20 августа 2012 года исследовано 4 водных объекта Каргасокского района Томской области: Объект А-искусственный водоем-пруд, созданный в целях разведения рыбы. Объект Б-искусственный водоем-пруд, который загрязнён бытовыми и хозяйственными отходами. Объект В -боковая канава, кювет, проходящей вдоль дороги одной из улиц с. Каргасок, с автозаправкой. Объект Г-р. Исаевка, расположенная вблизи завода ООО «Томскнефтегазпереработка» с автотрассой, нефтепроводом и ЛЭП.

В исследованных объектах обнаружены коловратки следующих родов: *Lecane*, *Polyarthra*, *Cephalodella*, *Conochilus*, *Trichocerca*, *Colurella*, *Brachionus*, *Philodina*.

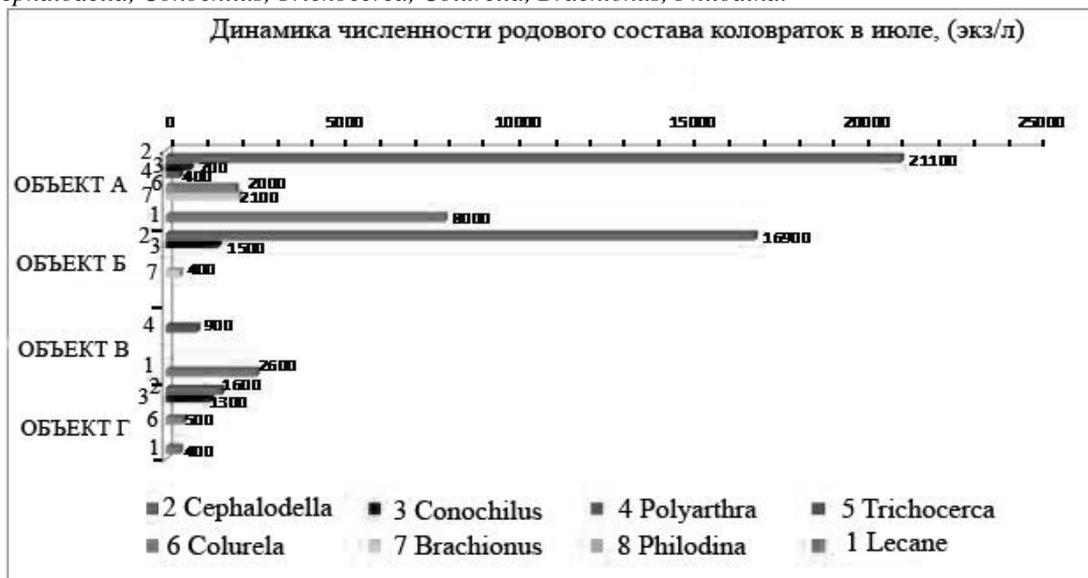


Рис. 1. Динамика численности родового состава коловраток в июле, (экз/л).

На протяжении всего исследования подсчитывалось количество коловраток в 10 мл каждой взятой пробы с пересчётом на 1 литр. Составлялась таблицы за июль, август, в которых отмечалось количество коловраток по каждому объекту. На основании составленных таблиц

построена диаграмма, отображающая динамику численности родового состава коловраток за июль, август в исследуемых водоёмах Каргасокского района.

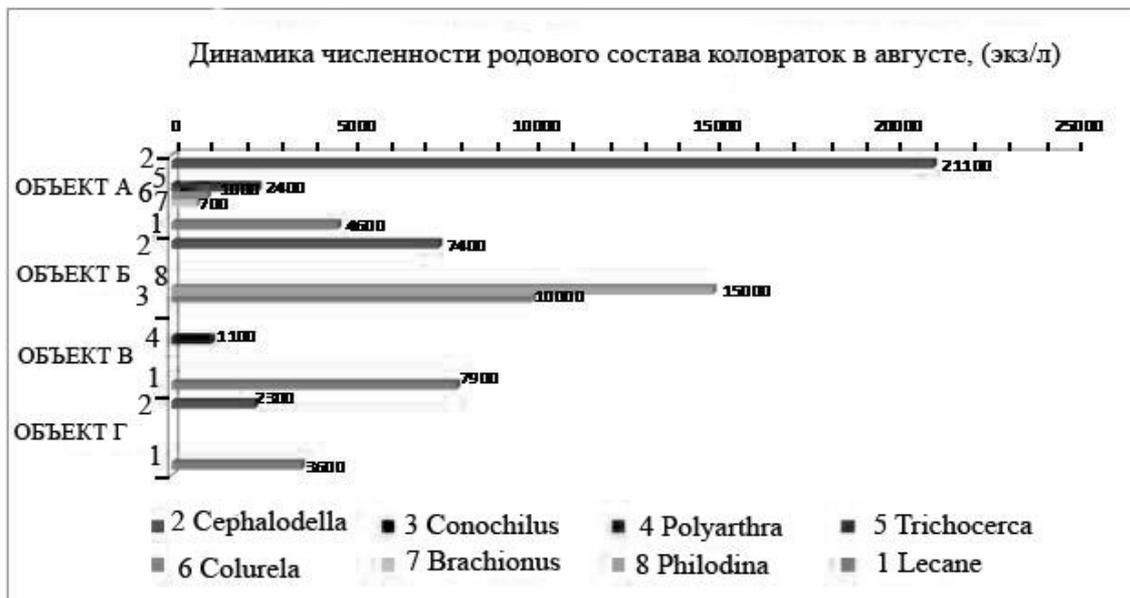


Рис. 2. Динамика численности родового состава коловраток в августе, (экз/л)

Анализ среднестатистических результатов, представленных на Рис.1,2 позволяет заметить, что для всех объектов характерно дифференцированное количество и представительство родов в сообществе коловраток. Максимальное количество видов встречается в объекте А, который относится к самым чистым водоёмам. На протяжении всего исследования доминирующим является род *Cephalodella*. В августе встречается род *Trichocerca* в 2х объектах: А и В. В небольших количествах представлен род *Polyarthra*. В объекте Б при разнообразной кормовой базе в виде бактерий, детрита и водорослей встречается расширенное разнообразие сообщества коловраток. Преобладающим родом в июле является *Cephalodella*, в августе- *Philodina*, который наблюдался в исследованном водоёме. В объекте В встречается всего 2 рода коловраток: род *Lecane* и род *Polyarthra*. В Объекте Г численность коловраток невысокая в сравнении с другими объектами. В июле встречаются: *Cephalodella*, *Conochilus*, *Colurella*, *Lecane*, в августе- *Cephalodella*, *Lecane*.

Сообщества коловраток, исследованных водоёмов представлены разной численностью и родовым составом. В искусственном водоёме, созданном в целях разведения рыбы, встречается максимальное количество видов коловраток. В канаве- кювете, проходящей вдоль дороги одной из улиц с. Каргаска наблюдается снижение численности и видового разнообразия беспозвоночных. В р. Исаевка, расположенной вблизи завода ООО «Томскнефтегазпереработка», рядом расположены автотрасса, нефтепровод и ЛЭП численность и родовой состав представлены в наименьшем количестве. Следовательно, численность и количество родов коловраток существенно зависят от уровня техногенной нагрузки, что является биоиндикатором степени деградации биоценозов водоёмов.

#### Список используемой литературы:

1. Карташев А.Г., Ковальская М.В. Влияние нефтезагрязнений на коловраток. Сибирский экологический журнал, № 4 (2012) С. 505-510.
2. Кухарская Е.В., Долгин В.Н. Распределение зоопланктона в болотных экосистемах бассейна среднего течения р. Чулым // Вестник Томского государственного университета, 2009а. № 3, Вып. 3 (81) С. 70–77.
3. Кухарская Е.В., Долгин В.Н. Зоопланктон бассейна р. Чулым // Вестник Томского государственного университета, 2009б. № 6, Вып. 6 (84) С. 141–147.
4. Кухарская Е.В., Долгин В.Н. Итоги изучения зоопланктона бассейна реки Чулым. Вестник Томского государственного университета, 2011. Вып. 5 (107) С. 77–83.
5. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л. : Наука, 1970. 744 с.
6. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоёмов// Наука.1969.- 663 с.

7. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Определитель. 104. Л. «Наука»: 1970 г., 744 с.;
8. Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР, Л. «Гидрометеиздат», 1977 г., 512 с.
9. <http://www.kargasok.ru/>
10. <http://www.parabel.tomsk.ru/news-602.html>

УДК 544.478

## Влияние добавки оксида марганца (IV) на процесс горения отходов деревообработки

*М.В.Жданова*

*Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

*E-mail: marina.zhdanova@mail.ru*

Показано действие добавки оксида марганца (IV) на процесс горения березовых опилок в воздухе. Установлено, что в присутствии добавки диоксида марганца тепловой эффект увеличивается на 7 – 12 %, а скорость окисления (горения) возрастает максимально в 14 раз. Каталитическое действие добавки связано со снижением энергии активации окисления древесных опилок.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является эффективным способом экономии и частичного замещения углеводородного топлива. Одним из видов ВЭИ является получение энергии из биомассы. В качестве биомассы могут быть использованы отходы лесозаготовок и лесопереработки [1]. Их сжигание обычным способом имеет следующие недостатки: образуются вредные газообразные продукты, низкий тепловой эффект сгорания отходов деревообработки. Для того чтобы данный процесс был более энергоэффективным, его можно перевести в низкотемпературный режим горения с помощью введения различных добавок ряда неорганических веществ. Это позволит с одной стороны увеличить тепловой эффект от сгорания отходов деревообработки, с другой снизить содержание вредных газообразных примесей.

**Целью** данной работы являлось установление оптимального количества добавки оксида марганца (IV), позволяющей достичь увеличения теплового эффекта сгорания отходов деревообработки, а так же снизить содержание вредных газообразных продуктов сгорания.

### 1. Материалы и методы их исследования

В качестве отходов деревообработки были выбраны березовые опилки, так как они не содержат большого количества смолистых веществ, которые дают разброс данных при проведении эксперимента. Исследованные в работе образцы представляют собой смеси березовых опилок с добавкой оксида марганца (IV). Размер частиц составлял не более 1 мм. Опилки смешивали в сухом виде с оксидом марганца. Масса анализируемой навески составляла около 10 мг, катализатор добавляли сверх 100%. Анализ смеси проводили с помощью термоанализатора Q600 STD, совмещенного с масс-спектрометром. Нагрев со скоростью 10°/мин проводили в атмосфере воздуха с отбором газообразных продуктов горения и их анализом с помощью масс-спектрометра. Диапазон регистрируемых масс составлял от 2 до 60 а.е.м.

### 2. Экспериментальные результаты

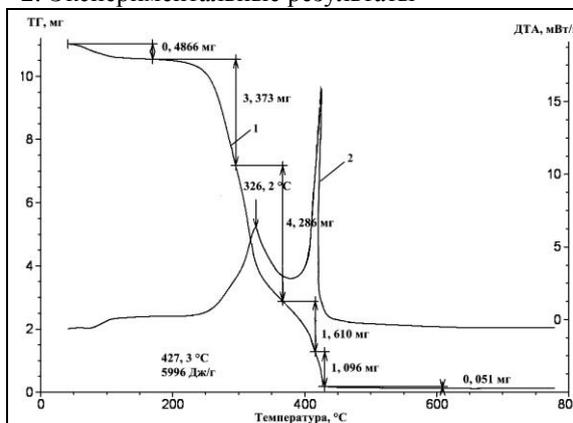


Рис. 1. Термограмма березовых опилок без добавок

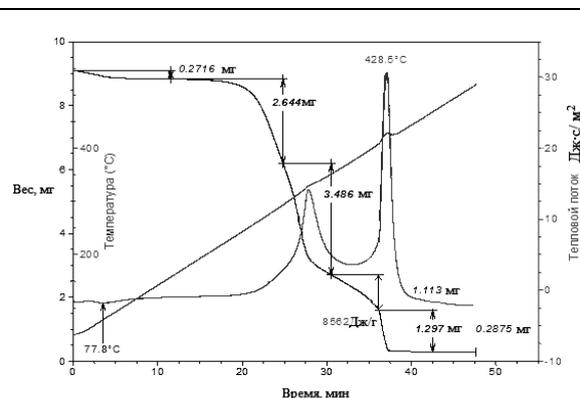


Рис. 2. Термограмма опилок с добавкой MnO<sub>2</sub> (4 мас. %)

Для определения параметров активности исследуемых смесей использовались следующие характеристики образцов: температура начала окисления ( $T_{\text{н}}$ , °C), максимальная скорость окисления ( $v_{\text{ок}}$ , мг/с); твердый остаток (в %), тепловой эффект химической реакции ( $\Delta H$ , Дж/г) (табл. 1) [2].

Таблица 1. Параметры химической активности горения смеси опилок с оксидом марганца (IV).

№ п/п	Добавка катализатора, мас. %	$T_{\text{н}}$ , °C	$v_{\text{ок}}$ , мг/с	Относительная скорость окисления, отн.ед	$\Delta H$ , Дж/г *	Относительный тепловой эффект, отн.ед	Масса твердого остатка, %
1	0,00	188,00	0,0046	1,00	6612,40	1,00	0,46
2	2,00	195,00	0,0312	6,78	7070,76	1,07	2,76
3	4,00	210,00	0,0259	5,63	7452,36	1,13	3,16
4	8,00	210,00	0,0440	9,56	7427,75	1,12	3,90
5	16,00	210,00	0,0650	14,13	7064,97	1,07	7,91

\* Тепловой эффект приведен к массе, равной 10 мг

### 3. Обсуждение результатов

Исходя из полученных данных, смесь березовых опилок и диоксида марганца окисляются с повышением температуры температуры на 5...15 °C. Максимальная скорость горения соответствовала содержанию катализатора и в эксперименте возрастала в 14 раз. Тепловой эффект также возрастал, он проходит через максимум при содержании в смеси 4 мас. % добавки оксида марганца (IV). Дальнейшее увеличение добавки катализатора способствовало снижению теплового эффекта (табл. 1). Количество твердого остатка повышалось, это связано с увеличением содержания катализатора в смеси.

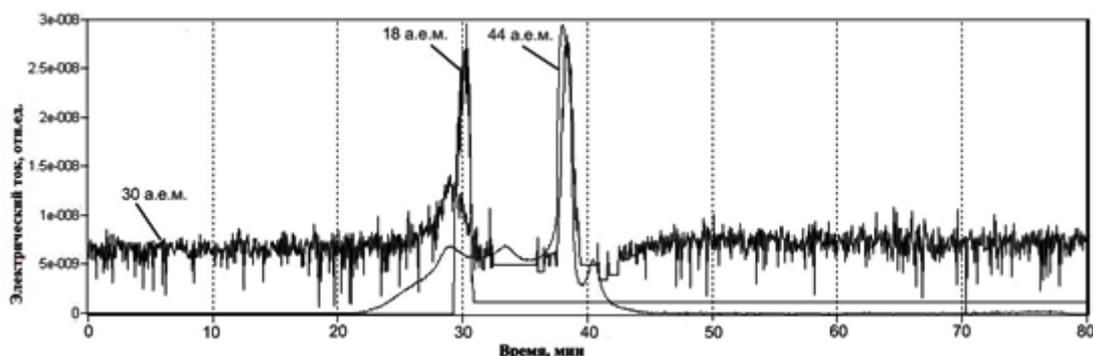


Рис. 3. Масс-спектр газообразных продуктов горения опилок без добавок

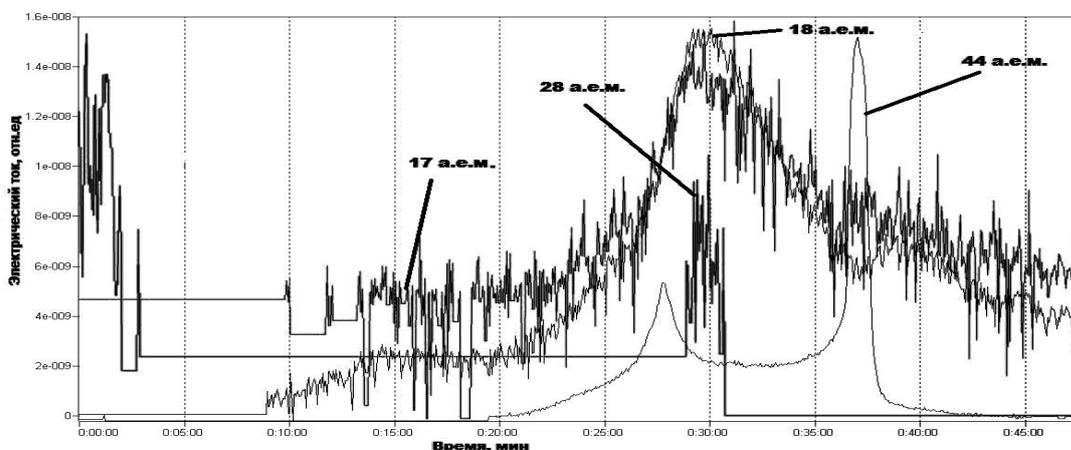


Рис.4. Масс-спектр газообразных продуктов горения опилок с добавкой  $\text{MnO}_2$  4 мас. %

Параллельно с термическим анализом производили отбор газообразных продуктов горения на анализ в масс-спектрометре. Согласно полученным результатам, при сжигании опилок без добавок наблюдалась эмиссия  $\text{H}_2\text{O}^+$  при температуре 325°C, максимальная эмиссия  $\text{CO}_2^+$  при 388°C, предположительно  $\text{CH}_2\text{O}^+$  при температуре 312°C.

При сжигании опилок с добавкой  $\text{MnO}_2$  в количестве 4 мас. % наблюдалась эмиссия  $\text{CO}_2^+$ , которая достигала максимума при температуре 350 °C,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^+$  и  $\text{CO}^+$  при 325°C.

**Выводы**

1. Добавка диоксида марганца, при ее содержании 4 мас. %, повышает тепловой эффект сгорания древесных опилок на 13 %. При большем содержании тепловой эффект снижается.
2. Максимальная скорость горения опилок растет с увеличением добавки диоксида марганца, и при максимальном содержании – возрастала в 14 раз.
3. При нагревании древесных опилок без добавок в масс-спектре обнаруживаются ионы  $\text{H}_2\text{O}^+$  (18 а.е.м.),  $\text{CO}_2^+$  (44 а.е.м.) и формальдегид  $\text{CH}_2\text{O}^+$  (30 а.е.м.), в то же время в присутствии диоксида марганца (4 мас.%) в масс- спектре обнаружены  $\text{CO}_2^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^+$  и продукт с массой 28 а.е.м. ( $\text{N}_2^+$  или  $\text{CO}^+$ ).

#### **Список используемой литературы:**

1. Занегин Л. А. Биомасса древесины и биоэнергетика: Монография / Л.А. Занегин, И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В.М. Щелоков – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – Т. 1. – 428 С.
2. Ильин А.П., Яблуновский Г.В, Громов А.А. Об активности порошков алюминия // Физика горения и взрыва. - 2001. - Т.37. - № 4. – С.58-62.

### **Водолазное обследование подводной части гидротехнических сооружений как элемент обеспечения безопасной эксплуатации опасного промышленного объекта**

*Л.А. Торгашов*

*директор Северского филиала ФГУП АТЦ СПб, г. Северск, Россия*

Излагается методика проведения водолазного визуально-инструментального обследования гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения (ГТС) объектов промышленности и энергетики напрямую или опосредованно задействованы в технологическом цикле опасных производственных объектов и представляют особую опасность для людей и окружающей среды, так как являются при авариях не только источниками гидродинамического воздействия, но источниками загрязнения поверхностных и подземных вод, территорий и воздушного бассейна. Аварии на гидротехнических сооружениях являются одними из самых опасных по последствиям и скоротечности.

В этих условиях существенно возрастает значение своевременного и качественного обследования подводной части ГТС для обоснования продления срока их безопасной эксплуатации и как элемент Декларирования безопасности ГТС.

В основу предлагаемой методики обследования подводной части ГТС положены общие подходы к проведению обследования подводной части ГТС [4, 5], а также многолетний опыт организации и проведения водолазного визуального и приборно-инструментального обследования подводной части отечественных ГТС.

#### **1. Общие требования при обследовании подводных частей ГТС**

1.1. Работы по обследованию начинаются с разработки Программы обследования (ПО) и согласования ее с заказчиком.

1.2. Обследование подводной части ГТС производится с соблюдением требований безопасности труда [3] следующими направлениями методик:

**1) визуальный** (водолазное обследование с использованием фото- и видеосъемки) производится выявление поверхностной коррозии, обрастания конструкций, трещин, и других видов разрушений бетонных конструкций, размывов грунтовых оснований, оползневых явлений на откосах, накопление иловых отложений и посторонних предметов на дне сооружений, при отсутствии прямого безопасного доступа водолаза к обследуемому объекту следует применять телеуправляемые подводные аппараты;

**2) приборно-инструментальный** (обследование дна и откосов гидролокатором) производится контроль поверхности дна, определение месторасположения посторонних предметов на дне; при общем удовлетворительном состоянии конструкций производится

исследование прочности бетона выборочно (не менее чем у 10 % конструкций) неразрушающими методами контроля с использованием ультразвуковых и ударно-импульсных приборов.

### 1.3. Использование водолазного снаряжения и оборудования

На основе опыта проведения обследований установлено, что использование вентилируемого водолазного снаряжения в значительной степени затрудняет проведение обследования в связи с созданием повышенной мутности воды, что характерно для водных объектов с малыми скоростями течения и высокой заиленностью дна. Наиболее удобным для использования является легководолазное снаряжение с открытой схемой дыхания, позволяющее длительное время находиться в воде, не касаясь дна водоема и не создавая дополнительную мутность воды.

В случае невозможности прямого безопасного доступа водолаза к обследуемому объекту необходимо применять телеуправляемые подводные аппараты (ТПА), оборудованные видеокамерами и приборами измерения.

## 2. Методика обследования

2.1. Методика обследования подводной части ГТС зависит от их конструктивных характеристик, в значительной степени определяющих условия эксплуатации.

2.2. Перед началом обследования каждого объекта, задействованный на обследовании персонал (инженер-гидротехник, водолазный специалист, водолазы и т.д.), детально изучают документацию по обследуемому объекту:

- проектно-исполнительную документацию;
- материалы предыдущих обследований и наблюдений за сооружениями в период его эксплуатации;
- эксплуатационную документацию.

2.3. Полученные результаты обследования заносятся в Ведомость дефектов обследуемого объекта и фиксируются на фото- и видеосъемку для дальнейшей обработки.

2.4. Обследование вертикальных стенок проводится вертикальными полосами шириной 2 м, начиная от дна до верха по спусковому концу с балластом. Производится видеосъемка с передачей изображения по кабелю на видеомонитор к оператору (руководителю работ) и одновременной записью на цифровой носитель. Особое внимание уделяется зоне переменного уровня, в наибольшей степени подверженной погодно-климатическому воздействию, а также узлам сопряжения вертикальных стенок с дном и откосами водоприемного ковша.

2.5 При обследовании устанавливается:

- наличие трещин в бетоне, их направление (косые, вертикальные, горизонтальные), размеры (глубина, длина и ширина раскрытия), и причины их образования (просадка основания, усадочные трещины, результат внешних нагрузок);
- наличие сколов бетона;
- состояние железобетонных поверхностей: отслоение или разрушение защитного слоя (арматуры), обнажение арматуры и степень коррозии, раковины строительного происхождения, каверны, выщелачивание поверхности бетона (глубина и площадь выщелачивания); зоны истирания бетона, кавитации; состояние бетона в зоне переменного уровня;
- объемы и размеры обнаруженных в бетонных конструкциях разрушений (длина, ширина, глубина) с привязкой их в пространстве;
- обрастание поверхности бетона водной растительностью и ракушкой дрейссены;
- наличие и объем иловых отложений, донного мусора (на дне камер и каналов).

При просмотре изображения на мониторе в режиме реального времени и обнаружении дефектов руководитель работ передает водолазу задание о замере габаритов дефектов (замер производится металлической мерной линейкой, шупом и штангенциркулем).

При необходимости следует задействовать дополнительное освещение обследуемого объекта. Для более точной оценки состояния узла конструкции проводится зачистка осматриваемой поверхности от обрастания водной растительностью и коррозии.

2.6. Обследование дна и откосов водоприемных ковшей и каналов выполняется двумя способами: визуальное водолазное обследование откосов и гидроакустическая съемка дна с GPS-привязкой.

Визуальное обследование осуществляется с целью получения информации о внешнем состоянии всего сооружения или отдельных его элементов. Результатом его является обнаружение очевидных и возможных скрытых повреждений конструкции, а также других дефектов, затрудняющих или делающей невозможной безопасную работу всего сооружения или отдельных его участков.

При обследовании железобетонных конструкций крепления откосов и дна водоприемного ковша и каналов устанавливается:

- наличие и мощность донных отложений и крупного мусора;
- состояние защитного покрытия из монолитных железобетонных плит (трещины, сколы бетона, обнажение арматуры и степень коррозии, состояние швов, состояние упорной призмы);
- наличие разрушений строительных и температурных швов;
- подмыв железобетонных плит (пустоты под плитами), просадка откосов;
- наличие смещений железобетонных плит, подмыв и просадка упорного зуба;
- состояние узлов сопряжения откоса с подпорными стенками и др. сооружениями;
- наличие оползневых явлений на откосах.

Обследование представляет собой осмотр сооружений и конструкций водолазом с выполнением инструментальных измерений (линейкой, штангенциркулем, молотком, щупами и т.п.) в целях определения параметров и качественных признаков технического состояния объектов на момент обследования. При необходимости проводится зачистка отдельных участков сооружения от обрастания и коррозии для более тщательного осмотра.

Водолазное обследование выполняется в следующей технологической последовательности:

- производится разбивка базисной линии;
- в створе базисной линии устанавливаются створные знаки для обозначения поперечников с шагом через 50 м;
- укладывается на дно канала ходовой конец, выводится на берег и закрепляются концы на берегу к якорям;
- по створам натягивается канат с метками через 5 м (канат натягивается выше уровня воды на  $0,2 \pm 0,5$  м);
- шлюпка или модульный пластиковый понтон устанавливается ниже по течению обследуемого поперечника;
- постепенно перемещая шлюпку вдоль поперечника, замерщик с лодки через 5 м определяет глубину при помощи лота, параллельно по дну движется водолаз, который контролирует правильность замера лотом (фиксирует натяжение каната, зависание каната на ветках и других предметах), а также осматривает состояние железобетонных конструкций дна и откосов канала.

Гидроакустическая съемка проводится с целью поиска на дне канала крупного донного мусора, определения просадок крепления дна и толщины донных отложений наносов при высоких скоростях течения.

При обследовании параметрическим эхолотом устанавливаются точные контуры отложений наносов, наличие и количество топляков и других крупных предметов, с фиксированием их в плановом положении GPS-навигатором.

2.7. Обследование закрытых железобетонных водоводов выполняется по этапам:

2.7.1. До спуска водолаза водовод осматривается при помощи телеуправляемого подводного аппарата на наличие предметов, препятствующих безопасной работе водолаза, при необходимости производится измерение скорости воды в трубе при помощи измерителя скорости потока.

2.7.2. Протягивается мерный трос с закрепленной маркировкой длины с шагом не менее 5 м для определения местоположения водолаза в водоводе.

2.7.3. Водолазное обследование водовода выполняется через входной или выходной оголовок. Спуск водолаза производится по штатному или переносному трапу. До начала движения водолаза фиксируется нулевой отсчет на мерном тросе.

В случае необходимости для более точной оценки состояния узла конструкции проводится зачистку осматриваемой поверхности от обрастания водной растительностью и коррозии.

В ходе обследования сооружения водолаз при обнаружении разрушений или дефектов конструкции проводит привязку по мерному тросу, замеры дефекта измерительным инструментом (мерная линейка, щуп и т.д.), фото, видеосъемку и доклад оператору (руководителю работ).

2.8. При обследовании металлоконструкций устанавливается:

- наличие разрывов металла;
- наличие деформаций конструкций;
- степень коррозии;
- состояние и наличие антикоррозийного покрытия.

### **3. Оформление результатов водолазного обследования**

3.1. Результаты водолазного обследования, выводы о техническом состоянии гидротехнических сооружений, причины появления дефектов и повреждений, рекомендации по улучшению состояния сооружений, предложения по дальнейшей эксплуатации и ремонту конструкций подводных частей обследованных ГТС необходимых для поддержания ресурса строительных конструкций, излагаются в техническом отчете и документируются в форме протокола водолазного обследования подводной части ГТС.

3.2. Технический отчет по результатам обследования должен содержать:

- перечень обследованных сооружений и конструкций;
- сроки проведения обследования;
- техническую характеристику объектов обследования;
- сведения об условиях эксплуатации строительных конструкций;
- данные о ремонтах и реконструкциях с начала эксплуатации;
- результаты визуальных осмотров и инструментальных измерений (видеозапись дефектов, поперечные разрезы линейных сооружений и т.д.);
- перечень использованного оборудования и средств измерений;
- ведомость дефектов конструкций, вид, место расположения и размеры;
- результаты испытаний конструкций методами неразрушающего контроля;
- выводы о техническом состоянии конструкций, степени износа и снижения несущей способности основных несущих и ограждающих конструкций;
- рекомендации и технические решения (предложения) по восстановлению или усилению конструкций ГТС и улучшению условий эксплуатации;
- заключение о состоянии исследуемых конструкций подводных частей ГТС и технической возможности их дальнейшей эксплуатации;
- фото- или видеоматериалы подводного обследования.

#### **Выводы**

Предлагаемая методика проведения водолазного обследования подводной части ГТС детализирует общие подходы к обследованию гидротехнических сооружений с учетом их конструктивных характеристик и условий эксплуатации, а также оптимизирует методы обследования на основе процессного подхода, а также применения новейшего водолазного снаряжения и приборной базы.

Методика апробирована при обследовании гидротехнических сооружений Госкорпорации «Росатом», ТЭЦ г. Северска, ОАО «Томская судоходная компания», ООО «Газпром энерго» (Южный филиал, г. Астрахань) и др.

Данная методика с незначительными изменениями и дополнениями применялась и для обследования подводной части ГТС с использованием телеуправляемых подводных аппаратов.

#### **Список используемой литературы:**

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Федеральный закон от 21 июля 1997 года № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».
3. ПОТ РМ-030-2007 - Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ.- М: Фирма «Слово».- 2007.- 318 с.
4. Красов Н.В. Подводно-технические работы.- М: Транспорт.- 1975. -276 с.
5. Забела К.А., Кушнирюк Ю.Г. Пособие по подводно-техническим работам в строительстве.- Киев: Будивельник.- 1975.- 256 с.

УДК 628.1

#### **Проблема повышенного содержания кремния в питьевой воде**

*Е.В. Заболотская, Я.Н. Богданова, О.Б. Назаренко*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: obnaz@mail.ru*

Представлены результаты экспериментальной оценки качества питьевой воды по содержанию в ней кремния. В настоящее время содержание кремния в подземных водах г. Томска превышает предельно допустимую концентрацию. Обсуждаются причины повышенного содержания кремния в питьевой воде. Предлагаются пути решения проблемы.

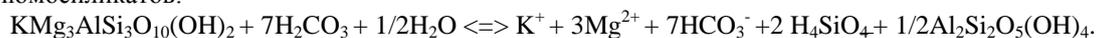
Вода относится к веществам, без которых жизнь невозможна, что обусловлено уникальными физико-химическими свойствами воды. В настоящее время проблема качества воды является актуальной как для потребителей – рядовых жителей нашей планеты, так и для производителей питьевой воды и напитков. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 [1] питьевая вода должна быть не только безопасной для здоровья, но ещё и полезной, т. е. должна быть насыщенной полезными микро- и макроэлементами.

Несмотря на обилие открытых водоемов на территории Западной Сибири, из-за сильного их загрязнения для питьевого водоснабжения г. Томска используются подземные источники. Запасы подземных вод на территории Западно-Сибирского артезианского бассейна достаточно велики. Кроме того, скважинные воды, по сравнению с поверхностными, имеют лучшие физико-химические и бактериологические показатели, менее подвержены загрязнению антропогенного характера и сезонным колебаниям. Качество подземных вод по ряду показателей не отвечает нормативным требованиям. Так, например, содержание железа в подземных водах Томского месторождения составляет (5–18,5)ПДК, марганца – (1,2–2,7)ПДК, кремния – 1,2ПДК [2]. После очистки и обеззараживания на станции водоподготовки ООО «Томскводоканал», вода, поступающая в водоводы, идущие в г. Томск, отвечает установленным нормативам по всем показателям, кроме кремния и постоянно низких концентраций фтора. Таким образом, в настоящее время встает вопрос об обескремнивании воды, причем при сохранении ее физиологической полноценности.

Цель данной работы – проанализировать качество доступных для населения г. Томска питьевых вод на соответствие нормативному документу по содержанию кремния.

Мнения о пользе кремниевой воды, а так же о необходимых количествах поступления кремния в организм в современной науке неоднозначные. С одной стороны, кремниевая вода обладает антибиотическим, антисептическим, регенерационным действием, улучшает обмен веществ и т. д. С другой стороны, при регулярном употреблении питьевой воды, имеющей содержание кремния более ПДК (10 мг/л), увеличивается вероятность возникновения онкологических заболеваний, отмечены случаи возникновения ишемической болезни сердца и мочекаменной болезни [3].

Главным источником соединений кремния в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения кремнийсодержащих минералов, например алюмосиликатов:



Формы соединений, в которых находится кремний в растворе, весьма многообразны и меняются в зависимости от минерализации, состава воды и значений pH. Часть кремния находится в истинно растворенном состоянии в виде кремниевой кислоты и поликремниевых кислот:



В поверхностных водах содержание кремния обычно невелико, но в водах болот и рек, имеющих болотистый тип питания, концентрация соединений кремния может составлять несколько десятков мг/л. Концентрация кремния в речных водах колеблется обычно от 1 до 20 мг/дм<sup>3</sup>; в подземных водах его концентрация возрастает от 20 до 30 мг/дм<sup>3</sup>, а в горячих термальных водах содержание кремния может достигать сотен миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup>. Сравнительно малое содержание кремния в поверхностных водах указывает на наличие в воде процессов, уменьшающих его концентрацию. К ним надо отнести потребление кремния водными организмами. Кроме того, кремниевая кислота как более слабая вытесняется из раствора угольной кислотой.

Исследование гидрогеохимического режима вод Томского месторождения подземных вод за 25-летний период показало, что их состав изменялся неравномерно на разных участках водозабора [4]. Превышения величин ПДК в водах эксплуатируемого комплекса наблюдаются для таких природных компонентов как  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ,  $\text{Mn}_{\text{общ}}^{2+}$ , Si,  $\text{NH}_4^+$ , показателей общей жесткости и ХПК. Установлено, что наблюдаемая трансформация состава подземных вод в процессе их эксплуатации связана как с вертикальной инфильтрацией загрязнителей, так и с антропогенно-иницированными процессами перетоков из смежных с эксплуатируемым водоносных комплексов, процессами растворения минералов при изменении интенсивности водообмена и другими неблагоприятными для качества вод процессами [4]. Динамика изменения концентрации кремния в подземных водах представлена в табл. 1.

Таблица 1

## Динамика изменения концентрации кремния в водах Томского водозабора

Дата	Поверхностные объекты				Неоген-четвертичный комплекс		Палеогеновый комплекс		
	1995-96	01.09.95	11.08.99	11.08.99	20.06.07	21.04.07	11.11.07	24.07.08	28.09.09
Si, мг/л	4,3	6,9	6,8	6,0	8,1	9,8	3,75	11,2	17,5

Учитывая данные о повышенном содержании кремния в подземных водах Томской области [2, 4], а также неоднозначность информации о пользе и необходимых количествах поступления кремния в организм человека, представляло интерес проанализировать качество доступных для населения г. Томска питьевых вод на соответствие нормативному документу по содержанию кремния.

Таблица 2. Результаты фотометрического определения кремния в питьевой воде

№	Наименование	Место положения	Результаты измерений, мг/л
1	Минеральная вода Омега ООО «Холдинг ОМЕГА»	с. Зырянское скважина 3001 м	10,99
2	Природная вода Чажемто ОАО «Томское пиво»	Колпашевский район скважина 2770 м	0,37
3	Питьевая бутилированная вода Афины ОАО «Томское пиво»	глубина скважины 90 м, г. Томск, ул. Учебная	11,91
4	Вода централизованного водоснабжения	г. Томск, ул. Тверская	12,46
5	Вода централизованного водоснабжения очищенная с помощью бытового фильтра Барьер	г. Томск ул. Тверская	11,73
6	Вода автономной системы водоснабжения	Пос. Семилужки Томской области	11,36
7	Вода автономной системы водоснабжения	г. Томск, Асиновская улица	8,06
8	Питьевая бутилированная вода «Ключевая линия» ООО «Ключевая вода»	г. Томск ул. Нижнелуговая скважина 120 м	0,49
9	Водопроводная вода	Шерегеш, Кемеровская область	9,32
10	Вода нецентрализованного водоснабжения после фильтра обезжелезивания	Пос. Калтай Томская область	8,87
11	Вода централизованного водоснабжения	г. Томска, (Лагерный сад)	11,73
12	Бутилированная вода Архыз, горная природная вода гидрокарбонатная магниевая-кальциевая	Добывается на высоте 1507 м, пос. Архыз, Карачаево-Черкесская республика	5,31
13	Артезианская вода скважины «Ожга»	пос. Кунгус, Пермский край	8,79
14	Бутилированная хлоридно-гидрокарбонатная натриевая борная минеральная питьевая природная лечебная газированная вода Ессентуки 17	Ессентуки Нагутское месторождение	1,10
15	Бутилированная лечебно-столовая сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая природная минеральная питьевая вода натуральной газации «Нарзан»	г. Кисловодск	3,66

Для сравнительного анализа эксперименту подверглись наиболее популярные источники питьевой воды, находящиеся в городе Томске и за его пределами, включая водопроводную

питьевую воду, бутилированную, воду скважин Томской и других областей.

Измерение концентрации кремния в пробах воды проводилось с помощью РД 52.24.433-2005 «Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом», который устанавливает методику выполнения измерений массовой концентрации силикатов и всех форм кремниевой кислоты в пробах неокрашенных или слабоокрашенных поверхностных вод суши в диапазоне от 0,5 до 15,0 мг/дм<sup>3</sup> в пересчете на кремний фотометрическим методом. Определение массовой концентрации кремния фотометрическим методом основано на взаимодействии мономерно-димерной формы кремниевой кислоты и силикатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибдокремниевой гетерополиоксидной кислоты желтого цвета. При проведении эксперимента использовался фотоколориметр КФК-2.

Результаты определения концентрации кремния в воде Томской и других областей приведены в таблице 2. ПДК кремния для питьевых вод составляет 10 мг/л. Из таблицы видно, что в большинстве вод ПДК либо не выдержан, либо содержание кремния в воде критически мало. Содержание кремния в воде централизованного водоснабжения превышено на 17,3–24,6 %.

Следует отметить, что для организма большой вред может принести как превышение ПДК, так и критически малое содержание кремния в питьевой воде. Так, например, превышение ПДК по кремнию в питьевой бутилированной воде «Афины» составило 19,1 %. Содержание кремния в «Ключевой воде», наоборот, критически мало. В условиях жесткой конкуренции на современном рынке бутилированных вод, обеим фирмам необходимо больше внимания уделять проблеме содержания кремния в воде.

При анализе системы водоподготовки питьевой воды «Афины» выявлено, что содержание кремния не изменяется после прохождения существующего водоподготовительного оборудования и остается выше предельно допустимых значений [5]. Очевидно, что используемое оборудование не предназначено для изменившегося со временем состава подземных вод. С целью понизить содержание кремния можно порекомендовать использовать в качестве дополнительного элемента в системе водоподготовки нанофильтрационные мембраны NF90 фирмы FilmTec (США) [6]. Данное дополнение повысит качество питьевой воды и ее конкурентоспособность.

#### **Список используемой литературы:**

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01».
2. Качество подземных вод // Сайт территориального центра Томскгеомониторинг [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.tgm.ru/water.php?ind=voda&rz=kpvod&lv=2&menu=vrto>.
3. Крылов Г.В., Шиблева Л.Г., Демидович В.Н., Макаров В.В. Проблемы подготовки качественной питьевой воды из подземных и поверхностных водоисточников // Стройпрофиль. 2003. – № 7. – С. 29–36.
4. Хвощевская А.А., Копылова Ю.Г. Оценка качества бутилированных вод г. Томска // КарлсТом 2010 – Современные проблемы очистки воды. Наночастицы в водных объектах: Материалы V Российско-германского семинара. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 73–79.
5. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1116-02».
6. Мачехина К.И., А. Клюпфель. Использование процессов ультра- и нанофильтрации в технологиях водоподготовки // КарлсТом 2010 – Современные проблемы очистки воды. Наночастицы в водных объектах: Материалы V Российско-германского семинара. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 33–38.

УДК 628.394

**Оценка качества воды реки Томи в зоне влияния ЗАО «ГОС»  
Е.А. Назорных, Т.И. Кручинина, Е.В. Ларионова, О.Б. Назаренко  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
E-mail: obnaz@mail.ru**

Выполнена оценка качества воды реки Томь в зоне влияния ЗАО «ГОС» с помощью интегральных показателей качества. Причинами низкого качества воды является неудовлетворительная работа канализационных очистных сооружений. Необходимо разрабатывать мероприятия для повышения

эффективности очистки, а также методики определения загрязняющих веществ для контроля качества воды.

Вода является важнейшим природным ресурсом. Сброс сточных вод в водные объекты приводит к снижению качества воды поверхностных водных объектов.

Под качеством воды понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования; при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

Нормирование качества воды состоит в установлении для воды водного объекта совокупности допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта. Водопользование классифицируется по следующим признакам: по целям использования вод, по объектам водопользования, по техническим условиям водопользования, по условиям предоставления водных объектов в пользование, по характеру использования воды, по способу использования водных объектов.

К водным объектам рыбохозяйственного значения относятся водные объекты, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов. Различают три категории водных объектов рыбохозяйственного значения. К высшей категории относят места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов; к I категории – водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода; ко II категории – водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

В реке Томь обитают виды рыб, имеющие промысловое значение, в том числе ценные и особо ценные (стерлядь, таймень) [1]. Поэтому река Томь определена как объект рыбохозяйственного значения высшей категории. Данное определение дано Томским отделом государственного контроля, надзора и охраны водных биоресурсов и среды в соответствии с Приказом Федерального агентства по рыболовству от 17.09.2009 г. № 818 «Об установлении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения и особенностей добычи (вылова) водных биологических ресурсов, обитающих в них и отнесенных к объектам рыболовства», Приказом Федерального агентства по рыболовству от 16.03.2009 г. № 191 «Об утверждении Перечня особо ценных и ценных видов водных биоресурсов, отнесенных к объектам рыболовства». Согласно «Методики разработки нормативов допустимых сбросов вредных веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей», утвержденной Приказом Минприроды России от 17.12.2007 г. № 333, для водоемов рыбохозяйственного значения утверждены наиболее жесткие нормативы.

На экологическое состояние реки Томи оказывает влияние деятельность промышленных предприятий, в том числе и канализационных очистных сооружений г. Томска.

ЗАО «Городские очистные сооружения (ГОС)» принимает на очистку производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды г. Томска. В состав сточных вод поступающих на очистку входят: сточные воды г. Томска – производственные и хозяйственно-бытовые; химически загрязненные стоки ТЭЦ-3; химически загрязненные стоки ООО «Томскнефтехим»; сточные воды сельхозпредприятий; ливневые стоки ООО «Томскнефтехим»; хозяйственно-бытовые стоки от объектов ООО «Томскнефтехим»; хозяйственно-бытовые и дренажные стоки от объектов ГОС; осветленные воды из илонакопителей и промывные воды от барабанных сеток.

Мощность очистных сооружений составляет 80300 тыс. м<sup>3</sup> в год. Сточные воды, поступившие на очистные сооружения, проходят механическую очистку, биологическую, доочистку и обеззараживание. Продукцией предприятия является биологически очищенная вода.

Сброс сточных вод происходит за чертой населенного пункта (с. Орловка) через рассеивающий выпуск длиной 28 м в 72-х м от смешенного уреза воды от меженного уреза воды. Оголовок один с 9 отверстиями, каждое из которых имеет диаметр 200 мм. Для измерения объема сточных вод используются расходомер ультразвуковой АКРОН -01 и лоток Венгури. Показания ежесуточно регистрируются в журнале учета количества поступающих сточных вод.

Нормативно-очищенные сточные воды, сбрасываемые в р. Томь, должны отвечать требованиям СанПин 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод и Разрешению № 25 на сброс загрязняющих веществ в окружающую среду, выданного Западно-Сибирским управлением Ростехнадзора от 06.07.2010г.

Качество природных водных объектов оценивается системой совокупных требований: санитарно-гигиенических, рыбохозяйственных и общеэкологических. Методы оценки

качественного состояния поверхностных вод разнообразны и многочисленны [2–6]. Широкое распространение получили следующие методы: метод оценки качества воды по гидрохимическим показателям, метод комплексной оценки качества воды, включающий общесанитарный индекс, индекс загрязненности и индекс качества воды. Показателем, с помощью которого можно оценить экологическое состояние природных вод, является интегральный индекс экологического состояния, учитывающий наибольшее количество аспектов экологического состояния водоемов.

В данной работе проведена оценка качества воды реки Томи в зоне влияния ЗАО «ГОС» с помощью интегральных показателей качества. Для расчета были использованы данные об эффективности работы очистных сооружений за 2009 год.

1. Общесанитарный индекс качества воды (ИКВ) представляет собой обобщенную числовую оценку качества воды по совокупности основных показателей и видам водопользования. Для определения общесанитарного ИКВ сначала проводится анализ проб воды, в котором устанавливаются величины показателей, затем проводится их балльная оценка, после чего определяется величина ИКВ. Согласно расчетам  $ИКВ = 3,89$ . Этому значению ИКВ соответствует класс качества 3, качественное состояние воды – «умеренно загрязненные».

2. Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу ингредиентов. На практике обычно ведут расчет для шести компонентов, имеющих наибольшую кратность превышения (С/ПДК), в число которых входят в обязательном порядке концентрация растворенного кислорода и значение БПК. В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяются по качеству на 7 классов. Согласно расчету  $ИЗВ = 6,6$ . Это позволяет отнести качество воды участка реки Томи, находящегося в зоне влияния ОАО «ГОС», к классу 6, а качественное состояние оценить как «очень грязные».

3. Интегральный индекс экологического состояния (ИИЭС) позволяют учесть большое количество аспектов экологического состояния водоемов. В данной работе при расчете использовали четыре показателя: ПДК, класс опасности вещества, а также комплексные показатели ИКВ и ИЗВ. По рассчитанной величине ИИЭС – 2,25 рассматриваемому участку реки Томи можно присвоить класс качества II, а экологическое состояние определить как «экологический кризис». Таким образом, интенсивности антропогенных факторов на данном участке водного объекта вызывают статистически достоверные изменения в показателях структурно-функциональной организации популяции или сообщества, выходящие за пределы адаптационных возможностей биосистемы.

Следует отметить, что проведенная оценка характеризует качество лишь в створе реки Томи, где производит выпуск очищенных сточных вод предприятие ЗАО «ГОС», без учета последующего разбавления.

Систематическое наблюдение за состоянием поверхностных вод на территории Томской области осуществляется ГУ «Томский ЦГМС» Западно-Сибирского УГМС. Анализ результатов контроля качества воды в основных реках области показал [1], что в створе реки Томи ниже города в 2011 г. наблюдалась единичная загрязненность азотом аммонийным, неустойчивая загрязненность ХПК, азотом нитритным, медью, цинком, фенолами; устойчивая – железом общим; характерная – нефтепродуктами. Уровень загрязненности по ХПК и цинку – низкий; по остальным ингредиентам – средний. Величина УКИЗВ в 2011 г. в створе ниже города составила 2,98, что соответствует 3 «А» классу качества, загрязненная вода. В 2010 г. УКИЗВ – 3,61, что соответствует 3 «Б» классу качества – очень загрязненная вода. Таким образом, качество воды в реке Томь в 2011 г. улучшилось по сравнению с 2010 г.

По результатам проведенного расчета и данным мониторинга [1] можно сделать вывод, что канализационные очистные сооружения г. Томска, технологическая схема которых включает стадию биологической очистки, имеют низкую эффективность очистки: после очистки наблюдается многократное увеличение нитратов, очень низка эффективность очистки от фосфатов, тяжелых металлов, хлоридов, сульфатов. Фактические показатели эффективности работы очистных сооружений объясняются изменением качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих на очистку, изношенностью технологического оборудования и несвоевременной корректировкой технологического режима.

Поэтому важной является работа, направленная на разработку мероприятий, позволяющих увеличить эффективность очистки стоков, в частности, от биогенных веществ – азотсодержащих и фосфорсодержащих. На любой стадии процесса очистки необходимо количественно оценить содержание примесей. В связи с этим актуальными становятся работы по разработке методик определения таких компонентов сточных вод как фосфаты, нитриты, нитраты, аммонийный азот.

Среди методов количественного определения примесей избирательностью, высокой чувствительностью, экспрессностью отличаются фотометрические методы анализа. Для контроля качества воды проведена апробация методик фотометрического определения указанных веществ на учебно-лабораторном комплексе «Экологический мониторинг» и фотометре «ТА Эколаб-2».

#### Список использованной литературы

1. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / Гл. ред. А.М. Адам; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2012. – 166 с.
2. Хабарова Е.И., Роздин И.А., Никитина С.В., Леонтьева С.В. Расчет и оценка эколого-значимых параметров. Учебно-методическое пособие. – М.: МИТХТ, 2010. – 64 с.
3. Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Колесникова Т.Х. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – Т. 88. – С.119–130.
4. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.
5. Гурарий В. И., Шайн А.С. Комплексная оценка качества воды // Проблемы охраны вод. – Харьков, 1975. – Вып. 6. – С. 143–151.
6. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М., 1986. 5 с. (утв. Госкомгидрометом СССР).

УДК 539.1.074

#### Оптимизация характеристик времяпролетного детектора на основе микроканальных пластин

*С.Ю. Назаренко, Н.А. Кузьминчук\*, М. Дивиш\**

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*\*Университет им. Ю. Либиха, г. Гиссен, Германия*

*E-mail: svetana@mail.ru*

Проведена работа по улучшению временных характеристик микроканальных пластин времяпролетного детектора. Внедрение новой конструкции анода и оптимизация параметров резистивно-емкостного делителя напряжения позволили уменьшить время нарастания сигнала с микроканальных пластин на 25 %, а время спада и ширину сигнала – на 50 %.

**Введение.** Одной из задач современной ядерной физики является определение массы ядер [1, 2]. Для точного измерения масс экзотических нуклидов со временем жизни в несколько десятков микросекунд применяется изохронная масс-спектрометрия. В тяжело-ионном ускорительном комплексе GSI в г. Дармштадт (Германия) изучают фундаментальные свойства протоноизбыточных ядер, далеких от стабильности, в результате фрагментации на лету (in-flight fragmentation), с последующим их накоплением и охлаждением в экспериментальном накопительном кольце ESR. Точные значения масс ядер определяют путем измерения частоты вращения ионов микроканальными пластинами времяпролетного детектора, установленного на накопительном кольце ESR [3]. Группа IONAS в университете им. Ю. Либиха г. Гиссена использует для своих исследований времяпролетный детектор, идентичный детектору, работающему на экспериментальном накопительном кольце ESR. Это позволяет исследовать и улучшать технические характеристики прибора в офлайн экспериментах, а затем переносить разработки на детектор в ESR для измерения масс экзотических ядер в онлайн режиме. Временное разрешение времяпролетного детектора является одним из критических параметров, так как оно напрямую влияет на точность измерения масс ядер. Целью данной работы являлось улучшение регистрации сигнала времени события с микроканальных пластин путем внедрения новой конструкции анода и оптимизации схемы делителя напряжения.

**Методика экспериментов.** Схема времяпролетного детектора представлена на рис. 1. Впервые такой детектор был сконструирован и испытан в Калифорнийском Университете Д. Боуманом и Р.Г. Хеффнером [4]. При каждом обороте в кольце ионы, проходящие через детектор, выбивают вторичные электроны из тонкой углеродной фольги. Вторичные электроны отклоняются в прямом и обратном направлении относительно траектории ионов электрическим и магнитным полями и направляются на детекторы с микроканальными пластинами (МКП). МКП-детекторы расположены под углом 180° относительно фольги в одной плоскости. Каждый МКП-

детектор состоит из двух микроканальных пластин (МКП<sub>1</sub> и МКП<sub>2</sub>). Число вторичных электронов увеличивается двухкаскадной сборкой МКП примерно до 10<sup>6</sup> и регистрируется анодом для получения измеряемого сигнала. Времяпролетный детектор установлен в вакууме, давление которого составляет 1·10<sup>-7</sup> мбар. Напряжение на установку подается с помощью делителя напряжения.

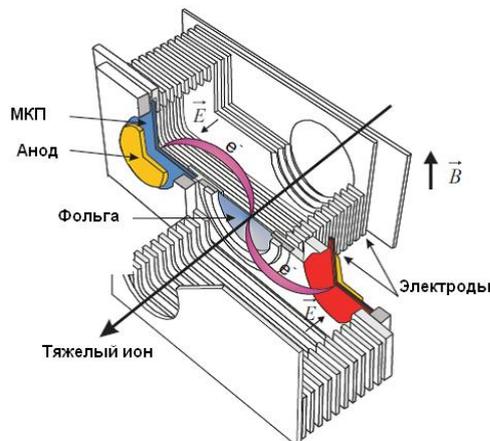


Рис. 1. Схема времяпролетного детектора

Временная точность детектора была исследована путем измерения временных совпадений сигналов прямого и обратного МКП-детекторов. Точность для стандартных настроек детектора составила  $\sigma_{\text{совп}} = 67$  нс (стандартное отклонение временного распределения).

С помощью математического моделирования и измерений были установлены факторы, которые влияют на временное разрешение времяпролетного детектора и приводят к погрешностям измерения: пролет вторичных электронов от углеродной фольги до МКП; прохождение вторичных электронов через каналы МКП; определение времени события [5]. Анализ данных показал, что для улучшения определения времени события по сигналу с МКП необходима реконструкция анодного блока и применение для регистрации сигнала осциллографа с большей полосой пропускания.

Во время эксперимента было проведено несколько серий измерений. В каждой серии измерений были изучены следующие характеристики сигналов с микроканальных пластин: время нарастания, время спада и ширина сигнала. Для измерений были использованы осциллографы LeCroy Waverunner 6100 A (1 ГГц, 10 Гвыб/с) и Textronix TDS 7404 (4 ГГц, 20 Гвыб/с).

**Результаты экспериментов и обсуждение.** Моделирование показало, что временные характеристики МКП-детектора имеют ограничения из-за конструктивных особенностей анода [5]. Большие «паразитные» емкости между держателем анодной пластины, анодной пластиной и МКП предотвращают прохождение высокочастотных сигналов через МКП-детектор и их регистрирование на аноде. На основании этих данных для оптимизации пропускной способности детектора и качества МКП сигнала была разработана новая конструкция анода (рис. 2).

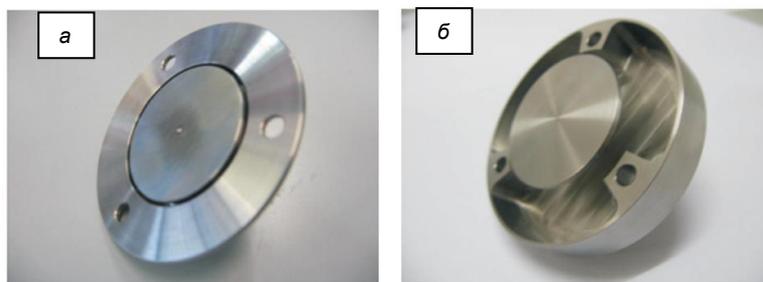


Рис. 2. Фотографии прежнего анода (а) и нового анода (б), сконструированного для получения улучшенной формы сигнала МКП детектора

На рис. 3 показаны формы сигналов с МКП-детектора для разных конструкций анода, полученные с помощью осциллографа LeCroy Waverunner 6100 A. В результате внедрения нового анода форма сигнала стала более симметричной, а время спада сигнала уменьшилось с 2,06 до 1,22 нс. Однако параметры ширины и времени нарастания сигнала немного ухудшились (табл. 1).

Это связано с тем, что в новой конструкции расстояние между выходной МКП<sub>2</sub> и анодом стало больше. Электроны, испускаемые МКП<sub>2</sub>, не фокусируются на аноде, что приводит к разбросу электронов по времени пролета от последней МКП до анода и к увеличению ширины сигнала. Для устранения этого недостатка был сконструирован новый резистивно-емкостный делитель напряжения.

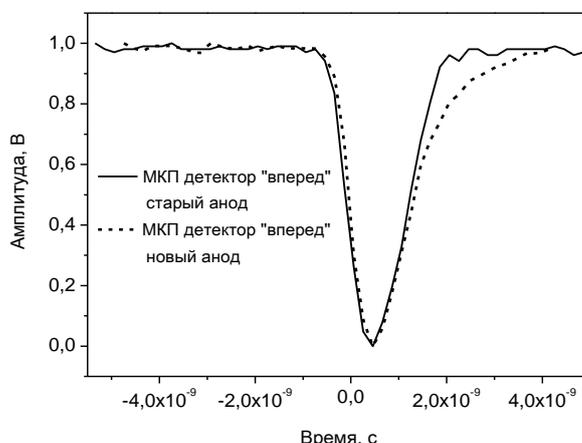


Рис. 3. Форма сигнала с микроканальных пластин для прежней и новой конструкции анода

Таблица 1

Сравнительные характеристики сигналов, полученных для разных конструкций анода

	Прежний анод		Новый анод	
	МКП-детектор «вперед»	МКП-детектор «назад»	МКП-детектор «вперед»	МКП-детектор «назад»
Время нарастания	598,7 пс	530,42 пс	673,24 пс	624,24 пс
Время спада	2,06 нс	2,58 нс	1,22 нс	1,03 нс
Ширина	1,33 нс	1,36 нс	1,44 нс	1,18 нс

Сборка электродов с двумя микроканальными пластинами в каждом МКП-детекторе показана на рис. 4. Главное напряжение, подаваемое на новый делитель напряжения, составляло 3 кВ. Это напряжение делилось с помощью делителя напряжения на четыре напряжения, подаваемые затем на сборку электродов МКП-детектора. С помощью разности потенциалов  $U_{МКП1} = U_2 - U_1$  и  $U_{МКП2} = U_4 - U_3$  прикладывалось напряжение на входную МКП<sub>1</sub> и выходную МКП<sub>2</sub>. Ускоряющий потенциал  $U_{\text{между}} = U_3 - U_2$  между двумя микроканальными пластинами оставался неизменным и был равен 200 В. Ускоряющий потенциал  $U_{\text{анод}}$  от выходной МКП<sub>2</sub> до анодной пластины был увеличен в новом делителе напряжения примерно до 900 В.

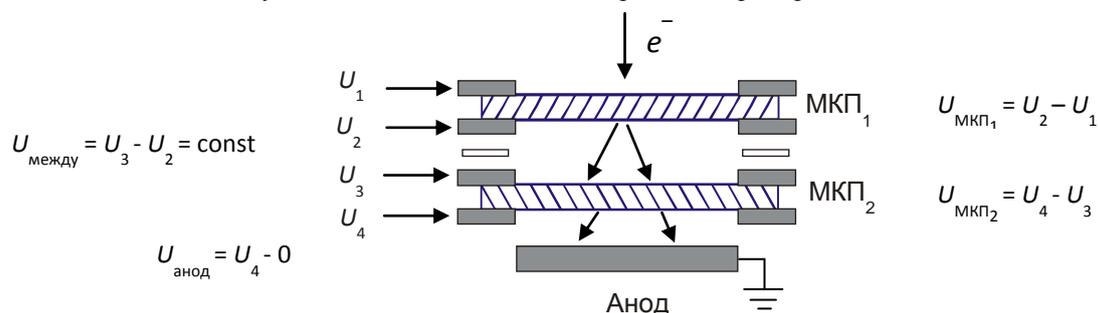


Рис. 4. Схематичное представление сборки электродов и микроканальных пластин в МКП-детекторе

После установки нового делителя напряжения была проведена серия измерений характеристик сигнала. Ширина сигнала с МКП при использовании нового делителя напряжения существенно уменьшилась (с 1,44 нс до 856,6 пс), а время нарастания и спада сигнала улучшилось незначительно (с 673,24 до 637,1 пс и с 1,22 до 1,0 нс, соответственно). Поэтому было решено

уменьшить расстояние между МКП<sub>2</sub> и анодом. При уменьшении этого расстояния с 7 до 3 мм фокусировка вторичных электронов после вылета с МКП<sub>2</sub> с ускоряющим потенциалом 900 эВ стала достаточной для получения быстрого сигнала со временем нарастания в 526 пс. Ширина сигнала при этом снижена до 741 пс. Время спада сигнала практически не изменилось.

Чтобы исключить влияние собственных характеристик осциллографа LeCroy Waverunner 6100 А, 1 ГГц, таких как ширина пропускания сигнала, на форму сигнала, было решено использовать осциллограф с большей шириной пропускания (Textronix TDS 7404, 4 ГГц). С помощью высокочастотного осциллографа удалось достичь уменьшения времени нарастания сигнала с МКП-детекторов «вперед» и «назад» с 452 до 428 пс, ширина МКП сигнала при этом составила 704 пс.

**Заключение.** В результате проведенной работы по разработке и внедрению сборки микроканальных пластин с усовершенствованной конструкцией анода, оптимизации параметров схемы делителя напряжения, а также применения для регистрации сигнала осциллографа с большей полосой пропускания удалось получить сигнал с микроканальных пластин времяпролетного детектора с шириной 704 пс и фронтом 526 пс. Проведенные исследования по улучшению временных характеристик сигнала микроканальных пластин позволят точнее определить время обращения ионов в накопительном кольце, детектируемых с помощью времяпролетного детектора, лучше разделять лежащие сигналы в спектре, что приведет к повышению точности измерения масс экзотических ядер в будущих экспериментах на накопительном кольце научно-исследовательского центра по изучению тяжелых ионов GSI.

#### **Список используемой литературы:**

1. Тарантин Н.А. Методы измерения атомных масс в ядерной физике. Массы атомных ядер как объекты измерений // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1995. – Т. 26. – Вып. 4. – С. 1046–1107.
2. Пенионжкевич Ю.Э. Физика экзотических ядер // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 92–98.
3. Fabian B. Characterization and Optimization of a Time-of-Flight Detector for Isochronous Mass Measurement at the ESR. – PhD thesis, Justus-Liebig Universitat Gießen, 2008. – 137 p.
4. Bowman J. and Heffner R. A novel zero time detector for heavy ion spectroscopy // Nuclear Instruments and Methods. – 1978. – Vol. 148. – Is. 3. – P. 503–509.
5. Kuzminchuk N. Performance Studies and Improvements of a Time-of-Flight Detector for Isochronous Mass Measurements at the FRS-ESR Facility. – PhD thesis, Justus-Liebig Universitat Gießen, 2011. – 139 p.

УДК 621.384.6

### **О возможности непрерывного мониторинга магнитного поля на ускорительном комплексе**

***С.Ю. Назаренко***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: svetana@mail.ru***

В работе проведено измерение времени хранения электронов в ловушке установки HITRAP, показана необходимость непрерывного мониторинга магнитного поля. Проведена калибровка датчика магнитного поля.

Ускорительный комплекс FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research), расположенный в GSI (г. Дармштадт, Германия), позволяет получать высокоэнергетичные, прецизионно настроенные пучки антипротонов и различных ионов для изучения структуры ядра, адронов, исследований в области астрофизики, физики сверхплотной электромагнитной плазмы, радиационного материаловедения, медицины, биологии [1]. Установка HITRAP (Highly Charged Ion Trap) в составе ускорительного комплекса FAIR предназначена для получения высокозаряженных ионов низкой энергии для дальнейшего их использования в различных экспериментах, например, для спектроскопических измерений сверхтонкого расщепления основного состояния водородоподобных систем. Для выполнения прецизионных экспериментов нужно, чтобы вторичные пучки имели определенную энергию и все частицы пучка двигались в одном направлении с одинаковой скоростью. Это достигается с помощью электронного охлаждения пучка, при котором ионы замедляются до одной и той же скорости при периодическом взаимодействии с параллельным пучком электронов, имеющих строго

определенную скорость. Охлаждающая ловушка установки HITRAP – это ловушка Пеннинга для удержания и охлаждения высоко заряженных ионов.

Целью данной работы являлось экспериментальное измерение времени хранения электронов в ловушке и исследование возможности непрерывного мониторинга магнитного поля.

Схема тяжелоионного ускорительного комплекса показана на рис. 1 [2]. Универсальный линейный ускоритель UNILAC предназначен для ускорения умеренно заряженных ионов до релятивистских энергий и последующего их ввода в синхротрон SIS. Ионный пучок с энергией 400 МэВ/нуклон фокусируется на мишени на входе фрагмент-сепаратора FRS, где ионы теряют свои электроны после столкновения с атомами мишени, после чего вторичный пучок ионов направляется в экспериментальное накопительное кольцо ESR – первую ступень системы торможения ионов до энергии 4 МэВ/нуклон. На второй ступени ионы тормозятся до энергии 6 кэВ/нуклон. Затем ионы захватываются ловушкой Пеннинга, где охлаждаются до температуры 4 К.

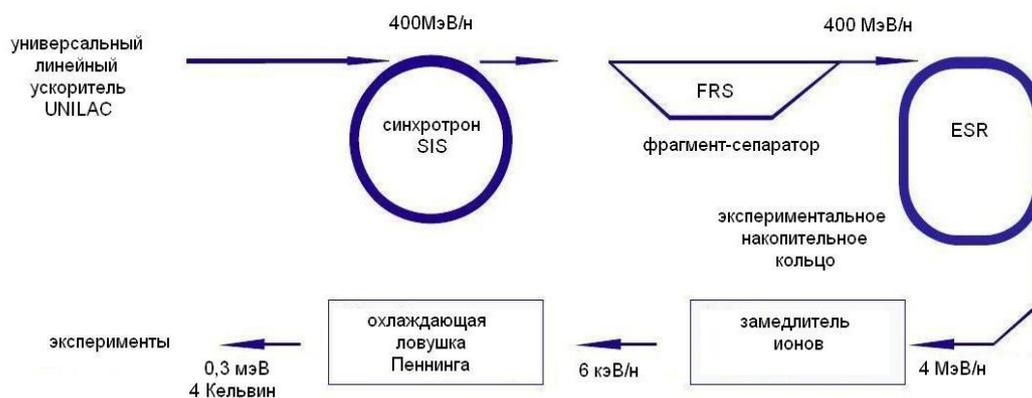


Рис. 1. Схема ускорительного комплекса и установки HITRAP

В ловушке Пеннинга для удержания частиц используется сильное однородное вертикальное магнитное поле, ограничивающее радиальные движения частиц, и гармоническое электрическое поле, ограничивающее вертикальные движения. Магнитное поле 6 Тл достигается за счет применения сверхпроводящего магнита. Ловушка установки HITRAP позволяет осуществить одновременно захват положительно и отрицательно заряженных частиц, и оборудована системой электронного охлаждения [2]. Конструкцию охлаждающей ловушки определяют следующие требования: ловушка должна захватывать  $10^5$  высоко заряженных ионов за каждые 10 сек;  $10^9$ – $10^{10}$  электронов требуется, чтобы выполнить электронное охлаждение ионов до 10 эВ; для дальнейшего охлаждения используется резистивное охлаждение.

Для заполнения ловушки Пеннинга электронами в данном исследовании использовалась электронная пушка на основе арсенид-галлиевого (GaAs) фотокаатода. В отличие от термоэлектронного катода, работа фотокаатода не приводит к ухудшению вакуума [3]. Кроме того, преимуществом фотоэлектронного источника является возможность работы при комнатной температуре. Пушка установлена в диагностической камере ионного пучка на выходе из охлаждающей ловушки.

Для захвата электронов через 5 мкс после подачи импульса на фотокаатод и поступления электронного пучка в ловушку создается блокирующее поле путем подачи напряжения на электрод. Зная время пролета электронов через ловушку, можно выбрать момент закрытия входного электрода. Количество инжектированных электронов фиксируется на осциллографе как импульс тока.

На рис. 2 показана зависимость интенсивности инжектируемых электронов от времени их хранения. С увеличением времени хранения количество инжектируемых электронов уменьшается. Уровень, на котором сигнал стабилизируется после 80 мкс – это фоновый уровень, обусловленный шумом измерительного контура [4]. Полученное время хранения примерно в 1000 раз меньше требуемого. Возможной причиной такого короткого времени хранения является недостаточность вакуума или неоднородность магнитного поля. Поэтому при работе установки необходима система непрерывного мониторинга магнитного поля.

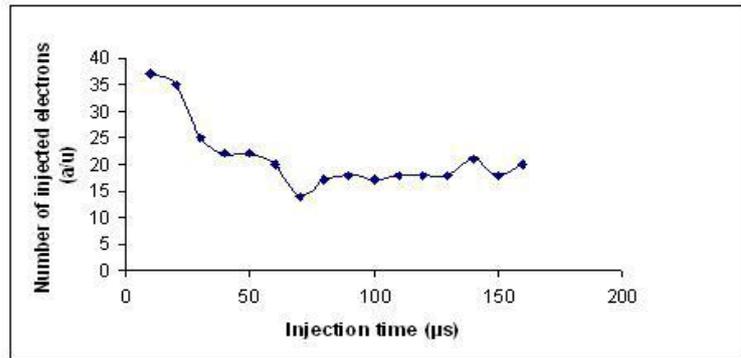


Рис. 2. Зависимость интенсивности инжектируемых электронов от времени хранения

Одним из этапов внедрения системы мониторинга магнитного поля является калибровка магнитного датчика, установленного в определенной позиции на внешнем экране магнита 6Т охлаждающей ловушки установки НИТРАР. Используя магнитный датчик, можно независимо контролировать магнитное поле. Это особенно важно в инерционном режиме, когда система подачи энергии отключена от магнитной катушки.

Для обеспечения магнитного поля 6 Тл, необходимого для удержания высоко заряженных ионов, на охлаждающей ловушке установки НИТРАР установлен сверхпроводящий магнит компании CRYOGENIC. Внутренний канал магнита имеет криогенную температуру, а поток жидкого гелия вокруг сверхпроводящих обмоток отсутствует [5]. Для подавления поля вне магнита он оснащен железным экраном.

Измерение индукции магнитного поля в работе проводилось с помощью тесламетра 6010/Teslameter компании Sypris на основе датчиков Холла. Диапазон измерений составляет от 0,1 мкТл до 29,99 Тл, в зависимости от типа используемого датчика. На рис. 3 показана зависимость между магнитным полем датчика внешнего экрана  $B_{pr\ out}$  и магнитным полем источника питания магнита  $B_{ps}$ . Неопределенность для нашего режима измерения (постоянный ток) составляет 0,3 % от показаний. Полученный график является линейной аппроксимацией данных. Функция описывается уравнением:  $y(x) = a + bx$ , где смещение  $a = 0$ , наклон  $b = 2,8 \pm 0,018$ .

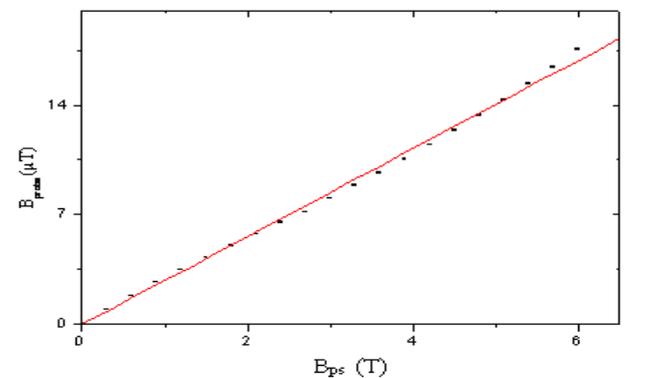


Рис. 3. Зависимость индукции магнитного поля датчика от магнитного поля источника питания

Таким образом, в данной работе на основании результатов измерения времени хранения электронов в ловушке установки НИТРАР показана необходимость непрерывного мониторинга магнитного поля. Проведена калибровка датчика магнитного поля. Параметры калибровки внесены в программу мониторинга магнитного поля.

Автор благодарит профессора лаборатории атомной физики GSI Франка Херфурта за постановку задачи, помощь при выполнении работы и полезные советы в процессе обсуждения результатов.

#### Список используемой литературы:

1. Фортов В.Е., Шарков Б.Ю., Штокер Х. Научная программа в новом международном центре фундаментальной физики – Европейском центре антипротонных и ионных исследований

- FAIR // Успехи физических наук. – 2012. – Т.182. – № 6. – С. 621–644.
2. HITRAP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://gsi.de/forschung/ap/projects/hitrap/index\\_e.html](http://gsi.de/forschung/ap/projects/hitrap/index_e.html), свободный. – Загл. с экрана.
  3. Krantz C. Intense Electron Beam from GaAs Photocathode as a Tool for Molecular and Atomic Physics. – Ph.D. thesis, Ruprecht Karls Universität, Heidelberg, Germany, 2009.
  4. Nazarenko S. Storage and cooling of highly charged ions // From Quarks to Neutron Stars: International Summer Student Program 2011: Proceedings. – Darmstadt: GSI, 2011. – P. 97–100.
  5. Maero G. Cooling of highly charged ions in a Penning trap for HITRAP. – Dissertation, University of Heidelberg, Darmstadt, Germany, 2008.

УДК 621.3.082.77

**Анализ условий синтеза нанопорошков сложного композиционного состава методом электрического взрыва проводников**

*А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, Е.В. Старцева, Д.В. Тихонов*  
 Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
 E-mail: [obnaz@mail.ru](mailto:obnaz@mail.ru)

Проведен анализ термодинамических условий формирования нанопорошков химических соединений при электрическом взрыве проводников в многокомпонентных реакционных средах. Обсуждаются результаты исследования свойств продуктов электрического взрыва алюминиевых и титановых проводников в суспензии гексаметилентетрамина в декане, которыми являются нитрид и карбид алюминия или карбид титана, соответственно. В случае близких величин верхней температурной границы устойчивости двух и более химических соединений в процессе электрического взрыва возможно получение нанопорошков сложного фазового и химического состава. В случае различия этих величин образуется преимущественно продукт, устойчивый до более высоких температур.

Электрический взрыв проводников (ЭВП) в углеродсодержащих средах является одним из методов синтеза порошков карбидов металлов нанодисперсного диапазона размеров частиц [1]. Диспергирование металла в процессе электрического взрыва сопровождается высокотемпературным пиролизом окружающей проводник среды. Образующиеся при этом активные атомы (углерода, азота, кислорода и т.д. в зависимости от состава среды) участвуют в образовании химических соединений металла с компонентами среды. Процесс образования химических соединений в условиях ЭВП ограничивается строго определенным диапазоном термодинамических параметров: давлением, температурой, концентрацией продуктов диссоциации в газообразной фазе и наличием или отсутствием конденсированной фазы. Продукты диспергирования проводников вступают в химическое взаимодействие с компонентами среды на такой стадии разлета и охлаждения, когда их температура снижается до термодинамически возможной для протекания той или иной химической реакции: ~5000–4000 К. При более высокой температуре наблюдается деструкция химических веществ. При температуре ниже 500 К скорости реакций малы. Следовательно, формирование химических соединений может происходить в температурном диапазоне от 5000 до 500 К.

ЭВП является быстропротекающим и неравновесным процессом [2], но в диапазоне температур протекания химических реакций скорость охлаждения относительно невысока. Так, если средняя скорость охлаждения продуктов ЭВП непосредственно после взрыва составляет  $10^7$  К/с, то в области протекания химических процессов, ниже 5000 К, не превышает  $10^3$  К/с. Поэтому к анализу механизма химических реакций в условиях ЭВП может быть привлечен такой термодинамический параметр как энергия Гиббса.

Как известно, знак энергии Гиббса  $\Delta G$  позволяет судить о принципиальной возможности или невозможности осуществления процесса, в том числе химической реакции. Условием принципиальной возможности процесса является  $\Delta G < 0$ .

Из уравнения для изменения энергии Гиббса следует, что с ростом температуры повышается роль энтропийного фактора:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где  $\Delta H$  и  $\Delta S$  – изменение энтальпии и энтропии при температуре  $T$ . Поэтому с повышением температуры преобладают процессы разложения, диссоциации.

В процессе взрыва и охлаждения продуктов диспергирования проводников происходит одновременно деструкция компонентов окружающей проводник среды и накопление активных атомов, молекул, кластеров – углерода в случае углеродсодержащих сред или кислорода в случае

кислородсодержащих сред. При достижении пороговой температуры образования определенного химического соединения ( $\Delta G < 0$ ) происходит формирование этого соединения. При достаточном охлаждении химический процесс затухает: фактором, ограничивающим протекание процесса, является кинетический параметр – активационный барьер. Уменьшение скорости химического взаимодействия, несмотря на термодинамическую разрешенность реакций ( $\Delta G < 0$ ) и смещение равновесия в системе металл-окислитель в сторону продуктов окисления, связано с нарастанием торможения диффузии окислителя через слой образовавшихся химических соединений.

Ранее был проведен ряд экспериментов по проверке термодинамических закономерностей при формировании химических соединений в процессе ЭВП [1, 3]. Например, были получены нанопорошки сложного композиционного состава  $AlN-Al_4C_3-Al$ . В качестве рабочей среды для электрического взрыва алюминиевых проводников использовалась суспензия гексаметилентетрамина (уротропина)  $(CH_2)_6N_4$  в жидком углеводороде декане  $C_{10}H_{22}$ . Выбор уротропина в качестве реагента связан с его свойством давать активные атомы азота при термораспаде:  $(CH_2)_6N_4 \rightarrow 4N + 6C + 6H_2$ . При высокотемпературном пиролизе жидкого углеводорода образуются активные атомы углерода:  $C_{10}H_{22} \rightarrow 10C + 11H_2$ . Проводники взрывались при значении введенной в проводник энергии  $e/e_c = 1,2$  ( $e$  – удельная введенная в проводник энергия,  $e_c$  – энергия сублимации материала проводника). По данным рентгенофазового анализа в составе продуктов электровзрыва был обнаружен нитрид алюминия (22,5 %), карбид алюминия (25 %) и непрореагировавший алюминий. Содержания химических соединений оценивали по соотношению интенсивностей их 100%-ных рефлексов и алюминия на рентгенограммах. В случае электрического взрыва титанового проводника в той же рабочей среде были получены нанопорошки карбида титана. Нитрид титана в продуктах ЭВП обнаружен не был.

Анализ зависимости энергии Гиббса от температуры [4] показал, что для титана при температуре выше 1847 К термодинамически более вероятной является реакция карбидообразования в сравнении с образованием нитрида:  $Ti_{ж} + C_{тв} = TiC_{тв}$ . При температуре плавления титана (1944 К) значения энергии Гиббса образования карбида и нитрида титана будут следующие:  $|\Delta G_{TiC}| = 166$  кДж/моль,  $|\Delta G_{TiN}| = 155$  кДж/моль, причем с ростом температуры разность между  $|\Delta G_{TiC}|$  и  $|\Delta G_{TiN}|$  увеличивается. На более поздних стадиях процесса охлаждения продуктов диспергирования проводника, при температуре ниже 1847 К,  $|\Delta G_{TiC}|$  становится меньше, чем  $|\Delta G_{TiN}|$ , но образующийся слой карбида затрудняет диффузию азота к металлу. Поэтому в продуктах электровзрыва титановых проводников обнаружен только карбид титана.

Верхние температурные границы стабильности карбида алюминия и нитрида алюминия примерно одинаковы. Нитрид алюминия сублимирует при температуре, равной 2723 К [4]. При 2700 К значения энергии Гиббса образования карбида и нитрида алюминия таковы:  $|\Delta G_{Al_4C_3}| = 8,3$  кДж/моль, а  $|\Delta G_{AlN}| = 15,7$  кДж/моль. В случае электровзрыва алюминиевых проводников в суспензии гексаметилентетрамина в декане протекают следующие реакции:  $Al_{ж} + \frac{1}{2} N_{2г} = AlN_{тв}$ ,  $4Al_{ж} + 3C_{тв} = Al_4C_{3тв}$ . Сравнительно низкий выход карбида и нитрида алюминия при ЭВП объясняется тем, что температурный предел устойчивости данных соединений ограничивается ~3000 К. При электровзрыве алюминиевых проводников в используемой суспензии химическая реакция протекает при охлаждении первичных продуктов диспергирования за счет диффузии атомов углерода и азота в частицы алюминия. По мере протекания реакции на поверхности металлической частицы образуется слой химического соединения, ограничивающий диффузию атомов углерода и азота к металлу.

Таким образом, при ЭВП в многокомпонентных реакционных средах возможно получение нанопорошков сложного фазового и химического состава при условии близких величин верхней температурной границы устойчивости химических соединений. В случае различия этих величин образуется преимущественно продукт, устойчивый до более высоких температур. Анализ термодинамических характеристик реакций образования карбидов, нитридов, оксидов и сульфидов некоторых металлов позволил выбрать условия экспериментов для синтеза нанопорошков сложного композиционного состава  $MoS_2-MoC-Mo$  и  $WS_2-WC-W$ . Порошки такого состава представляют интерес для использования в качестве высокотемпературных твердых смазок, катализаторов в органическом синтезе, для производства твердых сплавов и композитных материалов, используемых в машиностроении, горнодобывающей промышленности и т.д. Недостатками известных способов получения сульфидов и карбидов молибдена и вольфрама является необходимость длительного нагревания реакционной смеси при повышенных температурах (4–8 ч), высокий расход электроэнергии [5, 6]. Рабочей средой может служить жидкий углеводород декан, а источником атомов серы – диметилсульфоксид  $C_2H_6OS$  – бесцветная жидкость с температурой кипения 189 °С.

### Список используемой литературы:

1. Ильин А.П., Назаренко О.Б. Синтез нанодисперсных карбидов металлов при электрическом взрыве проводников в жидком углеводороде // Перспективные материалы. – 2011. – № 3. – С. 93–97.
2. Бурцев В.А, Калинин Н.В, Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 289 с.
3. Назаренко О.Б. Влияние условий синтеза на свойства электровзрывных нанопорошков карбидов металлов // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 6. – С. 62 – 66.
4. Куликов И.С. Термодинамика карбидов и нитридов: Справочник. – Челябинск: Metallurgia, 1988. – 320 с.
5. Самсонов Г. В., Дроздова С.В. Сульфиды. – М.: Metallurgia, 1972. – 304 с.
6. Большаков К.А. Химия и технология редких и рассеянных элементов. – М.: Высш. шк., 1976. – Т. 3. – 320 с.

УДК 628.316

### Изучение возможности очистки воды от фосфатов на фильтре с цеолитовой загрузкой

*А.С. Вейсгейм, Р.Ф. Зарубина, Е.А. Назорных, О.Б. Назаренко*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: obnaz@mail.ru*

Исследована возможность очистки воды от фосфат-ионов при использовании в качестве фильтрующей загрузки природного цеолита Бадинского месторождения. Установлено влияние скорости фильтрации раствора на эффективность очистки. Механизмом удаления фосфатов является химическое осаждение фосфатов на ионах кальция.

**Введение.** В последние десятилетия наблюдается ухудшение качественных показателей состояния водных объектов, используемых для хозяйственной деятельности. Это связано с увеличением объемов сброса в них сточных вод, содержащих большое количество вредных веществ, в том числе соединений фосфора и азота.

Поступление в природные водоемы со сточными водами биогенных веществ в повышенных концентрациях вызывает в них нарушение естественного равновесия, приводит к их эвтрофикации, уменьшению содержания растворенного кислорода, оказывает токсическое влияние на рыб, вследствие чего они включены в число главных показателей при оценке степени загрязнения водоисточников. В связи с этим разработка эффективных методов удаления биогенных веществ из сточных вод является одной из важнейших проблем водоочистки.

На сегодняшний день существует большое количество различных методов обработки воды, многие из которых имеют ряд недостатков и не обеспечивают необходимую эффективность. Удаление из сточных вод соединений фосфора может быть осуществлено такими методами как биологический, адсорбционный, электрокоагуляционно-флотационный, реагентный [1]. Наиболее доступным и высокоэффективным для очистки больших объемов сточных вод считается реагентный, предусматривающий использование CaO, FeCl<sub>3</sub>, FeSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> на различных стадиях очистки. При этом происходит загрязнение воды в зависимости от применяемых реагентов ионами железа, кальция, алюминия, а также хлоридами и сульфатами.

Одним из наиболее простых и дешевых способов очистки воды является фильтрование воды через природные сорбенты. Перспективным материалом для повышения качества воды являются природные цеолиты. Это широко распространенные и дешевые минералы, обладающие уникальным спектром физических, физико-химических, адсорбционных и ионообменных свойств, возможностью их модифицирования, утилизации и регенерации, благодаря чему они нашли широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и в практике очистки сточных вод [2, 3].

Ранее была показана высокая эффективность процесса очистки воды на природных цеолитах от примесей, характерных для подземных вод Томской области (ионов железа, марганца, кальция) [4, 5]. Концентрация примесей после очистки не превышала ПДК, что позволило рекомендовать исследованные цеолиты в технологии подготовки питьевой воды.

Целью данной работы является изучение возможности очистки модельных растворов от фосфат-ионов на фильтре с цеолитовой загрузкой.

Цеолиты относятся к группе каркасных алюмосиликатов, кристаллическая решетка которых образуется тетраэдрами  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  и  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ , объединенными общими вершинами в трехмерный каркас [6]. Структурная формула цеолита может быть представлена следующим образом:  $M_{m/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot z\text{H}_2\text{O}$ , где  $x+y$  – сумма тетраэдров в элементарной ячейке,  $m$  – число катионов  $M$  (калия, натрия, кальция, магния),  $n$  – валентность катиона. Наличие полостей и каналов в микроструктуре цеолитов, а также достаточно большая свобода движения катионов и молекул воды определяет уникальные свойства цеолитов. В водной среде цеолиты легко обменивают свои катионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др.) на другие катионы, находящиеся в растворе. В процессах адсорбции и ионного обмена цеолиты проявляют тенденцию к избирательному поглощению одних ионов или молекул перед другими (молекулярно-ситовые свойства).

В России цеолитовые породы широко распространены, причем более 70 % всего объема разведанных запасов природных цеолитов сосредоточено в Забайкалье. Бадинское месторождение, расположенное в Читинской области, является одним из наиболее крупных. Химический состав цеолитовой породы Бадинского месторождений представлен в табл. 1. По химическому составу данная цеолитовая порода относится к высококремнеземистой, характеризуется высоким отношением  $\text{Si}/\text{Al}$ , общее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 79,4...84 %.

Таблица 1

Химический состав природного цеолита Бадинского месторождения

Компонент	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
Состав, мас. %	68,0... 72,0	0,6... 0,8	11,4... 12,0	0,16	2,1... 3,7	0,6... 1,7	2,6... 4,8	0,4... 1,5

**Методики исследования.** Для исследований свойств бадинского цеолита и проведены следующие методы анализа: рентгенофазовый анализ (РФА) (дифрактометр ДРОН-3.0), термический анализ (термоанализатор SDT-Q600), инфракрасная (ИК) спектроскопия (спектрометр Nicolet 5700), фотоколориметрический анализ (фотоколориметр КФК-2).

В экспериментах использованы фракция цеолита размером 2,0 мм. В стеклянную колонку было помещено 25...70 мл цеолита. Перед экспериментом образец цеолита был промыт дистиллированной водой и высушен при температуре 20 °С.

Для изучения способности бадинского цеолита удалять фосфаты из воды были приготовлены модельные растворы из ГСО  $\text{PO}_4^-$  1 г/л на фоне натриевых солей. Предварительно образец цеолита промыли большим количеством городской водопроводной воды, которая характеризуется как гидрокарбонатная кальциевая. Такая обработка способствовала насыщению его ионами кальция. После этого цеолит промыли дистиллированной водой. Таким простым способом цеолит перевели в кальциевую форму, что позволит уменьшить расход реактивов в технологии водоочистки. Модельные растворы с концентрацией фосфатов 3,4...4,1 мг/л приготовили на фоне растворов солей натрия ( $\text{NaHCO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) и пропустили через колонку цеолитом с последовательным отбором проб по 50 мл. Скорость фильтрования растворов составляла 0,7; 1,6; 10 и 25 мл/мин. Производилась консервация проб хлороформом. Отобранные пробы отфильтровывались через бумажные фильтры, предварительно смоченные дистиллированной водой, что позволило избежать осаждения фосфатов на фильтре. Определение фосфатов проводили по методике РД 52.24.382-2006.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно результатам РФА исследуемый образец цеолитсодержащей породы состоит из клиноптилолита (70...80 %), а также примесных пород – кварца, монтмориллонита, полевого шпата и кристобалита [7, 8]. С помощью термического анализа определено, что образец бадинского цеолита содержит в своем составе связанную и сорбированную воду. Кривая дегидратации как функция температуры является плавной, что характерно для фазы клиноптилолита [6]. Потеря веса при нагревании образца бадинского цеолита до 1000 °С составила 10,0 %, причем максимальная потеря адсорбированной воды ~6 % наблюдалась в температурном диапазоне от 80 до 300 °С. С помощью ИК-спектроскопии установлено наличие характерных для фазы клиноптилолита структурных групп [7, 8].

Результаты определения фосфатов после фильтрования модельных растворов представлены на рис. 1.

Эффективность удаления фосфатов составила 22...78 % и определяется скоростью фильтрации. Наилучший результат удается достигнуть при наименьшей скорости фильтрации – 0,7 мл/мин.

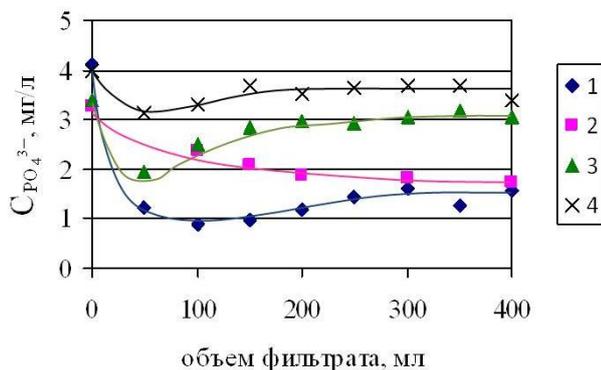
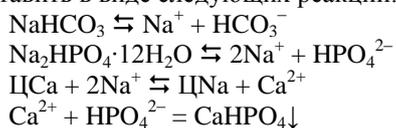


Рис. 1. Зависимость концентрации фосфатов от объема отфильтрованного раствора для разных скоростей фильтрации: 1 – 0,7; 2 – 1,6; 3 – 10; 4 – 25 мл/мин

Механизмом удаления фосфатов в условиях проведенных экспериментов является химическое осаждение. Химические процессы, протекающие в модельных растворах, можно представить в виде следующих реакций:



Происходит замещение ионов кальция цеолита на ионы натрия из раствора. Ионы кальция, поступающие в раствор в результате ионного обмена, связывают фосфаты в труднорастворимые соединения, которые затем отфильтровываются, что косвенно подтверждается уменьшением ионов натрия из модельных растворов (рис. 2).

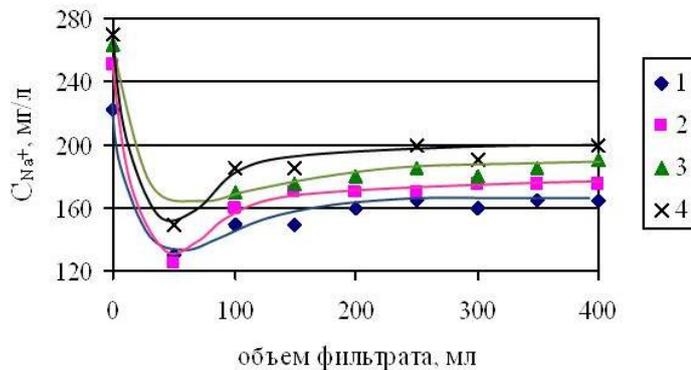


Рис. 2. Зависимость концентрации ионов натрия от объема отфильтрованного модельного раствора для разных скоростей фильтрации: 1 – 0,7; 2 – 1,6; 3 – 10; 4 – 25 мл/мин

**Заключение.** В ходе исследования был изучен альтернативный метод удаления фосфатов, основанный на образовании труднорастворимых соединений. Регулирование скорости фильтрации позволило подобрать наиболее оптимальные условия для удаления фосфатов. Наилучшего результата удалось достигнуть при наименьшей скорости фильтрации: эффективность удаления составила 78 % при скорости фильтрации 0,7 мл/мин. Однако, учитывая литературные данные о влиянии pH среды на эффективность очистки от фосфатов, необходимы дальнейшие исследования для достижения более высоких показателей очистки.

**Список используемой литературы:**

1. Залетова Н.А. Глубокое удаление азота и фосфора из сточных вод // Жилищное и коммунальное хозяйство. – 1993. – № 7. – С. 38–40.
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. Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф., Вейсгейм А.С. Применение сахаптинского цеолита для улучшения качества воды питьевого назначения // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 3. – С. 28–31.
5. Вейсгейм А.С., Зарубина Р.Ф., Назаренко О.Б. Улучшение качества воды питьевого назначения с помощью бадинского цеолита // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов семнадцатой Всероссийской научно-технической конференции (Томск, 7–8 декабря 2011). – Томск: Изд-во СПб Графика, 2011. – С. 268–271.
6. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 781 с.
7. Вейсгейм А.С., Зарубина Р.Ф., Назаренко О.Б. Удаление железа из скважинной воды на фильтре с загрузкой из Бадинского цеолита [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. – 2012. – Т. 5. – № 4. – С. 23–30. – Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/337>.
8. Nazarenko O. B., Zarubina R. F., Veysgeym A. S. Badinsk Zeolite Application for Ground Water Treatment // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2012): Proceedings: in 2 vol. – Tomsk: TPU Press, 2012. – Vol. 1. – PP. 15–18.

**Особенности проведения работ по ликвидации пожаров и аварийных ситуаций  
на объектах с наличием радиационных веществ**

***К.С. Скорюцина, Ю.В. Бородин***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
krisrox2@mail.ru*

**1. Введение**

В настоящее время практически в любой отрасли хозяйства и науки во всё более возрастающих масштабах используются радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений.

Особенно высокими темпами развивается ядерная энергетика.

Ядерные материалы приходится транспортировать, хранить, перерабатывать. Все эти операции создают дополнительный риск радиоактивного загрязнения ОС, поражения людей, животных и растительного мира.

Основными поражающими факторами таких аварий являются радиационное воздействие и радиоактивное загрязнение.

Такие аварии могут сопровождаться взрывами и пожарами, которые в последствии очень сложно устранить, и техника устранения пожара на радиационно-опасном объекте (РО) отличается от техники устранения пожара в обычных условиях.

Радиационные катастрофы по тяжести поражения, масштабам и долговременности действия поражающих факторов представляют наибольшую опасность среди техногенных источников чрезвычайных ситуаций.

Следовательно, данная тема является чрезвычайно актуальной.

При написании доклада поставлены следующие цели: 1) проанализировать особенности пожара на радиационных объектах; 2) рассмотреть факторы, усложняющие процесс тушения, а также особенности тушения пожара на РОО в условиях ядерной и радиационной аварии. Также поставлены следующие задачи: 1) используя нормативно-правовую документацию, дать практические рекомендации по предотвращению пожара на РОО; 2) определить меры безопасности личного состава АСФ.

**2. Общие принципы к организации тушения пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ**

Аварии, связанные с выбросом в окружающую среду радиоактивных веществ (радиационные аварии) относятся к экологической катастрофе. Все радиоактивные загрязнители поступают в окружающую среду посредством выбросов и сбросов и относятся к антропогенным загрязнителям. В целях обеспечения безопасного ведения работ по ликвидации горения и чрезвычайных ситуаций на РОО, должностные лица органов управления и подразделений ГПС совместно с администрацией объекта, в соответствии с нормами радиационной безопасности, разрабатывают Инструкцию о порядке организации и проведения работ по ликвидации горения и ЧС на РОО. При разработке документа использованы результаты экспериментальных и теоретических исследований по обеспечению пожарной безопасности на РОО.

*При пожарах на объектах с наличием радиоактивных веществ возможно:*

- возникновение опасных уровней радиации;

- сильное задымление с наличием радиоактивных продуктов горения и их быстрое распространение по системам приточно-вытяжной вентиляции, с конвективными потоками через технологические и другие проемы, а также растекание радиоактивных жидкостей и растворов;
- радиоактивное облучение личного состава, загрязнение боевой одежды, пожарной техники радиоактивными веществами;
- быстрое распространение огня по горючим полимерным материалам, вентиляционным каналам, фильтрам, отходам механической обработки радиоактивных веществ;
- образование радиоактивного облака, его распространение в атмосфере и выпадение радиоактивных осадков на значительном расстоянии от места пожара (аварии).

Поэтому при организации тушения пожаров в условиях повышенного ионизирующего излучения необходимо в полной мере иметь четкое представление о горючих материалах, применяемых на объекте, об особенностях тушения электрооборудования, о составе сил и средств, привлекаемых для тушения пожара.

Боевые действия по тушению пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ определяются с учетом конкретной обстановки и в строгом соответствии с требованиями Боевого устава ГПС, а также методическими указаниями по составлению оперативных планов и карточек тушения пожаров на энергетических предприятиях.

Тушение пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ связано с преодолением значительного количества опасных факторов, которые должны быть по возможности учтены как при разработке планов тушения, так и при принятии оперативных решений в зависимости от сложившейся обстановки на пожаре.

Основным требованием при работе в условиях загрязнения территорий, зданий и помещений радиоактивными продуктами является защита личного состава от воздействия ионизирующих излучений.

### **3. Организация и особенности тушения пожаров на объектах с наличием радиоактивных веществ**

**Радиоактивное вещество** - вещество, не относящееся к ядерным материалам и испускающее ионизирующее излучение. Тушение пожаров и ликвидация аварий на объектах с наличием радиоактивных веществ должны проводиться под индивидуальным радиационным контролем по специальному допуску, в котором определяются предельная продолжительность работы, дополнительные средства защиты, фамилии участников и лица, ответственные за выполнение работ.

*При тушении пожаров на РОО необходимо:*

- Включить в состав оперативного штаба главных специалистов объекта и службы дозиметрического контроля;
- Установить вид и уровень радиации, границы опасной зоны и время работы личного состава на различных участках зоны. Допустимое время работы в смене определяется согласно федеральному законодательству по радиационной безопасности. Режим работы подразделений ГПС определяется руководителем тушения пожара (РТП);
- Приступить к тушению пожара только после получения письменного разрешения администрации предприятия, в том числе и в нерабочее время;
- По согласованию с администрацией объекта выбрать огнетушащие средства;
- При необходимости обеспечить личный состав специальными медицинскими препаратами;
- Организовать через администрацию объекта дозиметрический контроль, пункт дезактивации, санитарной обработки и медицинской помощи личному составу;
- Обеспечить тушение открытых технологических установок с наличием радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений с наветренной стороны;
- По согласованию с администрацией задействовать системы вентиляции и другие средства.

При дозах, приближающихся к допустимому порогу, администрация объекта обязана сообщить об этом РТП. При высоком уровне радиации подразделения ГПС выполняют свои функции по тушению пожара и ликвидации чрезвычайной ситуации только в том случае, если у них имеется достаточно сил и средств и каждому пожарному не грозит превышение предельной допустимой дозы. Регламентация планируемого повышенного облучения личного состава ГПС, привлекаемого к тушению пожара, определяется в соответствии с нормами радиационной безопасности НРБ-99.

Тушение пожара и ликвидация чрезвычайной ситуации на объектах с наличием радиоактивных веществ должны выполняться с привлечением минимально необходимого количества личного состава (с учетом резерва для сменного режима работы), обеспечив его изолирующими противогазами с масками, средствами индивидуального и группового дозиметрического контроля, защитной одеждой, с использованием пожарной и другой приспособленной техники для работы в условиях воздействия радиации. Нахождение личного состава на объекте должно четко отслеживаться по времени, чтобы не получить повышенный уровень радиации. Весь личный состав ГПС, задействованный в тушении пожаров и на РОО и в оперативно-режимных зонах, обеспечивается приборами дозиметрического контроля: индивидуальными дозиметрами, а также средствами индивидуальной защиты: респираторами, легкими защитными костюмами Л-1, защитными плащами ОП-1, СЗО-1. Для снижения степени распыления радиоактивной пыли и вероятности повторного возникновения пожара огнетушащие вещества необходимо подавать тонкораспыленными в виде мощных импульсных струй, распыляющихся на большие расстояния, и только по горячей поверхности.

#### **4. Заключение**

**Радиационная авария** - происшествие, приведшее к выбросу радиоактивных продуктов и ионизирующих излучений, превышающих установленные нормы безопасности. Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ возникают на РОО: атомных станциях, предприятиях по изготовлению и переработке ядерного топлива, захоронению радиоактивных отходов и др.

При аварии на РОО с целью обнаружения зон радиоактивного загрязнения (районов и объектов), определения уровней радиации в местах формирования, размещения, действий и маршрутов выдвижения сил и средств ГПС одновременно с пожарной должна проводиться радиационная разведка, при этом в состав группы разведки должен быть включен дозиметрист.

В подразделениях ГПС, задействованных в тушении пожаров на РОО радиационная разведка проводится табельными средствами разведки, постоянно поддерживается связь с дозиметрической службой РОО.

Для ликвидации ЧС на РОО необходимо использовать пожарную и другую технику, имеющую защиту от радиации. При возможности оборудовать пожарную технику противорадиационным надбоем и подбоем.

Пункты сбора (размещения) резервных сил и средств не должны располагаться с подветренной стороны от источников радиоактивного излучения.

На территории РОО сосредоточивается минимальная часть сил и средств ГПС, которые необходимы для выполнения неотложных работ по тушению пожара. Остальные силы и средства отводятся за пределы территории РОО и располагаются на безопасном расстоянии.

Постовой на посту безопасности заполняет Журнал учета работы личного состава подразделений ГПС в условиях радиации.

Работа личного состава АСФ в условии пожара на РОО должна быть четко организована, отлажена. Личный состав, непосредственно участвующий в тушении пожара на РОО должен быть снабжен СИЗ; время нахождения на объекте должно быть четко определено, оно зависит от уровня радиации. Личный состав АСФ должен проходить подготовку по программе, согласованной с администрацией РОО.

В основу планирования тушения пожара на РОО должен быть положен принцип сохранения в условиях пожара функций систем, важных для безопасности, и возможности осуществления безопасного останова и расхолаживания реакторной установки, а также предотвращения радиоактивных выбросов в окружающую среду.

#### **Список используемой литературы:**

1. Бариев Э.Р. Основы тактики тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ / Э.Р.Бариев, Г.Ф.Ласута, А.В.Врублевский и др. – Мн.: КИИ МЧС Республики Беларусь, 2008. – 168 с.
2. Повзик Я.С. Пожарная тактика. Учебник / Повзик Я.С. - М.: ЗАО «Спецтехника», 2004. - 416 с.
3. Приказ МВД России от 05.07.95 г. № 257 «Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы». Приложение 1. Устав службы пожарной охраны.
4. Приказ МВД России от 05.07.95 г. № 257 «Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности Государственной противопожарной службы». Приложение 2. Боевой устав пожарной охраны.

5. Терехнев В.В. Пожарная тактика / В.В.Терехнев, А.В.Подгрушный. – М.: ГПС МЧС России, 2007. - 580 с.
6. Терехнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В.В.Терехнев. - М.: Пожкнига, 2004. 248 с.
7. Учет, контроль и физическая защита ядерных материалов: Терминологический справочник. - М., 2000.

УДК 628.316

**Разработка технологии для очистки и обеззараживания питьевой воды в чрезвычайных ситуациях**

***В.В. Смирнова, О.Б. Назаренко***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: vv\_smirnova@sibmail.com***

Исследованы сорбционные характеристики модифицированного диоксида титана, полученного обработкой ультразвуком и постоянным электрическим полем в среде различных электролитов. Полученные образцы диоксида титана апробированы в процессах сорбции растворимых примесей тяжелых металлов. Исследована термическая устойчивость образцов при нагревании, а также влияние кислотности растворов на модифицирование поверхности.

В настоящее время в мире наблюдается нарастание дефицита чистой питьевой воды, поэтому приоритетным направлением водохозяйственного комплекса является совершенствование технологии водоподготовки питьевой воды, а также внедрение новых технологий водоочистки. В то же время, необходимы не только полифункциональные сорбенты растворимых примесей, но и сорбенты, обладающие способностью одновременно обеззараживать питьевую воду без использования хлора, озона, гипохлорита и других токсичных веществ. Глубокая очистка воды особенно необходима при ликвидации различных эпидемий и результатов природных и техногенных катастроф. В ряде публикаций российских и зарубежных ученых представлены результаты об уникальных свойствах диоксида титана, которые связаны не только с его сорбционными характеристиками по отношению к растворимым примесям тяжелых металлов, но и со значительной бактерицидной активностью.

Целью данной работы являлось исследование сорбционных характеристик модифицированного диоксида титана и разработка технологии очистки и обеззараживания питьевой воды на его основе.

В работе использовали реактив – диоксид титана (осч), обработанный ультразвуком ( $22 \text{ кГц}$ ,  $0,15 \text{ Вт/см}^2$ ) и постоянным электрическим полем ( $2 \text{ кВ/м}$ ) в различных растворах. Для создания нейтральной среды использовали дистиллированную воду (образец S1) и  $0,2 \text{ н}$  раствор NaCl (S4); щелочной –  $0,2 \text{ н}$  раствор NaOH (S7); кислой –  $0,2 \text{ н}$  раствор HCl (S10). Постоянное электрическое поле создавалось двумя параллельными титановыми электродами (BT 1/0).

Полученные образцы диоксида титана высушивали в атмосфере воздуха при  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  и анализировали с помощью термоанализатора Q 600 SDT Научно-аналитического центра Томского политехнического университета. Нагрев образцов проводили до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  со скоростью  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  в минуту, атмосфера – воздух. Для сравнения полученных результатов проводили термоанализ исходного реактива диоксида титана (P1) в тех же условиях.

При нагревании образца P1 (рис. 1) наблюдалось снижение веса образца ступенчато: первая стадия – до  $318 \text{ }^\circ\text{C}$ , вторая – до  $560 \text{ }^\circ\text{C}$ , третья –  $830 \text{ }^\circ\text{C}$ , что свидетельствует о наличии адсорбированной воды и других примесей на поверхности диоксида титана (осч). После обработки образца P1 ультразвуком (УЗ) и постоянным электрическим полем в дистиллированной воде (S1) наблюдалось плавное снижение веса от комнатной температуры до  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  без заметной стадийности процессов десорбции. При дальнейшем нагревании до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  вес образца не менялся (рис. 2, а). Вероятно, при обработке в дистиллированной воде примеси с поверхности образца были вытеснены молекулами воды. Это предположение нашло подтверждение: при обработке образца P1 в растворе NaCl: в условиях воздействия УЗ и постоянного электрического поля поверхность диоксида титана была трансформирована в новое соединение оксохлорид титана (S4), который адсорбировал небольшое количество воды (2 мас. %), и при дальнейшем нагревании до  $910 \text{ }^\circ\text{C}$  вес образца уменьшился на 6 мас. % (рис. 2, б). По-видимому, образующийся на

поверхности диоксида титана оксохлорид титана при 780 °С разложился и перешел в диоксид титана.

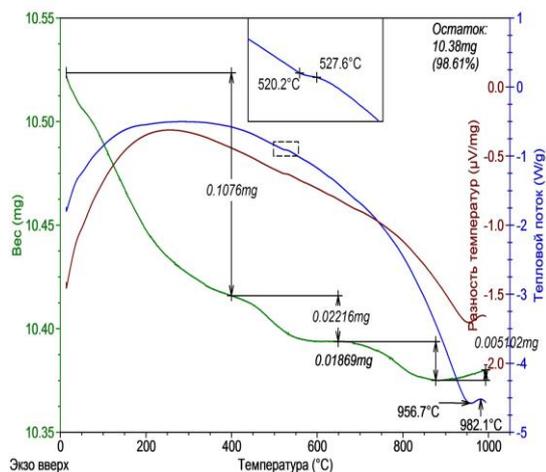


Рис. 1. Термограммы исходного реактива диоксида титана (осч)

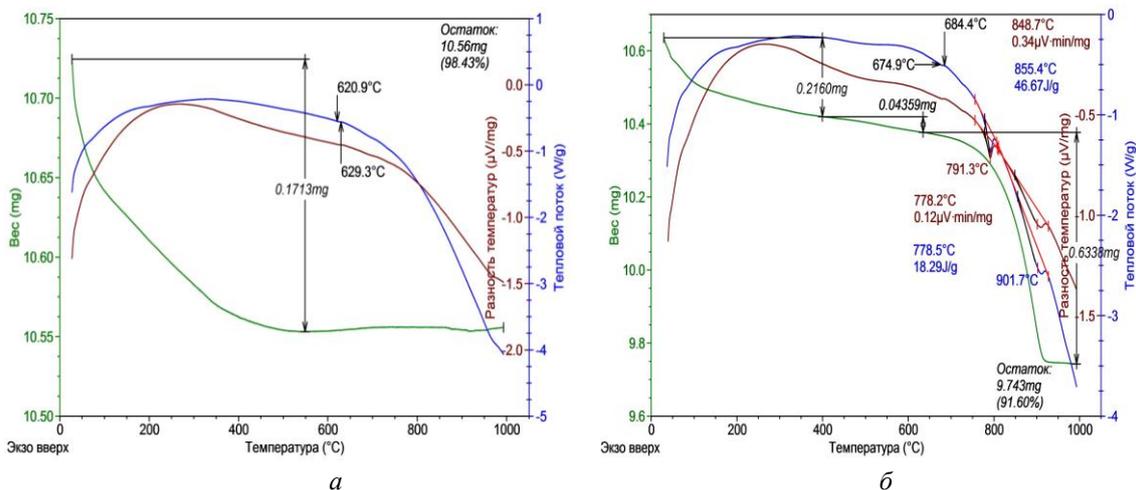


Рис. 2. Термограммы диоксида титана, обработанного ультразвуком и постоянным электрическим полем: а – в дистиллированной воде, б – в среде 0,2 н раствора NaCl

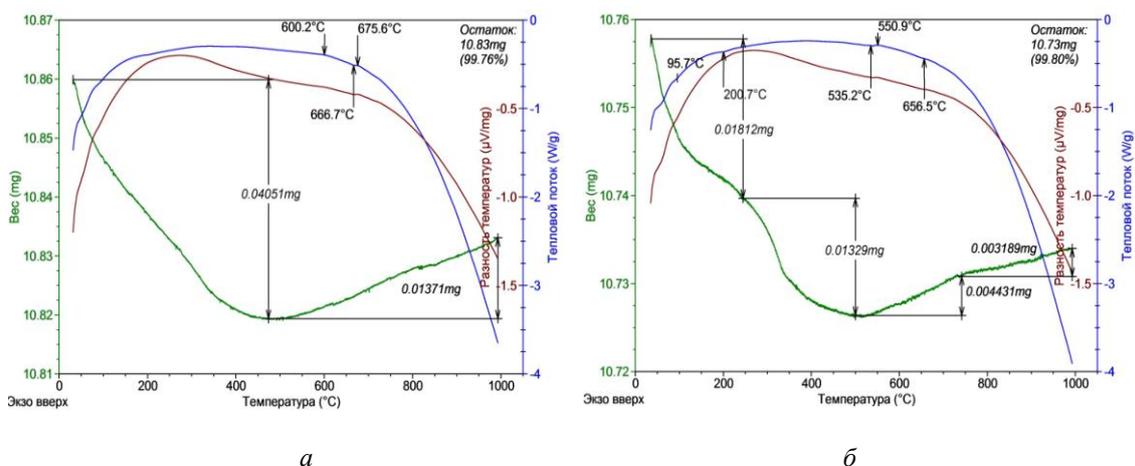


Рис. 3. Термограммы диоксида титана, обработанного ультразвуком и постоянным электрическим полем: а – в среде 0,2 н раствора NaOH, б – в среде 0,2 н раствора HCl

В работе также исследовано влияние кислотности растворов на модифицирование поверхности диоксида титана: термограмма образца, обработанная УЗ и постоянным электрическим полем в 0, 2 н растворе NaOH (рис. 3, а) сходна с термограммой диоксида титана, обработанного в дистиллированной воде (рис. 2, а), за исключением характера ТГ- зависимости при нагревании свыше 500 °С. При повышенных температурах наблюдался рост веса образца и, к 1000 °С он составил 0,126 мас. %. Увеличение веса образца P1, обработанного в 0,2 н растворе HCl (рис. 3, б), также наблюдалось при повышенных температурах (> 560 °С), но это увеличение было не столь значительно по сравнению с образцом, обработанном в растворе щелочи (0,071 мас. %). В то же время процесс десорбции примесей с поверхности для образца S10 (рис. 3, б) протекала в две стадии, что, возможно, связано с десорбцией двух видов сорбированной воды.

Полученные экспериментальные результаты по модифицированию поверхности диоксида титана представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные значения скоростей процессов сорбции-десорбции при нагревании образцов диоксида титана в атмосфере воздуха

№, п/п	Образец	Скорость изменения веса образца, мг/мин			Примечание
		> 600 °С		< 600 °С	
1	P1	-1,8·10 <sup>-3</sup> *	-1,50·10 <sup>-3</sup>	-1,45·10 <sup>-3</sup>	реактив
2	S1	-2,5·10 <sup>-3</sup>		0,00	среда H <sub>2</sub> O
3	S4	-0,40·10 <sup>-3</sup>		-0,51·10 <sup>-3</sup>	среда NaCl
4	S7	-1,90·10 <sup>-3</sup>		+0,5·10 <sup>-3</sup>	среда NaOH
5	S10	-1,12·10 <sup>-3</sup>	+0,24·10 <sup>-3</sup>	+0,18·10 <sup>-3</sup>	среда HCl

\*Знак минус означает уменьшение веса образца, а плюс – увеличение.

Обработанные УЗ и постоянным электрическим полем в среде различных электролитов образцы диоксида титана были апробированы в процессах сорбции растворимых примесей тяжелых металлов [1, 2]. Исходная концентрация примесей в модельных растворах составила: по железу – 3 мг/л, по марганцу – 1 мг/л. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2. Остаточное содержание примесей Fe<sup>+2</sup> и Mn<sup>+2</sup> после их сорбции образцами TiO<sub>2</sub>

Образцы сорбента		P1		S1		S4		S7		S10	
Введено - найдено		Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>	Введено 3 мг/л Fe <sup>+2</sup>	Введено 1 мг/л Mn <sup>+2</sup>
Найдено, мг/л	Через 20 мин	1,42	0,56	0,90	0,31	1,01	0,31	0,53	0,24	1,12	0,31
	Через 60 мин	1,25	0,53	0,69	0,27	0,59	0,21	0,90	0,64	1,10	0,27

Согласно полученным результатам максимальной сорбционной емкостью по отношению к растворимым примесям тяжелых металлов обладали образцы S7 и S10, сорбционная емкость которых максимальна: снижение концентрации примесей железа составило 6 раз, марганца – 4 раза.

Таким образом, модифицированный диоксид титана может быть использован в технологии статической очистки загрязненной воды и доведение ее параметров до уровня ГОСТ для питьевых вод. Кроме того, в технологии водоочистки использование диоксида титана перспективно в связи с его бактерицидными свойствами, что позволяет одновременно совместить в технологии водоочистки две стадии: сорбцию растворимых примесей и обеззараживание. Такая технология актуальна в чрезвычайных ситуациях: природных и техногенных катастрофах.

#### Список используемой литературы:

1. Смирнова В.В., Божко П.В., Коновчук Т.В. // Современная техника и технологии: Труды XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых (СТТ – 2012). – Томск: ТПУ, 2012. – С. 178–179.

2. Смирнова В.В., Назаренко О.Б. // Перспективы развития фундаментальных наук: Труды IX международной конференции студентов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2012. – С. 482–484.

УДК: 53.082.534

**Определение параметров измерительного комплекса, реализующего турбидиметрический высокоселективный метод**

***С.С. Титов<sup>1</sup>, А.А. Павленко<sup>1</sup>, Б.В. Борисов<sup>2;3</sup>***

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

<sup>1</sup> – *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

<sup>2</sup> – *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

<sup>3</sup> – *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: titov.sergey.s@gmail.com***

Приведена реализация турбидиметрического высокоселективного метода определения параметров аэрозольных сред в виде экспериментального измерительного комплекса. Определены погрешности определения дисперсности многофазных сред разработанным измерительным комплексом.

Аэрозольные среды часто применяются в различных технологических процессах. При этом такие характеристики аэрозоля как дисперсность и концентрация конденсированной фазы являются факторами, определяющими свойства выходного продукта. А при использовании аэрозолей с размерами частиц субмикронного диапазона, выходной продукт приобретает качественно новые свойства, либо существенно изменяются параметры самого технологического процесса. В этом случае измерение и контроль параметров гетерогенной среды особенно необходим как при настройке, так и в процессе работы оборудования. Аэрозольные среды также широко распространены в природе и измерение их дисперсных характеристик необходимо для оценки климатической ситуации и экологической обстановки. Наиболее полно удовлетворяют требованиям измерения и контроля параметров конденсированной фазы прибор, не вносящий искажений в исследуемую среду и восстанавливающий функцию распределения частиц по размерам в диапазоне от десятков нанометров до единиц микрометров. Таким прибором является разработанный программно-аппаратный измерительный комплекс, реализующий турбидиметрический высокоселективный метод (ТВСМ) определения параметров аэрозольных сред.

Для восстановления функции распределения частиц по размерам в ТВСМ применяется уравнение:

$$I(\lambda, t) = I_0(\lambda, t) \exp \left[ - \frac{\pi C_n(t) l(t)}{4} \int_0^{\infty} Q \left( \frac{\pi D}{\lambda}, m(\lambda) \right) D^2 f(D, t) dD \right], \quad (1)$$

где  $I(\lambda, t)$  – интенсивность прошедшего через аэрозоль излучения;  $I_0(\lambda, t)$  – интенсивность зондирующего излучения;  $C_n$  – счётная концентрация конденсированной фазы аэрозоля;  $l(t)$  – длина оптического пути;  $Q \left( \frac{\pi D}{\lambda}, m(\lambda) \right)$  – фактор эффективности ослабления зондирующего излучения;  $D$  – диаметр частиц;  $\lambda$  – длина волны зондирующего излучения;  $m(\lambda)$  – комплексный показатель преломления конденсированной фазы аэрозоля;  $f(D, t)$  – функция распределения частиц по размерам. Чтобы решить задачу восстановления функции распределения частиц по размерам с использованием уравнения (1) применяется экспериментальная информация о коэффициенте спектральной прозрачности, полученном в виде:

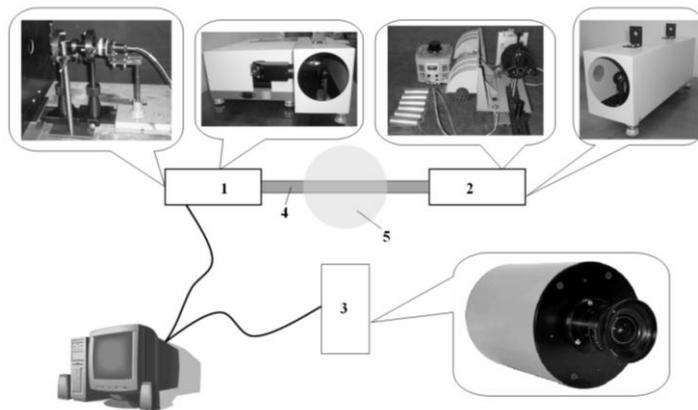
$$\tau_{\lambda}(t) = \ln \frac{I_0(\lambda, t)}{I(\lambda, t)}. \quad (2)$$

В выражении (2) величины  $I_0(\lambda, t)$  и  $I(\lambda, t)$  получают путём прямых измерений в широком диапазоне длин волн. Далее осуществляется расчёт ансамбля значений коэффициентов спектральной прозрачности по формуле (1) для различного вида функции распределения частиц

по размерам и проводится сравнение экспериментально полученных данных с теоретически найденными. По минимальной величине отклонения результатов эксперимента от расчётной величины, делается выбор вида функции распределения частиц по размерам. Все расчёты выполняются в строгом соответствии с теорией Ми без допущений и упрощений. Для уменьшения количества априорных данных предлагаемый метод ТВСМ реализован через сравнение не абсолютных значений величин коэффициентов спектральной прозрачности, а их отношений для некоторых длин волн [1]. При этом, как показали математические исследования, алгоритм выбора этих длин волн никак не влияет на точность и устойчивость метода.

Разработанный алгоритм ТВСМ обладает рядом достоинств, которых нет у приборов реализующих подобные функции с использованием метода спектральной прозрачности или других оптических методов. Это новый метод решения обратной задачи оптики аэрозолей, позволяющий избавиться от некорректности её постановки. Существенным достижением данного метода является простота регулирования диапазона размеров исследуемых частиц, которое осуществляется изменением диапазона длин волн зондирующего излучения. Также, большим преимуществом разработанного метода является возможность проводить исследования как в потоке, так и в кювете.

Схема экспериментального комплекса, реализующего ТВСМ, приведена на рис. 1. В разработанном комплексе (рис. 1) в качестве источника и приёмника оптического излучения применяется различная аппаратура в зависимости от диапазона размеров частиц исследуемого аэрозоля. Для среднедисперсных аэрозолей (размеры частиц от 1 до 10 мкм) приёмником оптического излучения служит инфракрасный Фурье-спектрометр «Инфралюм ФТ-801», а источником излучения – инфракрасный прожектор, диапазон исследуемых длин волн для данной реализации 1,8 – 18 мкм. Для субмикронных аэрозолей приёмником излучения является спектрально-аналитический анализатор на базе спектрометра S125-2048/14, измерение интенсивности излучения осуществлялось на участке длин волн от 360 до 1100 нм, а источником излучения – галогенная газонаполненная лампа. Для определения пространственно-временных характеристик аэрозольного облака применяется камера скоростной видеосъёмки ВидеоСпринт /G4/NG. Вся информация с оборудования поступает на компьютер, где осуществляется её обработка с использованием разработанного программного обеспечения.



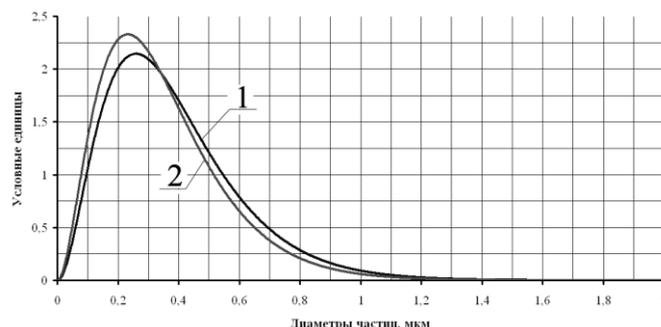
**Рис. 1.** Схема экспериментального комплекса: 1 – приёмник зондирующего излучения; 2 – источник зондирующего излучения; 3 – камера скоростной видеосъёмки; 4 – коллимированный поток оптического излучения; 5 – облако исследуемого аэрозоля

Для оценки точности определения дисперсных характеристик многофазных сред с использованием разработанного экспериментального комплекса наиболее информативным будет сравнение полученных данных с результатами измерений, полученными отличными от реализованного метода способами отдельно для аэрозолей с преобладанием частиц размером менее 1 мкм и для среднедисперсных аэрозолей.

При проведении тестовых экспериментов по определению работоспособности разработанного экспериментального комплекса и адекватности нового метода определения дисперсности (ТВСМ) применительно к субмикронным аэрозолям, осуществлялось восстановление функции распределения частиц по размерам химически чистого субмикронного порошка оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), который помещался в дистиллированную воду. В качестве метода определения дисперсности, с использованием которого возможно оценить точность разработанного экспериментального комплекса, выбрана электронная микроскопия. С использованием

сканирующего электронного микроскопа JSM-840 было получено несколько серий фотографий порошка оксида алюминия, с различным увеличением и разрешением. Далее, по полученным фотографиям, с использованием специализированного программного средства, осуществлялось восстановление функции распределения частиц порошка оксида алюминия по размерам.

Полученные, в результате использования электронной микроскопии и экспериментального комплекса, реализующего ТВСМ, функции распределения частиц по размерам представлены на рис. 2.

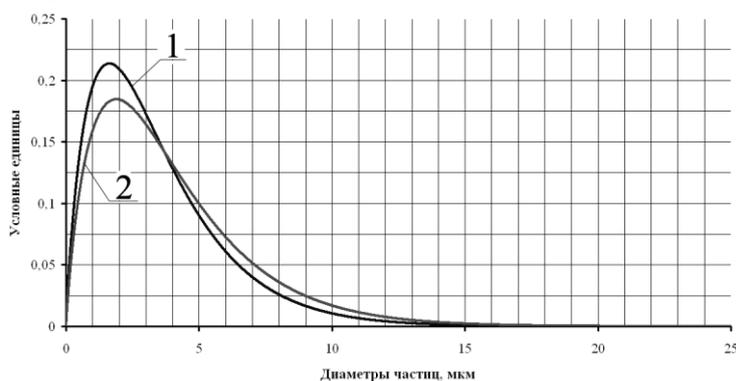


**Рис. 2.** Функции распределения частиц по размерам, полученные: с использованием ТВСМ (1); с помощью электронной микроскопии (2)

В результате сравнения полученных данных установлено, что погрешность определения функции распределения частиц по размерам с использованием разработанного метода и реализующего его экспериментального комплекса в области субмикронных частиц составляет 13 %.

Для оценки точности определения характеристик многофазных сред с помощью разработанного экспериментального комплекса применительно к среднedisперсным аэрозолям, привлекались данные полученные с помощью метода малоуглового рассеяния [2].

С помощью генератора холодного аэрозоля «NEBULO» создавался аэрозоль при расходе дистиллированной воды 5 мл/мин. В результате применения разработанного экспериментального комплекса была получена счётная функция распределения частиц по размерам, вид которой приведён на рис. 3 (кривая 1).



**Рис. 3.** Функции распределения частиц по размерам аэрозоля, создаваемого генератором NEBULO: 1 – определённая ТВСМ; 2 – полученная с использованием метода малых углов

Также счётная функция распределения частиц по размерам для данного расхода была измерена с помощью установки ЛИД-2М, реализующей метод малоуглового рассеяния [2] (кривая 2 на рис. 3). Различие между восстановленными функциями распределения, полученными с помощью разработанного метода и установки, основанной на методе малых углов, составило 15 %.

В результате выполненной работы установлена работоспособность разработанного измерительного комплекса при проведении модельных тестовых экспериментов по определению дисперсности субмикронного порошка оксида алюминия и аэрозоля, получаемого с использованием генератора Nebulo. Определены погрешности измерения дисперсности разработанным комплексом для субмикронных и среднedisперсных аэрозолей, которые составили 13 % и 15 % соответственно.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, номер проекта 12-02-90816.

#### Список использованных источников

1. Турбидиметрический метод определения параметров субмикронных аэрозольных сред / Титов С.С., Павленко А.А., Кудряшова О.Б., Архипов В.А., Бондарчук С.С. // Автотметрия. – 2012. – № 3, том 48. – С. 68 – 74.
2. Ахмадеев И.Р. Метод и быстродействующая лазерная установка для исследования генезиса техногенного аэрозоля по рассеянию луча в контролируемом объеме: дис ... канд. тех. наук. – АлтГТУ – Бийск, 2008. – 98 с.

УДК 66.974.434

#### Вариант повышения экологичности водоподготовительной установки ТЭС

*К.Ю. Афанасьев*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: afalina1@sibmail.com*

Показана возможность утилизации сточных вод водоподготовительной установки ТЭС. Проводится краткий анализ химического и термического обезвреживания стоков, предлагается несколько вариантов термической утилизации и оптимизация схем упаривания с использованием аппарата погружного горения. Сделан вывод об эффективности предложенной схемы, как на ТЭС, так и на других промышленных предприятиях.

На большинстве тепловых электростанций имеется значительное количество сточных вод, достигающих 10-14% от количества воды, поступающей на теплоэлектростанцию (ТЭС). Это ведет к нерациональному расходованию предварительно очищенной сырой воды и развитию проблемы эффективной утилизации больших объемов стоков.

Стоки водоподготовительных установок, образующиеся при обмывке и регенерации катионитных и анионитных фильтров ТЭС, токсичны и при существующих объемах водоотведения представляют собой серьезную экологическую опасность. Очистка этих сточных вод до параметров, предусмотренных действующими в настоящее время нормативными требованиями, традиционными способами ведет к использованию крупномасштабных физико-химических и биолого-химических очистных сооружений, поэтому на большинстве электростанций их сливают в пруды-накопители шлама. Все это создает предпосылки для поиска более компактных и эффективных методов очистки сточных вод. В связи с этим является необходимым реконструкция существующих очистных сооружений или строительство новых с использованием нестандартных подходов.

Наиболее перспективными направлениями защиты окружающей среды от сточных вод энергетических предприятий в сложившихся условиях стоит считать создание бессточных технологических производств, а также разработку и внедрение систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы [1].

Сточные воды, содержащие грубодисперсные примеси, большое количество растворенных солей (по преимуществу сульфат натрия) и ненормированный водородный показатель поступают от водоподготовительных установок. Высокий солевой состав этих вод не позволяет использовать их в оборотном водоснабжении.

Если избавление от грубодисперсных примесей и регулирование pH не представляет труда, то снижение концентрации истинно-растворенных примесей должно сводиться к повторному проведению тех же самых процессов, которые использовались на водоподготовительных установках. Это, в конечном счете, приведет к резкому возрастанию количества сбрасываемых солей со значительным увеличением суммарных затрат на очистку воды [2].

Проведенный анализ показал, что при обессоливании сточных вод, в которых содержание анионов сильных кислот превышает 5 мг экв/кг, экономичнее использовать термическое обессоливание [3].

Наиболее подходящие для выпаривания сточных вод испарительные установки условно можно разделить на те, в которых раствор контактирует и не контактирует с поверхностью нагрева. В установках первого типа образуются отложения солей с соответствующим снижением плотности теплового потока и производительности установок. При этом неизбежны периодические остановки на чистку поверхности нагрева, снижающие технико-экономические показатели и усложняющие эксплуатацию установок. Степень концентрирования в них существенно ограничена из-за резкого увеличения отложений с ростом концентрации раствора [4]. В установках второго типа, к которым относятся аппараты погружного горения (АПГ), данные проблемы отсутствуют. Также стоит отметить возможную эффективность применения установок

мгновенного испарения (УМИ) для концентрирования раствора до 10-15%, учитывая, что работать они могут на низкотемпературных вторичных энергоресурсах.

В ходе работы были разработаны и проанализированы четыре схемы для упаривания сточных вод, образующихся после регенерации и обмывки катионитных и анионитных фильтров водоподготовительной установки ТЭС. В результате была выбрана схема, представленная на рисунке 1.

Ее отличительной особенностью является использование на первой степени упаривания установки мгновенного испарения (УМИ), благодаря чему удастся снизить расход природного газа более чем в 3 раза.

В предложенной схеме подлежащие выпариванию стоки из сборника 5 насосом подают в аппарат мгновенного вскипания 6, который работает за счет ранее не используемых вторичных энергоресурсов, далее раствор с повышенной концентрацией поступает в АПГ 1 с газовой погружной горелкой 2. В скруббер Вентури 3 на промывку и охлаждение уходящей из аппарата парогазовой смеси подается сконденсированная вода из аппарата мгновенного вскипания, которая циркулирует с помощью насоса. Отделение стоков от парогазовой смеси происходит в циклоне 4. Вода вместе с конденсатом из циклона 4 подается в систему оборотного водоснабжения. Частично охлажденные дымовые газы идут в сушильную установку 10, после чего выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Упаренный раствор подается из АПГ в отстойник 9, снабженный механической мешалкой. Осветленный маточный раствор из верхней части отстойника переливается в сборник 8 и снова поступает на выпаривание, а образовавшийся на дне выпаренный продукт периодически выводится через нижний патрубок в сушильную установку 10, использующую в качестве теплоносителя уходящие газы АПГ.

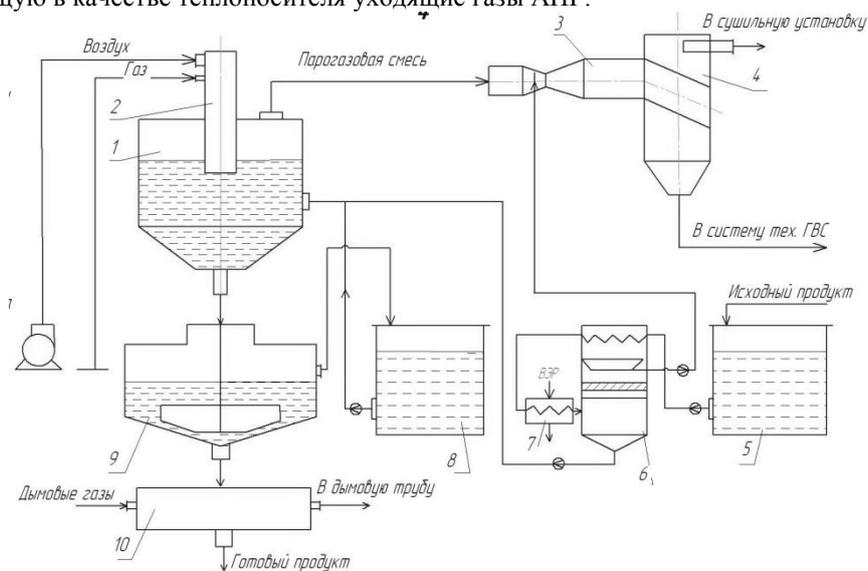


Рис. 1. Схема утилизации сточных вод.

При использовании на первой ступени УМИ необходимо отметить, что низкотемпературный вторичный энергоресурс, служащий для нагрева исходного продукта в теплообменнике 7, может иметь различную температуру, в то время как тепловая нагрузка теплообменника должна обеспечивать заданную температуру воды на выходе из подогревателя. Поэтому необходимо постоянное регулирование расхода дымовых газов, поступающих от вторичных источников, а также необходим постоянный контроль за температурой и расходом воды до и после подогревателя. Оптимизировать эти процессы возможно путем создания системы автоматического контроля и регулирования температуры теплоносителя на входе в установку мгновенного испарения. Разработанная система представлена на рисунке 2.

Предложенное решение позволит использовать в качестве теплоносителя для УМИ различные вторичные энергетические ресурсы с переменной температурой, так как тепловой баланс контролируется автоматически.

Таким образом, на основе установки мгновенного испарения, аппарата погружного горения и сушильной установки возможно создание эффективной малоотходной схемы утилизации стоков водоподготовительной установки ТЭС с возможностью максимального концентрирования и выделения вторичного материального ресурса. Все это позволит существенно снизить объем

стоков станции, площадь прудов-накопителей шлама и потребление свежей воды из природных источников, а значит, негативное воздействие на окружающую среду существенно снизится.

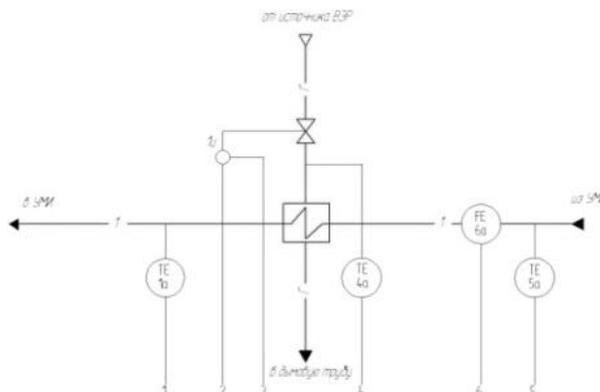


Рис. 2. Функциональная схема автоматического контроля и регулирования температуры теплоносителя на входе в УМИ.

Применение разработанной схемы позволит повысить экологичность и других промышленных предприятий, так из стоков электрообессоливающих установок нефтеперерабатывающего завода возможно получение хлорида натрия, а из жидких отходов кожевенного производства концентрирование хрома.

#### Список используемой литературы:

1. Защита биосферы от промышленных выбросов: учебное пособие / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. – М.: КолосС: Химия, 2005. – 387 с.
2. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: учебное пособие / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 295 с.
3. Вихрев В. Ф. Водоподготовка: учебное пособие / В. Ф. Вихрев, М. С. Шкроб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
4. Таубман Е.И. Термическое обезвреживание минерализованных промышленных сточных вод. – Л.: Химия, 1975. – 208 с.
5. Аппараты погружного горения: учебное пособие для вузов / А. Н. Алабовский, П. Г. Удыма. – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – 255 с.
6. Афанасьев К.Ю. Вариант термического обезвреживания сточных вод водоподготовительной установки АЭС. // Известия вузов. Физика. 2012. № 2/2. – С. 150 – 152.
7. Афанасьев К.Ю. Сравнительный анализ методов обессоливания стоков водоподготовительной установки ТЭЦ // Современная техника и технологии: Тр. XVIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 3 / – Томск: ТПУ, 2012. С. 155 – 156.

УДК 616-092

#### Исследование влияния производных гидразина на биохимические показатели в крови

*А.Ю. Алейник, Р.Р. Бейсенова, Р.Р. Ахмеджанов*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [alejaleksandra@mail.ru](mailto:alejaleksandra@mail.ru)*

На сегодняшний день является весьма актуальной проблема загрязнения окружающей среды компонентами ракетного топлива и безопасности населения, вследствие аварийных проливов вблизи пусковых площадок и в подтрассовых зонах.

Несимметричный диметилгидразин (НДМГ), как органическое соединение с сильно выраженными восстановительными свойствами, легко окисляется кислородом воздуха, реагирует с кислотами и окислителями, при взаимодействии с кислотами образует соли. В результате трансформации НДМГ при определенных физико-химических условиях могут образовываться новые вещества, отличающиеся не только по своему химическому составу, физико-химическим свойствам, характеру и степени влияния на органолептические показатели воды, воздуха, процесс естественного самоочищения воды, водоемов и почвы, но и по биологической активности: степени токсичности, способности к кумуляции, проявлению отдаленных и специфических эффектов [2].

Целью исследования было изучение влияния производных гидразина, таких как нитрозодиметиламин (НДМА), гидразид изоникотиновой кислоты (ГИНК), фенилгидразин (ФГ) и гидразин-сульфат (ГС), на биохимические показатели крови экспериментальных животных. Определяли содержание общего и связанного билирубина, общего белка, креатинина, глюкозы, активность ферментов - АсАТ, АлАТ,  $\alpha$ -амилазы, а также тимоловую пробу. Эксперименты проводились на белых беспородных крысах, самцах массой 250 - 300 грамм.

Результаты исследований представлены на рисунках 1 и 2.

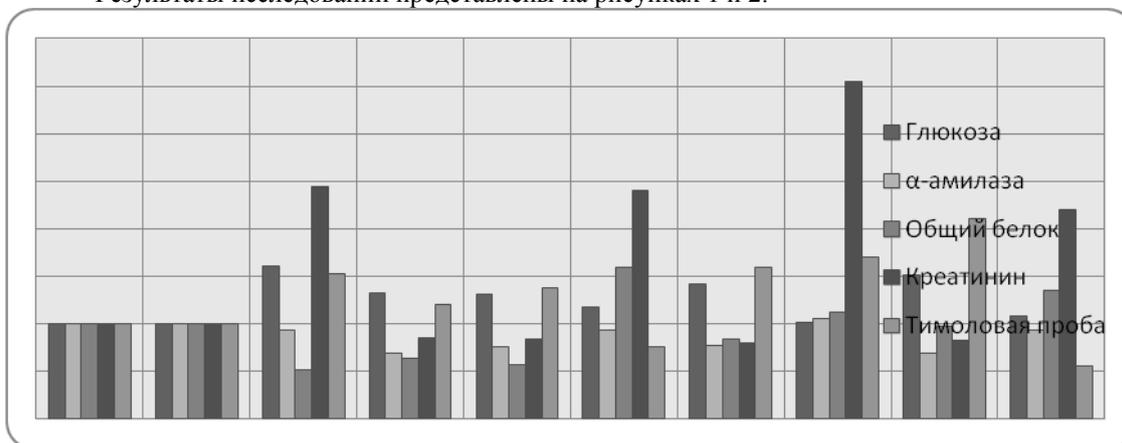


Рис. 1. Изменения показателей глюкозы, амилазы, общего белка, креатинина и тимоловой пробы при острой и хронической интоксикации производными гидразина.

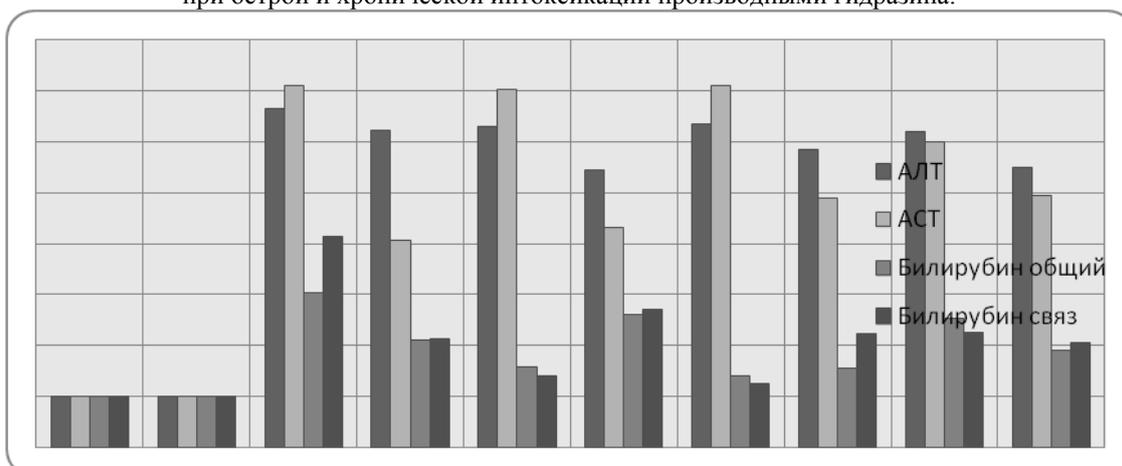


Рис. 2. Изменения показателей АЛат, АСаТ, билирубина общего и билирубина связанного при острой и хронической интоксикации производными гидразина.

Гидразин и его производные, чрезвычайно токсичные соединения по отношению к различным видам животных и растительных организмов. Разбавленные растворы сульфата гидразина губительно действуют на семена, морские водоросли, одноклеточные и простейшие организмы. У млекопитающих гидразин вызывает судороги. В животный организм гидразин и его производные могут проникать любыми путями: при вдыхании паров продукта, через кожу, через пищеварительный тракт [4].

Повышенный показатель глюкозы при острой интоксикации гидразинами говорит об усилении распада гликогена в печени и мышцах, замедлением биосинтеза белков и жиров, а также уменьшением скорости окисления глюкозы в тканях.

Гидразин-сульфат под названием "Сигразин" нашел применение в медицине при лечении больных раком. Онкологические больные обычно испытывают сильное истощение, быструю потерю веса и аппетита. Эти явления вызываются нарушениями углеводного обмена. Известно, что глюкоза в клетках сначала трансформируется в молочную кислоту. Выяснилось, что гидразин-сульфат является ингибитором фермента, отвечающего за синтез глюкозы из молочной кислоты, следовательно, гидразин-сульфат прекращает нарушения углеводного обмена раковых клеток. Состояние раковых больных при приеме гидразин-сульфата, как правило, улучшается. Более того, гидразин-сульфат обладает способностью задерживать рост и даже вызывать распад некоторых

опухолей. В дополнение к этому гидразин-сульфат, как, впрочем, и многие другие производные гидразина, является ингибитором еще одного фермента - моноаминоксидазы, а это вызывает улучшение общего тонуса. Гидразин-сульфат, лекарственные свойства которого были обнаружены в 60-х годах, в настоящее время занял прочное место среди препаратов, применяемых в онкологической практике [4].

Однако при длительном приеме в больших дозах гидразин-сульфат может оказывать обратное, то есть канцерогенное, действие. Если регулярно вводить мышам гидразин с пищей, он вызывает легочные аденомы и аденокарциномы. Внутривентрикулярные инъекции вызывают образование сарком или лейкоми. При ингаляциях развиваются лимфосаркомы и клеточные саркомы. Сообщалось о смертных случаях, вызванных раком, среди рабочих, многие годы имевших контакты с гидразином. Кстати, гидразин обнаружен в сигаретном дыме [3].

Во всех группах при острой интоксикации наблюдается уменьшение содержания  $\alpha$ -амилазы и общего белка по сравнению с контрольной группой.

Пониженное значение  $\alpha$ -амилазы показывает на нарушение окисления углеводов с замедлением распада их в тканях. Также понижение уровня амилазы в крови встречается при недостаточности работы органов, вырабатывающих этот фермент, например, поджелудочной железы [3].

Изменения в показателях общего белка свидетельствуют о переходе плазменных белков в интерстициальную ткань, что связано с увеличением проницаемости стенок капилляров, а также влиянием гидразинов на пептидные связи полипептидов, что улучшает миграцию белковых частиц из кровяного русла в лимфу. По литературным данным, гипопроотеинемия наблюдается при нарушении синтеза белков в организме – циррозы, гепатиты, токсическое поражение.

Повышенный уровень креатинина в крови говорит о нарушении функций работы почек. Положительная тимоловая проба при интоксикации гидразинами свидетельствует о значительных изменениях в паренхиме печени.

Действие производных НДМГ на различные ферментные системы не специфично. Они вызывают повышение или угнетение активности многих ферментов. В основе механизма токсического действия производных гидразина лежит их способность ингибировать пиридоксальзависимые ферменты – аминотрансферазы, аминоксидазы, декарбоксилазы и другие.

На рисунке 2 видно, что при воздействии каждого производного произошло многократное увеличение содержания в крови АЛТ, АСТ, билирубина общего и билирубина связанного.

Коэффициент де Ритиса, который показывает соотношение аминотрансфераз, в группах при острой интоксикации гидразинами выше 1, что может свидетельствовать о значительных поражениях сердечной мышцы наряду с поражениями печени. Увеличение активности названных ферментов при хронической интоксикации и коэффициент де Ритиса ниже 1 могут свидетельствовать о значительных неблагоприятных изменениях в клетках паренхимы печени.

Такое резкое увеличение аминотрансфераз свидетельствует не только о нарушениях функций печени, но также и о повреждениях мышц, клеток сердца и нервных тканей.

Сдвиги в обмене билирубина, то есть билирубинемия показывает поражение паренхимы печени, билирубин проникает в кровь через разрушенные печеночные клетки. Общеизвестно, что при застое желчи, переполненные желчные канальцы травмируются и пропускают билирубин в кровь, а значительные изменения биохимических показателей крови показывают о развитии токсического гепатита, когда происходят тяжелые изменения в белковообразовательной, желчеобразовательной функциях печени.

Итак, по данным, полученным в ходе экспериментов, можно сказать, что при воздействии производных гидразина происходит ряд изменений в крови. По биохимическим показателям можно сказать, что наибольшие изменения претерпевает печень. А также наблюдаются патологические процессы в поджелудочной железе, на которые указывает гипергликемия и повышение содержания  $\alpha$ -амилазы.

#### **Список используемой литературы:**

1. Богданов Н. А. «Вопросы токсикологии ракетного топлива». – Л. :, Изд. ВМА им. С. М. Кирова. 1961. – С. 36-38.
2. Лабораторные методы исследования в клинике. Справочник под редакцией Меньшикова В.В. – М. :, «Медицина», – 1987. – С. – 174-234.
3. Авакян А.Х. Новые молекулярные критерии оценки токсического действия производных гидразина. Активные формы кислорода как ключевые агенты в механизме токсичности // Фармакология и токсикология. – 1990. – Т. 53, – № 1. – С. 70-73.
4. Цибколло Г.И. Изменение высшей нервной деятельности у животных под влиянием

психотропных лекарственных веществ. Влияние психотропных препаратов на высшую нервную деятельность. – 1963. – С. 135-172.

### **Исследование профессионально важных качеств спасателя**

***Е.И. Фёдорова, Н.А. Чулков***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: [fedorova.katerina.92@mail.ru](mailto:fedorova.katerina.92@mail.ru)***

Даны определения профессионально важных качеств спасателей, рассмотрены методики этих исследований и результаты приведены в таблице.

Профессионально важные качества (ПВК) — это индивидуальные свойства субъекта деятельности, которые необходимы и достаточны для реализации этой деятельности на нормативно заданном уровне. В структуре ПВК можно выделить совокупность следующих психических особенностей: особенности когнитивных процессов; индивидуально-психологические особенности личности;

Предполагается, что содержание ПВК для конкретной деятельности, степень их выраженности и особенности развития, а также формирование комплекса ПВК обуславливают эффективность и надежность деятельности человека.

Труд спасателей относится к тем видам деятельности, отличительной особенностью которых является постоянное столкновение с опасностью. Чрезвычайные обстоятельства, являющиеся неотъемлемой частью профессионального опыта пожарных, создают экстремальные условия их деятельности в связи с угрозой для жизни, физического и психического здоровья сотрудников, а также с угрозой жизни, здоровью, благополучию окружающих, с массовыми человеческими жертвами и значительными материальными потерями.

Профессия спасателя характеризуется следующими особенностями: травмирующими ситуациями, стрессовыми воздействиями и постоянной готовностью к риску.

Некоторые специалисты обращают внимание на структуру ПВК как ключевой критерий, обеспечивающий формирование профессиональной пригодности субъекта. Так, Е.А. Климов выделяет «пять основных слагаемых системы профессионально ценных качеств»:

1. Гражданские качества – идейный моральный облик человека как члена коллектива, общества;
2. Отношение к труду, профессии, интересы и склонности к данной области деятельности;
3. Дееспособность, которая образуется качествами, важными во многих и разных видах деятельности (широта ума, его глубина, гибкость и др.);
4. Единичные, частные, специальные способности. Это такие личные качества, которые важны для данной работы, профессии или для относительно узкого их круга;
5. Навыки, привычки, знания, опыт.

Психологические различия между людьми могут быть настолько значительны, что некоторые сотрудники, несмотря на достаточное здоровье и активное стремление овладеть определенной деятельностью, фактически не могут достигнуть необходимого минимума профессионального мастерства.

Психограмма сотрудников противопожарной службы включает ведущие группы, в которые входят следующие психологические качества:

- смелость;
- способность брать на себя ответственность в сложных ситуациях;
- уверенность в себе;
- способность принимать правильное решение при недостатке необходимой информации, при отсутствии времени на ее осмысление;
- способность объективно оценивать свои силы и возможности;
- способность к длительному сохранению высокой активности;
- умение распределять внимание при выполнении нескольких действий, функций, задач;
- уравновешенность, самообладание при конфликтах;
- способность к быстрому установлению контактов с новыми людьми;
- способность располагать к себе людей, вызывать у них доверие;
- способность найти нужный тон, целесообразную форму общения в зависимости от психологического состояния и индивидуальных особенностей собеседника;

- склонность к риску.

Указанные качества проявляются в зависимости от специфики выполняемых задач и связаны с успешностью профессиональной деятельности.

#### **Методики исследования**

Диагностика профессионально важных качеств спасателей проводилась при помощи пяти методик:

1. Тест зрительной и слуховой памяти R. Meili

Цель: диагностика уровня развития зрительной и слуховой памяти пожарных-спасателей.

2. Опросник Айзенка

Цель: диагностика уровня выраженности эмоциональной стабильности.

3. Личностная шкала проявления тревоги.

Цель: диагностика уровня тревожности.

4. Тест механической понятливости Беннета

Цель: диагностика уровня развития технического мышления.

5. Методика определения скорости переключения внимания

Цель: диагностика скорости переключения внимания.

#### **Краткая характеристика методик исследований**

Опросник Айзенка

Опросник предназначен для диагностики экстраверсии, интроверсии и нейротизма, включает также девять вопросов, составляющих «шкалу лжи». Ответы, совпадающие с ключом, оцениваются в один балл. Испытуемому предлагается ответить на 57 вопросов. Вопросы направлены на выявление вашего обычного способа поведения. На вопросы может быть два варианта ответа знак + (да), если нет знак – (нет)».

#### **Результаты исследования и их психологический анализ**

Результаты диагностики по всем пяти методикам оценивались по пятибальной шкале оценок. В сводной таблице представлены сырые баллы или проценты, а так же оценки от 1 до 5. Для изучения выраженности профессионально важных качеств пожарных-спасателей МЧС было проведено вычисление средних оценок.

Средние показатели оценок пожарных-спасателей МЧС по всем методикам

Зрительная память	Слуховая память	Тест Айзенка эмоц. стабильность	Тест Тейлора	Тест Беннета	Скорость переключения внимания
3,9	3,5	4,7	4,5	4,9	3,8

Средняя оценка зрительной памяти у пожарных-спасателей — 3,9, средняя оценка слуховой памяти — 3,5. Средний показатель эмоциональной стабильности — 4,7, тревожности — 4,5. Средняя оценка механической понятливости — 4,9 и средняя оценка скорости переключения внимания — 3,8.

В данной выборке пожарных-спасателей наиболее развита механическая понятливость, т. е. работники технически грамотны, хорошо понимают технические инструкции, разбираются в технических вопросах во время пожарно-спасательных действий.

Так же выявлен очень высокий уровень эмоциональной стабильности. Это говорит о том, что в целом пожарные-спасатели не подвержены импульсивности, суетливости. Работники эмоционально зрелы, эмоции адекватны ситуации, последовательны.

Уровень тревожности тоже достаточно низкий, что соответствует профессии пожарного-спасателя.

В отличие от этого, процессы внимания и памяти развиты на недостаточно высоком уровне и требуют коррекции и дальнейшего развития. Для выявления спасателей, нуждающихся в коррекции и развитии тех или иных профессионально важных качеств был проведен расчет количества и процента испытуемых с различными оценками выраженности изучаемых ПВК.

Одним из профессионально важных качеств пожарных-спасателей является развитая зрительная и слуховая память. Она необходима им для запоминания различных ситуаций во время проведения пожарно-спасательных работ и в связи с этим принятия правильных решений.

#### **Список используемой литературы:**

1. <http://www.agps-mipb.ru>

2. <http://www.rescuer.ru/forum/topic/2870>
3. <http://sbiblio.com>
4. <http://www.mchs.gov.ru/>

УДК 502/504(571.13)

## **Оценка влияния нефтепромышленности на геологическую среду**

***Е.Ю. Жемчугова***

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

***E-mail: [elena.17.02.83@mail.ru](mailto:elena.17.02.83@mail.ru)***

Нефтяное загрязнение геологической среды формируется на фоне хозяйственной деятельности, связанной с добычей, сбором, хранением, очисткой, переработкой и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, т.е. на всех этапах работы с углеводородным сырьем.

Попадая на земную поверхность, нефть оказывается в качественно новых условиях существования. Нефтяное загрязнение бывает поверхностным и подземным.

Вертикальное продвижение нефти вдоль почвенного профиля создает хроматографический эффект, приводящий к дифференциации состава нефти: в верхнем гумусовом горизонте сорбируются высокомолекулярные компоненты нефти, содержание много смолисто-асфальтовых веществ и циклических соединений; в нижние горизонты проникают в основном низкомолекулярные соединения, имеющие более высокую растворимость в воде и более высокую диффузную способность, чем высокомолекулярные компоненты.

В данных условиях структура потока существенным образом определяется петрофизическими характеристиками почвогрунтов (диаметром пор, объемом порового пространства, смачиваемостью, проницаемостью).

Легкая фракция включает низкомолекулярные метановые (алканы), нафтеновые (циклопарафиновые) и ароматические углеводороды – наиболее подвижная часть нефти.

В ряде случаев количество попавшего в подземную гидросферу нефтепродукта измеряется сотнями и тысячами кубических метров. По многим показателям, наиболее сложным считается подземное загрязнение, чем поверхностные разливы нефтепродуктов, которым уделяется значительно больше внимания:

во-первых, разливы нефтепродуктов на поверхность квалифицируются как «явная опасность» и оперативно устраняются, в то время как подземное загрязнение нефтепродуктами может оставаться без внимания на протяжении многих лет, создавая тем самым значительную экологическую угрозу;

во-вторых, в случае поверхностных разливов значительная часть нефтепродуктов обычно задерживается в верхней части зоны аэрации и не достигает уровня подземных вод; при подземных утечках загрязнение попадает непосредственно на поверхность грунтового водоносного горизонта;

в-третьих, скорость естественной деградации этого вида загрязнения существенно ниже скорости его поступления в подземную гидросферу. Сформировавшиеся на поверхности грунтового водоносного горизонта зона свободных нефтепродуктов может загрязнять подземные воды в течение десятков и сотен лет.

При утечках значительных количеств нефтепродуктов, на начальной стадии, происходит преимущественно вертикальная фильтрация до тех пор, пока нефтепродукты не достигнут уровня грунтовых вод, где и формируется зона «свободных нефтепродуктов». Дальнейшее движение гравитационно-подвижных углеводородов происходит вниз по уклону зеркала грунтовых вод к области разгрузки, обычно это реки и моря.

Владение информацией о подземном загрязнении позволяет принять меры по его ликвидации и не допустить угнетения экосистемы. Для этого необходимо своевременно оценить масштабы и площади распространения потерянных нефтепродуктов. А также оценить объемы их подпочвенных скоплений, что очень важно для рекомендаций способов очистки загрязненной нефтепродуктами территории.

Для оценки объемов подпочвенных скоплений нефтепродуктов в настоящее время применяются различные системы, основанные на современных геофизических и геохимических методах.

Геофизические методы – косвенные методы, ориентированные на выявление аномальных эффектов в физических полях над линзами погребенных нефтепродуктов.

К недостаткам геофизических методов можно отнести:

- сложность обработки полученной информации;
- отсутствие единой методики исследования;
- неоднозначность интерпретации полученных результатов.

Геохимические методы ориентированы на выявление ореолов углеводородных газов над линзами нефтепродуктов. В прямых методах поисков используются те поисковые критерии, которые непосредственно свидетельствуют о наличии на площади работ глубинных углеводородных скоплений.

- Геохимическая съемка по породам, выходящим на поверхность, осуществляется методом отбора проб почвы, грунта, илов и т.д. с последующим извлечением из них газа методами термовакuumной, механической и химической дегазации и хроматографическим определением его состава. Недостатком этого вида исследования является малая информативность (почти повсеместно отсутствуют углеводороды тяжелее пропана), а также то, что работы проводятся в зоне влияния погодных-климатических факторов и в условиях существования сильного сингенетического фона, где породы наиболее богаты органикой и где наиболее вероятно существование «ложных» аномалий. Положительная сторона – низкая себестоимость и простота выполнения.

- Геохимическая съемка по грунтовым водам практически не применяется в силу нерентабельности работ, связанных с бурением скважин, по которым производится опробование; сложности транспортировки проб; а главное – съемка ведется по крайне редкой сети наблюдений, что не удовлетворяет требованиям заказчика.

- Геохимическая съемка по поверхностным водотокам применяется редко, поскольку получаемая информация носит внескальный характер и далеко не всегда может уверенно интерполироваться на всю изучаемую территорию. Геохимическая съемка с использованием только косвенных признаков не может выполняться в силу малой ее информативности при поисках месторождений нефти-газа.

- Методы с использованием переносных полевых приборов (портативных газоанализаторов). Преимуществом этих методов является экспрессность как самих работ, так и получаемых результатов. Более того, одним из важных достоинств этого метода является возможность проведения работ по равномерной сети с небольшим шагом опробования. Переносные газовые хроматографы вызывают большее уважение по сравнению с аппаратурой на полупроводниковых датчиках. Однако их аналитическая достоверность вызывает большие сомнения. Получаемые хроматограммы практически не дают идентификации соединений, а изменение погодных условий приводит к сбоям в количественном определении компонентов.

- Совмещение методов с использованием переносных приборов и аналитических работ в стационарных лабораториях. В этом случае предварительно проводится съемка с использованием переносной аппаратуры, выявляются аномальные участки, затем проводится опробование выделенных участков и анализ образцов в стационарных лабораториях. При кажущейся правомерности подхода, следует помнить, что аномальные участки будут выделяться только по легким углеводородам, преимущественно метану. Следовательно, при таких условиях работ заранее привнесется ошибка при выделении наиболее перспективных площадей.

В заключении можно сказать, что для решения проблемы подземного загрязнения нефтепродуктами отдельный метод не даст полной информации о наличии и трансформации нефтепродуктов в подземном слое. Необходимо разработать оптимальный методический комплекс для поиска и выявления разнотипных техногенных геохимических аномалий, идентификации основных источников загрязнения, а также определения уровня и динамики техногенного воздействия на окружающую среду. Для полной достоверной информации о подземном перемещении углеводородов необходимо сократить время анализа с одновременным повышением его точности.

Таким образом, оценив все достоинства и недостатки, рассмотренных выше методов оценки подпочвенного загрязнения нефтепродуктами, мы считаем, что наиболее эффективным как с точки зрения полноты получаемой информации, так и с точки зрения экономичности исследования является геохимический метод, совмещенный с использованием современных достижений в области информационных технологий. С одной стороны, преимущественно геохимического метода с использованием переносных полевых приборов (портативные газоанализаторы) является экспрессность как самих работ, так и получаемых результатов. С другой стороны – разрабатываемая нами математическая модель, с использованием современной вычислительной техники позволит построить трехмерное изображение подпочвенных скоплений и

даст возможность определить их дальнейшую трансформацию. В итоге данная методика позволит своевременно определить место и площадь нефтезагрязнения и позволит принять необходимые меры для предотвращения его распространения с небольшими затратами.

**Список используемой литературы:**

1. Одинцова Т.А. – Автореферат канд. диссертации. Учреждение Российской академии наук Горный институт Уральского отделения РАН, – Пермь, 2010.
2. Другов Ю.С. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосфер: Практическое руководство./Ю.С. Другов, И.Г. Зенкевич, А.А. Родин. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 752с.
3. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. – М.: МГУ, 1993. 206с.

**Негативные экологические последствия при сжигании ПНГ на факельных установках**

*Е.А. Исхакова, Д.С. Бакулев*

*Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [lyalya-kaka@mail.ru](mailto:lyalya-kaka@mail.ru)*

Несомненно, нефтегазовый комплекс является неотъемлемой частью ТЭКа и основным элементом российской экономики. Именно интенсивное развитие НГК существенным образом сказывается на развитии всей экономики в целом. Однако, несмотря на все свои преимущества, нефтяная промышленность несет непоправимый урон окружающей среде.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем является загрязнение атмосферы при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках.

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это смесь различных газообразных углеводородов, растворенных в нефти. Данный газ выделяется в процессе добычи и перегонки нефти и, следовательно, он является сопутствующим продуктом. Однако и сам по себе ПНГ – это ценное сырье для дальнейшей переработки. В его состав входят такие углеводороды как метан, этан, пропан, а также в составе присутствуют такие вещества, как углекислый газ и азот.

Чтобы нефть соответствовала требуемым стандартам, её нужно отделять от ПНГ. Долгое время нефтедобывающие предприятия решали проблему утилизации ПНГ посредством его сжигания на факельных установках, так как данный способ не требует больших денежных затрат: установка газового факела более рентабельна, чем установка оборудования для переработки ПНГ. Тем не менее, это отражается на экологии планеты не лучшим образом.

Во – первых, в России в результате сжигания ПНГ на факельных установках в атмосферу выбрасывается до 100 млн. тонн в год углекислого газа. Это опасно тем, что  $CO_2$  является парниковым газом и оказывает большое влияние на процесс теплообмена планеты с окружающим пространством. Следовательно, превышение содержания углекислого газа в атмосфере негативно сказывается на формировании климата планеты. К тому же известно, что на некоторых газовых факелах газ сжигается не полностью, и в атмосферу выделяется метан, более активный парниковый газ, чем  $CO_2$ .

Таблица. Выбросы загрязняющих веществ ОАО «Томскнефть» ВНК в атмосферу в 2008 году, тыс. тонн

Загрязняющие вещества	Выброс за год	В том числе сверхнормативный	Сверхнормативный (%)
оксид углерода	96,3	62,8	65
сажа	14,0	10,3	74
углеводороды	18,2	5,8	32
метан	34,3	12,8	37
ИТОГО	171,1	92,2	54

Во – вторых, опасность для окружающей среды представляют собой и выбросы сажи. Объем её выбросов оценивается приблизительно в 0,5 млн. тонн в год. Мельчайшие частички сажи способны рассеиваться на большие расстояния и осаждаться на поверхностях льда или снега, что впоследствии приводит к снижению уровня их альбедо. В связи с этим снег и приземный слой воздуха нагреваются, и планета отражает меньшее количество солнечной радиации.

В – третьих, негативным фактором является шум при факельном сжигании ПНГ. Испытания показали, что фоновый шум у основания пламени составлял 78 дБ. При увеличении скорости расхода газа до 25,9 м<sup>3</sup>/с уровень звука составил 110 дБ. Известно, что после 6-7 ч работы при интенсивности шума 80-90 дБ нарушаются функции вегетативной нервной системы и деятельность головного мозга. Снизить уровень шума, возникающий при истечении газа из трубы, можно увеличением диаметра трубы. Однако при этом увеличиваются расходы на ее монтаж и ухудшаются условия горения.

И наконец, сжигание ПНГ сопровождается тепловым загрязнением окружающей среды: вокруг факела радиус растепления вечномёрзлых грунтов колеблется в пределах 10–25 метров. При этом в атмосферу поступают как продукты сгорания ПНГ, в том числе окись азота, сернистый ангидрид, окись углерода, так и различные несгоревшие углеводороды. Это приводит к увеличению заболеваемости местного населения раком легких, бронхов, к поражениям печени и желудочно-кишечного тракта, нервной системы, зрения.

Помимо сжигания, способами утилизации ПНГ являются его переработка, закачка в пласт для повышения нефтеотдачи, а также использование в качестве топлива для электрогенерации.

Из ПНГ можно получить ряд продуктов, которые востребованы нефтехимией, но затраты на транспортировку газа и его компонентов с месторождений делают подобные проекты нерентабельными. Именно утилизация ПНГ посредством сжигания является более экономным вариантом, несмотря на плату за превышение ПДВ.

В целях предотвращения загрязнения воздуха выбросами вредных веществ Правительство РФ в 2009 году установило целевой показатель сжигания ПНГ на 2012 год и последующие годы в размере не более 5% от объема добытого газа. Уровень использования попутного нефтяного газа, таким образом, должен быть не менее 95%.

Таким образом, в условиях ужесточения ответственности за сжигание ПНГ в виде повышения платы за выбросы, нефтедобывающие предприятия будут вынуждены искать новые способы утилизации, что заметно скажется на состоянии окружающей среды.

#### **Список используемой литературы:**

1. Владимирова А. И., Ремизова В.В. Экология нефтегазового комплекса: учебное пособие. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 416 с.
2. Беляева В. Я. и др. Нефтегазовое строительство: учебное пособие. – М.: Издательство «ОМЕГА – Л», 2005. – 774 с.
3. Выгон Г., Рубцов А., Ежов С. Утилизация попутного нефтяного газа: проблема 2012. – М.: Издательство Энергетический центр Сколково, 2012. – 27 с.
4. Стрижевский И.И., Эльнатанов А.И. Факельные установки. – М.: Химия, 1979. – 184 с.
5. Шишмина Л.В. Экология нефтедобывающих комплексов: Практикум – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 106 с.
6. <http://ria.ru/economy>
7. <http://gendocs.ru>

#### **Разработка мероприятий по снижению шума от железнодорожного транспорта в жилой застройке г. Тайга**

*И. Ю. Ключникова, М. Э. Гусельников*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: [iklyu@sibmail.com](mailto:iklyu@sibmail.com)*

В связи с жалобами граждан, проживающих на территории, прилегающей к железной дороге в г. Тайга, на высокий уровень шума, головные боли, бессонницу и недомогание нами в ходе производственной практики были проведены измерения уровня шума. Измерения проводились в соответствии с нормативами [1,2] в контрольных точках 1 и 2, представленных на Рис. 1. Из рисунка видно, что жилая застройка (К.Т. №2) находится за лесополосой.

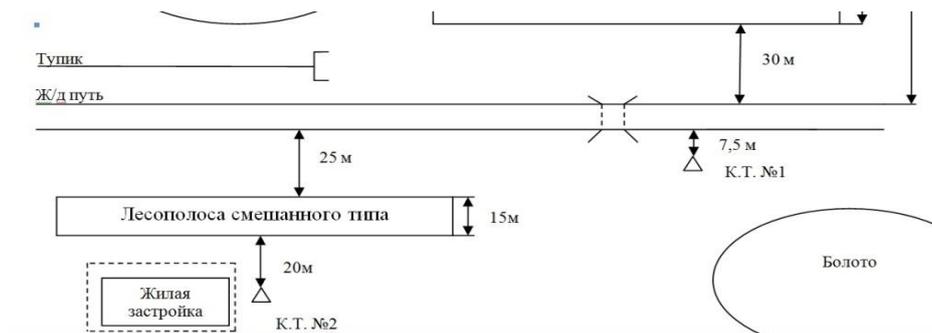


Рис. 1. Ситуационная карта-схема ПЧ-27 – Тайгинская дистанция пути.

Результаты измерений занесены в таблицу 1. Из таблицы видно, что допустимые нормы по эквивалентным и максимальным уровням звука в К.Т. №1 при движении товарного поезда превышены. При измерении в К.Т. №2 эквивалентные и максимальные уровни звука на территории жилой застройки снижены, но максимальный уровень звука не соответствует допустимым нормам [2].

Таблица 1. Результаты измерений уровня звука на территории прилегающей и жилой застройки.

Источник шума и место проведения измерений	Время суток	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентные уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
ПДУ	7-23ч	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
Фон	11 <sup>05</sup>	62,3	52,6	42,0	31,4	33,8	31,7	29,6	26,9	22,7	39,9	71,0
К.т. № 1	11 <sup>18</sup>	76,0	69,3	63,3	58,7	53,1	50,2	47,4	42,4	34,0	83,3	75,8
К.т. № 2	11 <sup>45</sup>	64,9	66,6	49,0	46,1	48,4	46,5	41,1	28,5	17,5	61,2	72,8

Из таблицы 1 видно, что шум в частотной полосе 600–20000 Гц (высокочастотный), проходя через лесополосу, существенно снижается, что нельзя сказать о низкочастотном шуме в частотной полосе 20–300 Гц. Это связано с тем, что низкочастотные звуковые волны имеют значительную длину волны, что обеспечивает лучшее преодоление звукопоглощающих препятствий.

Для выработки рекомендаций по снижению низкочастотных составляющих шума рассмотрим возможные источники его возникновения. Основными источниками внешнего шума вагонов являются: система «колесо-рельс», сцепные устройства и подвагонное оборудование вентиляции и кондиционирования. Последний из перечисленных источников вносит незначительный вклад в наружный шум поезда [3].

Шум взаимодействия колеса и рельса излучается вследствие того, что процесс качения вызывает вибрацию колесных дисков и рельсового пути. Каков бы ни был механизм, с помощью которого возбуждаются эти вибрации, в результате происходит распространение шума внутрь вагонов поезда и в сторону примагистральной территории.



Рис. 2. Третьоктавный спектр шума в примагистральной территории на расстоянии 25 м от пути с рельсами без волнообразного износа при прохождении поезда, оснащенного колодочными тормозами, со скоростью 160 км/ч (уровень звука 93дБА).

Анализ спектра шума, показанный на Рис. 2, в примагистральной территории при проходе поезда показывает наличие подъема в высокочастотной области из-за существенного вклада широкополосной доли шума. Можно полагать, что возбуждаются как резонансные формы

колебаний, так и широкополосные составляющие. Однако колесо и рельс могут колебаться с частотами ниже резонансных значений, но вибрации колесных дисков будут выше, чем рельсов, так как последние сильнее задемпфированы благодаря системе рельсовых креплений [4].

Очевидно, что неровности поверхности катания колеса и рельса существенно влияют на генерируемый шум. Этот шум проявляется при качении, а также при скольжении колеса в продольном и поперечном направлениях. Мгновенные значения динамических сил в системе «колесо-рельс» резко возрастают при волнообразном износе рельсов, на рельсовых стыках, неровностях острижков стрелочных переводов и крестовин. Помимо этого, при движении поезда происходят соударения автосцепных устройств в результате относительных боковых, вертикальных и продольных колебаний локомотива и вагонов. Шум, генерируемый работой автосцепных устройств, представляет собой нестационарный случайный импульсный процесс и вносит свой вклад во внешний шум на примагистральной территории [3].

Одним из основных факторов, влияющих на уровень шума подвижного состава в примагистральной территории, является скорость движения поезда. Чем выше скорость движения локомотива, тем сильнее происходит удар колёсной пары о стык рельса и соответственно будет выше уровень шума, помимо этого увеличится число таких ударов, что тоже приводит к усилению шума [3].

На Рис. 3 показана серия измерений, проведённых на расстоянии 25 метров от пути, для конкретного поезда в ряде точек. Для каждой точки принималось допущение о постоянстве качества пути [4].

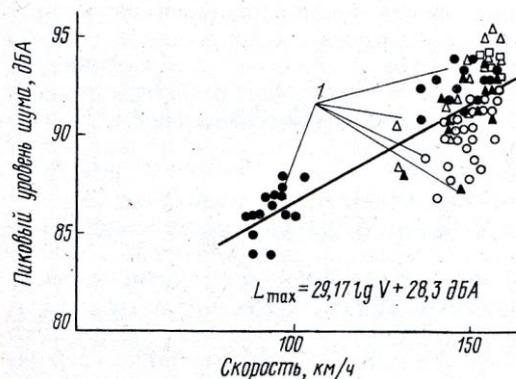


Рис. 3. Пиковый уровень шума пассажирских вагонов типа МкII в функции скорости движения на расстоянии 25 м от пути: 1- представительные данные, полученные из различных источников.

Так как основным источником внешнего шума поезда является система «колесо — рельс», генерирующая при движении шум качения, рассмотрим некоторые меры по снижению излучения шума этой системы. Методы снижения шума можно разделить на две большие группы:

- снижение шума в источнике шумообразования;
- снижение шума на пути распространения от источника до расчетной точки.

В таблице 2 представлен возможный уровень снижения шума, при проведении шумозащитных мероприятий [5].

Таблица 2. Меры по снижению внешнего шума поездов.

Мероприятия	Снижение
	УЗ, дБА
Обточка поверхности катания колес	5-10
Демпфирование колес	2
Снижение числа колесных пар	2
Применение дисковых тормозов	5-10
Применение колодок из композитных материалов	3-5
Уменьшение волнообразного износа рельсов	10-20
Установка резиновых прокладок под рельсами	1-5
Установка акустического экрана в виде фартука в подвижном составе	2-3
Устройство пути на балластном основании	2-5
Устройство пути в выемке глубиной от 2 до 10м	3-15
Установка бесстыкового пути	1-2
Установка акустических экранов (АЭ) вдоль железнодорожного пути	5-15

Анализ представленных в таблице 2 методов снижения шума от железнодорожного состава показал, что в нашем случае предпочтительно применение акустических экранов (АЭ). При этом экраны - фартуки, установленные на подвижном составе, представлены на Рис. 4. Они снижают внешний шум всего на 2—3 дБА из-за их недостаточной длины (по причине жестких ограничений на размеры подвижного состава).

Значительно больший эффект дают АЭ, размещенные вдоль железнодорожного пути. Эти экраны в зависимости от места установки бывают двух типов: 1) близко расположенные АЭ; 2) экранирующие сооружения, стоящие между железнодорожным полотном и защищаемым от шума зданием.

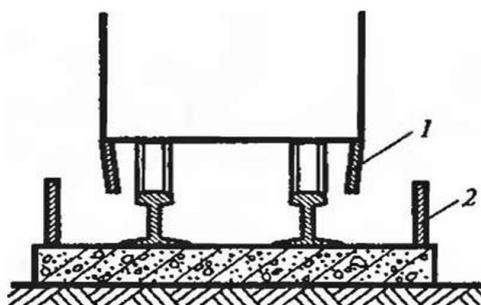


Рис. 4. Схемы акустических экранов: 1 — экран на подвижном составе; 2 — экран, устанавливаемый вблизи рельса.

Эффективность близко расположенных АЭ зависит от их высоты, наличия звукопоглощающей облицовки, места и способа установки, а также расположения точки наблюдения. Эффективность близко расположенных АЭ может достигать 8—11 дБА. Без облицовки звукопоглощающих материалов (ЗПМ) 7,8 дБА, без ЗПМ, но при закрытых зазорах между АЭ и основанием пути 9,5 дБА, с закрытыми зазорами и ЗПМ 10,9 дБА. Применение ЗПМ повышает их эффективность на 2—3 дБА [5].

Данные рекомендации были представлены руководству предприятия филиала ОАО «РЖД» Западно-Сибирская железная дорога – Центр охраны окружающей среды – Кузбасская лаборатория.

#### Список используемой литературы:

1. ГОСТ 23337–78 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий».
2. СН 2.2.4 / 2.1.8. 562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
3. Н. И. Зубрев, Н. А. Шарапова Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте: Учебное пособие. – М.: УМК МПС России, 1999. – 595 с.
4. В. Е. Тольский, Г. В. Бутаков, Б. Н. Мельников Шум на транспорте / пер. с англ. К. Г. Бомштейн. – М.: Транспорт, 1995. – 368 с.
5. Н. И. Иванов Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424с.

#### Анализ методов очистки воды г. Томска

*Т.И. Козулина, В.И. Копытин, Н.А. Чулков*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Состояние нашего здоровья во многом зависит от качества питьевой воды, которую мы употребляем каждый день. Даже в городах, где предусмотрена магистральная очистка воды от вредных примесей и метод хлорирования; где ведется контроль над ее качеством со стороны санитарно-эпидемиологических служб, к сожалению, ее качество оставляет желать лучшего. Что же тогда говорить о загородных домах, где чаще всего используется вода из артезианских скважин, колодцев, природных источников или дачных водопроводов. На сегодняшний день, существует огромное количество способов и технологий очистки воды, но не все из них настолько эффективны, как нам хотелось бы.

По цели очистки воды методы подразделяют на:

- улучшающие органолептические свойства воды, то есть свойства, воспринимаемые органами чувств человека: запах, привкус, окраска, мутность, температура, пленки;
- обеспечивающие ее эпидемиологическую безопасность;
- методы кондиционирования подземных вод;
- улучшающие ее газовый состав после удаления сероводорода, кислорода, метана, свободной углекислоты и других веществ;
- направленные на извлечение трудноокисляемой органики, вредных продуктов, образующихся попутно при обработке воды с помощью проведения процессов обратного осмоса, биосорбции, нанофильтрации и других.

К методам, улучшающим органолептические свойства воды, относят осветление, обесцвечивание и дезодорацию. Осветление воды предполагает удаление из нее взвешенных и коллоидных веществ. Осветление и обесцвечивание воды проводят с помощью метода коагуляции (закключающегося в добавлении в воду химического реагента (коагулянта), с целью дестабилизации взвешенных коллоидных частиц и их последующего хлопьеобразования), методов отстаивания и фильтрации (закключающейся в удалении взвешенного вещества из массы путем пропускания воды через слой пористого материала или через сетки с подходящим размером отверстий).

Эпидемиологическую безопасность воды обеспечивают с помощью методов хлорирования, озонирования, электроимпульсной обработки, ультрафиолетового облучения. В ходе предварительного хлорирования воды в нее добавляется хлор с целью прекращения роста бактерий, растений или животных организмов, окисления органического вещества, содействия флокуляции или уменьшения запаха. Метод электроимпульсной обработки основан на совместном действии природных окислителей (озон, радикалы ОН, атомарный кислород), УФ-излучения и электрокоагулянта, генерируемых в водо-воздушном потоке. Метод ультрафиолетового облучения основан на использовании ультрафиолетовых лучей для обеззараживания воды.

Более экологически чистым и эффективным является метод озонирования воды. Озонирование предполагает добавление озона к воде или сточным водам с целью дезинфекции, окисления органического вещества либо удаления неприятного вкуса или запаха. Озонирование дает возможность комплексной обработки воды и улучшает ее основные органолептические свойства (цветность, запах, привкус), а также освобождает воду от природных или внесенных в нее промышленных органических веществ. Кроме того, озон, в отличие от хлора, не образует канцерогенных органических соединений и обладает наибольшим обеззараживающим свойством против возбудителей вирусных заболеваний и споровых форм, в точности устойчивых к хлору. Озонирование воды разрушает органические вещества, способствующие развитию микроорганизмов. Правильно подобранные дозы озона позволяют удалять из воды фенолы, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, сернистые соединения, сероводород, окисляет двухвалентное железо. Наконец, при озонировании пестицидов происходит дезодорация с одновременным глубоким разрушением исходных соединений. Недостатком метода озонирования является то, что из-за нестойкости озон не может поддерживать бактерицидное состояние в течение длительного времени, и поэтому необходимо исключить попадание загрязнений в очищенную воду, что реально только на коротких водопроводных сетях. Для использования метода озонирования необходимо, чтобы водопроводы были выполнены из полимерных труб. Кроме того, нужно отметить, что технология озонирования требует значительных первичных денежных затрат по сравнению с другими методами очистки воды, но она окупается в течение 5-8 лет, так как не требует дополнительных затрат на реагенты.

К методам кондиционирования подземных вод относятся умягчение, обессоливание и опреснение, дегазация, обезжелезивание и деманганация, фторирование и обесфторирование, обескремнивание и некоторые другие методы. Умягчение воды имеет целью снижение жесткости воды посредством удаления из нее ионов кальция и магния.

Обессоливание воды предполагает снижение концентрации растворенных в воде солей до заданной величины. Обессоливание состоит в удалении солей из воды для того, чтобы она стала пригодной в качестве питьевой, технологической или охлаждающей. Опреснение-снижение в воде концентрации солей до состояния ее пригодности для питья. Опреснение может осуществляться перегонкой соленой воды в опреснителях с последующей конденсацией пара, вымораживанием и другими способами.

К специальным методам улучшения качества воды относятся фторирование, обесфторирование, обезжелезивание, дезодорация.

По характеру протекания процессов методы очистки воды делятся на химические, физико-химические и биологические. При химических процессах осуществляется введение химического реагента в обрабатываемую воду и осаждение примесей, протекают реакции нейтрализации, окисления и восстановления. При физико-химических процессах удаляются взвешенные и коллоидные вещества (коагуляция и флокуляция, осаждение и осветление, флотация, фильтрование), растворенные вещества (мембранная сепарация, адсорбция, ионный обмен). Биологические процессы протекают при аэробной и анаэробной обработке воды и характеризуются бактериальным окислением – восстановлением.

Различают также методы очистки воды по отдельным процессам извлечения или снижения концентрации примесей. Например, методы умягчения воды подразделяются на термический, реагентный, ионообменный, диализный и комбинированный; методы обессоливания воды – на ионообменный, мембранный (обратный осмос и электродиализ) и дистилляцию. В основу методов дегазации положен принцип воздействия на обрабатываемую воду (физический, химический, биохимический и сорбционно-обменный). Стабилизационная обработка воды зависит от знака и значения индекса стабильности и может осуществляться реагентным, фильтрационным методами и аэрацией. В настоящее время из общего количества сточных вод механической очистки подвергается 68% всех стоков, физико-химической - 3%, биологической - 29%. В перспективе предполагается повысить долю очистки биологическим методом до 80%, что улучшит качество очищаемой воды.

Качество питьевой воды города Томска. Технологии очистки воды (обезжелезивание и хлорирование) - залог безопасности. Томский артезианский подземный водозабор является одним из крупнейших в России инженерных сооружений подобного типа (в него входят 198 эксплуатационных скважин, расположенных на 3-х линиях, связанных подземным водоводом протяжённостью более 60 км, станция водоочистки и обеззараживания воды).

Система водоподготовки (очистки воды) Томского подземного водозабора включает традиционный процесс обезжелезивания по методу упрощённой аэрации с последующим фильтрованием через скорые фильтры. Для обеззараживания применяется хлорирование. Как следует из доклада сотрудников Центра гигиены и эпидемиологии в Томской области (А.В. Шихина, О.Б. Перова, Т.С. Прокопчука и В.П. Фёдоровой) "Качество питьевой воды города Томска", эффективность системы очистных сооружений составляет до 95%.

Неудовлетворительные органолептические показатели (включая содержания железа и марганца) наблюдаются в микрорайонах, которые пользуются другими водисточниками. Это наблюдается в посёлках Степановка, Аникино, Басандайка, Нижний Склад, Лоскутово, Тимирязево, Дзержинского, где на местных артезианских скважинах водоочистные установки попросту отсутствуют. Контейнерные станции обезжелезивания пока лишь планируются к внедрению для нецентрализованного водоснабжения.

В Томске выбрано 24 точки контроля воды (именно столько положено для полумиллионного города), которые расположены в тупиковых участках сети, где вода движется только в одном направлении — до конца ветки, так как там показатели должны быть наихудшими. Точки контроля находятся на водоразборных колонках, в квартирах брать каждый день воду на анализ просто невозможно. Вода проверяется по пятидесяти химическим и микробиологическим показателям в аккредитованной лаборатории «Томскводоканала». Содержание остаточного хлора воду проверяют ежедневно. При допустимой норме в 0,3-1,2 миллиграммов на дециметр кубический в томской воде содержится всего 0,4. На такой показатель удалось выйти в прошлом году, когда «Томскводоканал» реализовал проект по техническому перевооружению системы обеззараживания питьевой воды: на смену газообразному хлору пришел гипохлорид натрия. В Москве окончательный переход на такую же систему обеззараживания воды состоится только в сентябре этого года.

#### **Список используемой литературы:**

1. УДК 614.777 (470) Научные труды "Региональные проблемы качества воды и сохранения здоровья населения", выпуск 21, – Липецк, 2009, – 346 с.
2. <http://gorgaz.tomsk.ru/2012/08/ona-zhe-iz-pod-krana-2/>
3. [http://www.o8ode.ru/article/planetwa/mere/metody\\_o4ictki\\_vody.htm](http://www.o8ode.ru/article/planetwa/mere/metody_o4ictki_vody.htm)
4. <http://www.a-geizer.ru/art/ultrafiolet-voda.html>

## Исследование загрязнения города Томска автотранспортом

*Е.В. Кузьмина, М.О. Третьякова*

*Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

*E-mail: [evk5@tpu.ru](mailto:evk5@tpu.ru)*

Трудно сейчас представить себе какую-либо отрасль народного хозяйства или вид деятельности населения без использования грузового, легкового автомобиля или автобуса. С каждым годом количество автотранспорта растет, а, следовательно, растет содержание в атмосферном воздухе вредных веществ. Наряду с преимуществом, которое обеспечивает обществу автотранспорт, его прогресс сопровождается негативными последствиями - отрицательным воздействием на окружающую среду и человека. Автомобильный транспорт является источником загрязнения атмосферного воздуха примерно такой же мощности, как энергетическая отрасль или суммарно все другие отрасли хозяйства. Мировой ежегодный выброс вредных веществ от автомобилей составляет 50 млн.т. углеводородов, 200 млн.т. оксида углерода и 20 млн.т. оксидов азота. Поглощая столь необходимый для жизни кислород, он интенсивно «обогащает» воздушную среду токсичными компонентами, наносящими вред всему живому и неживому. Поскольку основная масса автомобилей сконцентрирована в крупных городах, воздух этих городов не только обедняется кислородом, но и загрязняется вредными компонентами отработавших газов.

В данной работе исследована проблема воздействия автотранспорта на состояние окружающей среды.

### **Актуальность проблемы:**

- Загрязнение атмосферного воздуха выхлопами автотранспорта, ведущее к образованию смога;
- Негативное влияние выхлопных газов на здоровье человека;
- Выхлопные газы пагубно сказываются на произрастании растений.

**Цель работы:** Определение степени загрязнения воздуха города Томска отработанными газами автотранспорта.

### **Задачи работы:**

- 1) Определение наиболее загрязненных районов города Томска методом биоиндикации;
- 2) Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода;
- 3) Сделать общий вывод о степени загрязненности воздуха города Томска отработанными газами автотранспорта.

На дороги ежедневно выезжают миллионы автомобилей, и каждый из них - источник загрязнения воздуха. Отработанные газы автомобилей с бензиновым двигателем более чем на 70% состоят из азота и на 13% из водяного пара и не являются опасными. Около 11% выхлопных газов приходится на углекислый газ, который сам по себе также не является вредным для здоровья. Однако его постоянное накопление в атмосфере приводит к изменению ее состава, что, в свою очередь, вызывает долговременные климатические изменения. Оставшиеся 6% выхлопов как раз и содержат наиболее вредные соединения: окись углерода, окись азота и серы, углеводороды, альдегиды, сажа, а также свинец и различные его соединения. Под влиянием вредного воздействия автомобильного транспорта ухудшается здоровье людей, отравляются почвы и водоёмы, страдает растительный и животный мир. Давно подмечено разрушительное влияние загрязненного воздуха на растительный мир. Наиболее вредным для растений является сернистый газ, или двуокись серы. Накапливаясь в растениях, сернистый газ вызывает угнетение растительных клеток, в следствии чего листья желтеют, опадают, и растения погибают. Нефтяные пятна, сколь радужные в лучах солнца, столь и опасные в повседневной жизни, покрывают поверхность вод рек, морей и океанов. Что особенно опасно, бензин, дизельное топливо, мазут, смываемые дождевыми потоками с поверхности дорог, попадают в грунтовые воды, которые, как известно, и служат основным источником питьевой воды для людей. Опасность такого компонента в питьевой воде трудно переоценить для всего живого на Земле.

### **Метод биоиндикации. Основные понятия.**

Биоиндикация - системы наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды на определенной территории с целью рационального использования природных ресурсов и охраны природы. Биоиндикационные методики оценки состояния природной среды достаточно просты, и могут применяться в экологическом практикуме студентов и выполняться ими самостоятельно, составляя основу их исследовательской деятельности.

Биоиндикатор - экологический вид, который имеет узкую амплитуду экологической толерантности по отношению к какому - либо фактору. Большею частью это растения - организмы, не способные к активному перемещению.

Кресс-салат - однолетнее овощное растение, обладающее повышенной чувствительностью к загрязнению почвы, а также к загрязнению воздуха газообразными выбросами автотранспорта. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей.

**Экспериментальный этап «Определение наиболее загрязненных районов города Томска методом биоиндикации».**

**Цель:** Используя метод биоиндикации определить наиболее загрязненные районы города Томска. Для проведения эксперимента были взяты пробы снега из следующих районов города: загородная трасса (район Тимирязево), близ жилых домов (Кирова 2), остановка «ТЭМЗ», лес в районе Тимирязево. В качестве эталона была взята водопроводная вода. Далее, растаявший снег использовался для поливки семян рассаженных в одинаковых стаканах.

В результате проведенного эксперимента можно сделать следующий вывод – только на трети сутки начали прорастать семена в районе остановки «ТЭМЗ» и количество проросших семян в данном образце минимален. Следовательно, можно сказать, что в данном районе снег является наиболее загрязненным. Это можно объяснить тем, что вблизи данного района проходит большое количество автотранспорта. Наиболее чистым районом, опираясь на результаты эксперимента, можно назвать район «Лес(поселок Тимирязево)». Такие результаты оправданны тем, что вблизи данного района нет скопления большого количества автотранспорта.



Рис.1. «Проросшие семена на трети сутки эксперимента».

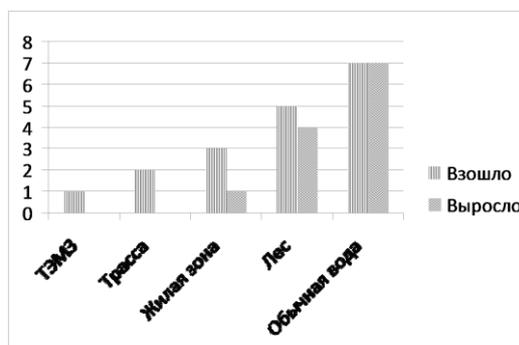


Диаграмма 1. «Количество проросших семян в различных районах города Томска».

**Расчетный этап «Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода»**

**Цель:** Рассчитать по формуле концентрацию окиси углерода в центральном районе города Томска»

Формула оценки концентрации окиси углерода ( $K_{CO}$ ):

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N * K_T) * K_A * K_U * K_C * K_B * K_P, \text{ где:}$$

**0,5** – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м<sup>3</sup>,

**N** – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автом./час,

**K<sub>T</sub>** - коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода,

**K<sub>A</sub>** - коэффициент, учитывающий аэрацию местности,

**K<sub>U</sub>** – коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона,

**K<sub>C</sub>**– коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра,

**K<sub>B</sub>**- коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха,

**K<sub>P</sub>**- коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Далее основываясь на таблицы выбираем коэффициенты и подставляем в формулу.

**Вывод:** Результаты расчета приведены в таблице.

ПДК выбросов автотранспорта по окиси углерода равно 5 мг/м<sup>3</sup>

- В районе Иркутского тракта концентрация CO превышена в 2,5 раза;
- В районе ул. Ленина концентрация CO превышена в 3,4 раз;
- За городом концентрация CO превышена в 1,5 раза.

Таким образом, в настоящее время в России существует серьезная проблема негативного воздействия на окружающую среду элементов автотранспортного комплекса, уже находящихся на

этапе практической эксплуатации. И ее нужно решать. Вот почему нужно стимулировать создание безопасных, экологически чистых и экономичных автомобилей. Одновременно необходимы экономические механизмы продвижения новых моделей на рынок, создание платежеспособного спроса на них. Поэтому ученые и специалисты всего мира усиленно ищут пути и средства снижения отрицательных последствий автомобилизации.

Таблица 1. «Результаты расчетов концентрации окиси углерода».

Район г.Томска	N, автом./час	Kco
Иркутский тракт	1560	12.56
Ул.Ленина	2145	17.09
Загородная трасса (от Томска до аэропорта)	906	7.4

В целях соблюдения эколого-экономического баланса целесообразно разработать систему мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха.

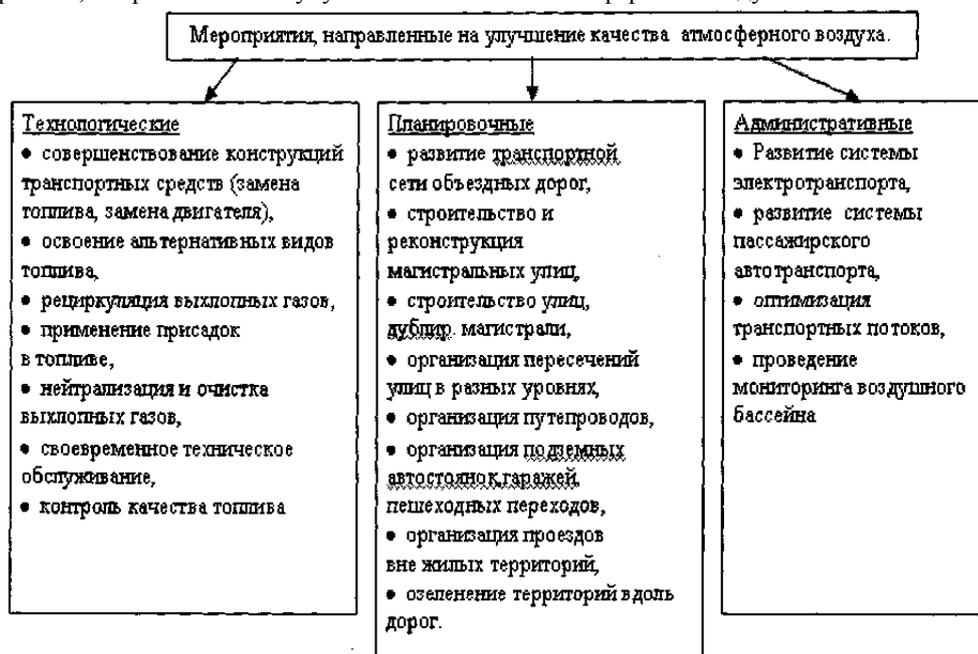


Рис. 2. «Система мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха».

Количество некоторых вредных веществ в составе выбросов поддается регулировке и может быть сведено к минимуму за счет совершенствования конструкции двигателей, внедрения систем нейтрализации. В то же время двуокись углерода (CO<sub>2</sub>) является неотъемлемой частью продуктов сгорания, и бороться с ней возможно только путем повышения качества моторного топлива. В настоящее время одним из путей повышения экологичности автотранспорта является его перевод на природный газ. Что обеспечит сокращение вредных выбросов в окружающую среду двигателями автомобиля. Таким образом, только комплексное выполнение технологических, планировочных, организационно-технических мероприятий может привести к улучшению качества окружающей среды.

**Список используемой литературы:**

1. Гук Г.А. Воздействие автотранспортного комплекса на экологию / Г.А.Гук, А.В.Богачев. – Майкоп, 2007.– С.10.
2. Гурьянов Д.И. Экологически чистый транспорт: направления развития /Д.И.Гурьянов // Инженер, технолог, рабочий. - № 2. - 2001. - С. 12-14.

3. Давыдова С.П. Автотранспорт продолжает загрязнять окружающую среду //ЭКиП. – 2000.– № 7. – С. 40-41.
4. Ясенков Е.П. Элементы автотранспортного комплекса и их воздействие на окружающую среду / Е.П.Ясенков //Автомобильная промышленность. – 2007. – № 8. - С. 42.

УДК 628.315

### **Анализ работы ЗАО «Городские очистные сооружения»**

*Д.Ю. Овдиенко, О.Б. Назаренко*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*E-mail: obnaz@mail.ru*

Проведен анализ работы очистных сооружений г. Томска, выделены причины низкой эффективности очистки. Обозначены пути решения, которые позволят повысить качество работы очистных сооружений и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Основным видом деятельности предприятия ЗАО «Городские очистные сооружения (ГОС)» является очистка промышленных и бытовых сточных вод. На очистку принимаются производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды г. Томска («Томскводоканал»), ООО «Томскнефтехим» и «ТЭЦ-3». Продукцией предприятия являются биологически очищенные сточные воды.

В данной работе проведен анализ эффективности работы очистных сооружений ЗАО «ГОС», выделены основные проблемы и намечены возможные пути их решения.

Первая очередь канализационных очистных сооружений (КОС) была запущена как один из цехов Томского нефтехимического комбината в 1982 г. В 1994 г. сооружения переданы в состав муниципальной собственности Томска. КОС эксплуатируются ЗАО «ГОС» по договору аренды. Проектная производственная мощность очистных сооружений составляет 220 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

Сточные воды, поступающие на очистные сооружения, последовательно проходят процессы механической и биологической очистки, затем после доочистки и обеззараживания сбрасываются в реку Томь.

Анализ материалов лабораторного контроля работы очистных сооружений (табл. 1) свидетельствует о неудовлетворительной очистке от биогенных веществ: после очистки наблюдается многократное увеличение нитритов и нитратов, эффективность очистки от фосфатов не достигает и 30 %.. Поступление в природные водоемы со сточными водами биогенных веществ в концентрациях, превышающих предельно-допустимые, вызывает в них нарушение естественного равновесия, в частности, их эвтрофикацию. Низкая эффективность очистки имеется также по тяжелым металлам, хлоридам, сульфатам. Кроме того, из данных табл. 1 следует вывод о том, что эффективность очистки за период 2007–2009 гг. по большинству компонентов снизилась. Фактические показатели эффективности работы очистных сооружений объясняются изменением качественных и количественных характеристик сточных вод, поступающих на очистку, изношенностью технологического оборудования и несвоевременной корректировкой технологического режима.

Биологически очищенные сточные воды перед сбросом в реку Томь подвергались обеззараживанию раствором гипохлорита кальция (хлорной водой). Эффективность обеззараживания с помощью хлора составляет 70 %, при этом существует риск возникновения мутагенных и канцерогенных веществ в воде. Еще программой развития канализационных очистных сооружений города Томска на 2008 год была запланирована разработка новой системы обеззараживания с помощью ультрафиолета. Ультрафиолетовая очистка позволила бы обеспечить более высокую эффективность и исключить возможность образования указанных веществ. Однако в настоящее время предприятие осуществило лишь переход на другое дезинфицирующее средство – «ДЕЗАВИД концентрат». «ДЕЗАВИД концентрат» содержит в своём составе в качестве действующих веществ полигексаметиленгуанидин гидрохлорид (ПГМГ-ГХ) 42,2 мас. % и алкилдиметилбензиламмоний хлорид 7,8 мас. % и используется в виде 6,4%-ого водного раствора. После сброса сточных вод в водный объект, обеззараженных с помощью средства «ДЕЗАВИД концентрат» концентрация средства в воде не должна превышать 0,03 мг/л по ПГМГ-ГХ.

В ходе технологического процесса очистки сточной воды образуются следующие твердые и жидкие отходы: избыточный активный ил, песок из песколовок, сырой осадок из первичных

отстойников, плавающие вещества из первичных отстойников. Состав и характеристика жидких и твердых отходов представлены в табл. 2.

Этап обезвоживания осадка на очистных сооружениях не предусмотрен. По существующей технологии отходы (сырой осадок из первичных отстойников и избыточный активный ил из вторичных отстойников) направляются на хранение в илонакопители, рассчитанные на заполнение в течение 10 лет. Из имеющихся на очистных сооружениях трех илонакопителей в настоящее время два заполнены полностью, а третий – на 90 %.

**Таблица 1.** Эффективность работы очистных сооружений за 2007–2009 гг.

Показатель	2007 г.			2008 г.			2009 г.		
	Свх, мг/л	Свых, мг/л	Э, %	Свх, мг/л	Свых, мг/л	Э, %	Свх, мг/л	Свых, мг/л	Э, %
Фосфаты (Р)	3,5	2,49	29	3,5	2,57	27	3,0	2,39	20
Нитриты	0,11	0,294	0	0,11	0,48	0	0,042	0,46	0
Нитраты	1,32	64,6	0	1,2	55,54	0	0,61	51,38	0
Азот аммонийный	22,1	1,89	91,4	24,3	2,4	90	22,8	1,9	92
Взвешенные	163,0	9,29	94,3	169,0	10,06	94	152	9,9	93
Нефтепродукты	3,2	0,32	90	3,7	0,35	90,5	4,0	0,36	91
Хлориды	57,6	48,07	16,5	55,9	48,92	12,5	52,6	51,9	1,3
Алюминий	0,14	0,069	50,7	0,094	0,044	53	0,073	0,05	31,5
Цинк	0,036	0,0061	83	0,084	0,0059	93	0,049	0,0068	86
Свинец	0,0043	0,0017	60,5	0,0037	0,003	19	0,0006	0,00039	35
Медь	0,014	0,00215	85	0,0022	0,00143	35	0,0098	0,0019	81
Никель	0,0	<0,08	0	0,0	<0,08	0	0,0	<0,08	0
Фенолы	0,077	<0,001	100	0,072	<0,001	100	0,063	<0,001	98
Сульфаты	89,6	35,62	60,2	89,7	23,54	74	49	40,9	16,5
Бензол	0,29	<0,0125	100	0,50	0	100	0,26	0	100
Железо	1,71	0,367	79	1,9	0,367	81	3,2	0,47	85
Хром +6	0	<0,01	0	0	<0,01	0	0	<0,01	0
БПКп	54,4	7,18	87	77,2	9,4	88	162,4	8,6	95

$S_{вх}$  – концентрация на входе в очистные сооружения;  $S_{вых}$ , – концентрация на выходе;  
Э – эффективность очистки.

**Таблица 2.** Характеристика жидких и твердых отходов

Наименование отходов	Количество отходов, кг/сут	Влажность, %
Избыточный активный ил	14036	99
Песок (в виде пульпы)	3496	65
Осадок из первичных отстойников	6640	93
Плавающие вещества	356	80

Проблему удаления сырого осадка и избыточного активного ила необходимо срочно решать, т. к. после заполнения третьего илонакопителя очистные сооружения должны быть остановлены. По оценке специалистов ЗАО «ГОС» третий илонакопитель будет полностью заполнен в течение 2–3 лет.

Таким образом, можно выделить следующие проблемы в работе предприятия ЗАО «ГОС»: заполнение илонакопителей и низкая эффективность очистки сточных вод. Эти проблемы объясняются высокой степенью износа оборудования очистных сооружений, которая составляет 83 %; увеличением объема стоков, вызванного ростом численности городского населения; изменением характера и качества стоков, т. к. практически перестали действовать локальные системы очистки промышленных предприятий.

Для решения этих проблем необходима поэтапная замена изношенного и морально устаревшего оборудования на новое оборудование, отвечающее современным требованиям энергосбережения, модернизация технологической сети биологически очищенных стоков, строительство цеха механической очистки осадка сточных вод.

На решение задачи реконструкции и модернизации очистных сооружений направлена Инвестиционная программа по развитию системы очистных сооружений в городе Томске, эксплуатируемой ЗАО «Городские очистные сооружения», на период 2012–2014 гг. Целью программы является повышение качественной и надёжной работы очистных сооружений, а также минимизация негативного воздействия на окружающую среду. Для достижения целей программы предполагается решить следующие задачи:

1. Строительство цеха механического обезвоживания осадка сточных вод;
2. Модернизация технологической сети биологически очищенных стоков, доведение фактической мощности очистных сооружений г. Томска до 220 тыс. м<sup>3</sup> в сутки.

В результате выполнения программы будет увеличена пропускная способность системы очистных сооружений и созданы условия для подключения строящихся (реконструируемых) объектов недвижимости к системам водоотведения с общей подключаемой нагрузкой 270 м<sup>3</sup> в час.

УДК 614.8.084

### **Эвакуация, прием и размещение населения Томского района в военное время**

***А.А. Семенова, А.А. Сечин***

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

***E-mail: queenofspades13@mail.ru***

Рассмотрена организация, подготовка и проведение эвакуации, приема и размещения населения Томского района в условиях мирного и военного времени. Отражены вопросы отправки (эвакуации), приема и размещения эвакуанаселения. Представлены основные задачи СЭП и ПЭП. Рассмотрено транспортное обеспечение эвакуационных мероприятий и численность эвакуанаселения, а также организация управления, оповещения и связи в ходе эвакуации.

Практика современной жизни говорит о том, что население всё чаще подвергается опасностям в результате стихийных бедствий, аварий и катастроф в промышленности и на транспорте, а также в результате военных действий.

Эвакуация населения – это комплекс мероприятий по организованному вывозу всеми видами имеющегося транспорта и выводу пешим порядком населения из городов и населенных пунктов и размещению его в загородной зоне.

В первую очередь за эвакуацию отвечают председатели районных государственных администраций. Кроме того, проведение эвакуации предусматривается и планируется на предприятиях, в учреждениях, организациях независимо от форм собственности и подчиненности. Каждый из перечисленных органов управления планирует мероприятия по эвакуации с территории объекта или административно-территориальной единицы – поселка, села, района, города и т.д. На каждом объекте назначается эвакуационная комиссия. В состав комиссии входят должностные лица, которые занимаются транспортным обеспечением, обеспечением населения продуктами питания, обеспечением жилищного фонда и т.д.

Отправка (эвакуация), прием и размещение эвакуанаселения. Основанием для принятия решения на проведение эвакуации является наличие угрозы жизни и здоровью людей, оцениваемой по заранее установленным для каждого вида опасности критериям.

Право принятия решения на проведение эвакуационных мероприятий принадлежит руководителям (начальникам ГО) органов исполнительной власти объектов РФ, органов местного самоуправления, на территории которых возникла или прогнозируется опасность.

Томский район расположен в юго-восточной части Томской области и представляет собой часть Западно-Сибирской низменности. Томский район граничит с Кожевниковским, Шегарским, Кривошеинским, Асиновским и Зырянским районами Томской области, на юге – с Новосибирской и Кемеровской областями. Площадь территории – 10024 кв.км. В расположенном вблизи областного центра экономически важном районе области сосредоточены основные предприятия агропромышленного комплекса. Население района в основном занято сельскохозяйственным производством.

На 1 января 2011 года административно-территориальное устройство территории Томского района состояло из 19 сельских поселений, 126 сельских населенных пунктов.

При объявлении эвакуации, на территории района разворачиваются сборные и приемные эвакуационные пункты во всех сельских округах.

Всего в Томском районе создано: 24-сборочных эвакуационных пункта (СЭП) и 9-приемных эвакуационных пунктов (ПЭП).

Сборные эвакуационные пункты (СЭП) создаются постановлением Главы города на базе предприятий и учреждений, предназначаются для сбора и учета эвакуируемого населения, организованной отправки его в безопасный район (место) или загородную зону.

Сборные эвакуационные пункты располагаются в зданиях общественного назначения вблизи пунктов посадки на транспорт и в исходных пунктах маршрутов пешей эвакуации.

К основным задачам СЭП относятся:

- поддержание связи с эвакуационной комиссией города, объектами, приписанными к СЭП, транспортными органами, исходными пунктами маршрутов пешей эвакуации, информирование их о времени прибытия населения на СЭП и времени отправления его на промежуточный пункт эвакуации.
- регистрация прибывающего населения, распределение его по видам транспорта и отправка на пункты посадки.
- контроль за своевременной подачей транспортных средств и организацией отправки эвакуируемого населения на ППЭ.
- ведение учета эвакуируемого населения, вывозимого всеми видами транспорта и выводимого пешим порядком и представление об этом сведений в ОЭК и ГЭК (по времени, объектам и видам транспорта)
- организация оказания доврачебной медицинской помощи заболевшим во время нахождения их на СЭП.
- обеспечение соблюдения эвакуируемым населением общественного порядка и укрытие его в защитных сооружениях по сигналам гражданской обороны.
- Объем работы и порядок действий личного состава СЭП определяются функциональными обязанностями, разрабатываемыми органом по делам ГО и ЧС совместно с председателем эвакуационной комиссии.

Сборочные эвакуационные пункты находятся в таких населенных пунктах как: с. Лучаново, г. Томск, п. Мирный, с. Воронино, с. Семилужки, п. Рассвет, п. Копылово, с. Корнилово, с. Кафтанчиково, с. Тахтамышцево, д. Кисловка, п. Зональная Станция (2 шт.), с. Зоркальцево, д. Нелюбино, д. Поросино, д. Петрово, с. Моряковский Затон (2 шт.), с. Рыбалово, с. Александровское, с. Малиновка, п. Молодежный, с. Октябрьское.

Приемный эвакуационный пункт – место в районах выгрузки (высадки), куда прибывает эвакуируемое население для временного или постоянного размещения. Приемные эвакуационные пункты создаются в сельском округе по решению суженного заседания муниципалитета Томского района, которые принимают эвакуируемое и рассредоточиваемое население. Основными задачами ПЭП являются:

а) в мирное время:

- участие в разработке совместно с административными, хозяйственными органами и отделом ГОЧС района плана приема и размещения эвакуируемого населения в загородной зоне;
- определение места развертывания (дислокации) ПЭП;
- организация подготовки личного состава ПЭП к практической работе по назначению;
- разработка документов на личный состав ПЭП их учет и хранение;

б) с получением распоряжения о проведении эвакуации:

- руководство работой личного состава ПЭП по выполнению поставленных задач;
- организация встречи автомобильных колонн, эвакуационных эшелонов (поездов), их регистрация, вывоз (вывод) эвакуируемого населения с ПЭП и его размещение по домам и квартирам в приписанных населенных пунктах;
- размещение объектов экономики согласно расчета размещения эвакуируемого населения и объектов экономики городов (городских районов) по населенным пунктам;
- согласование с эвакуационной комиссией района графиков движения транспортных средств, его выделение автохозяйствами сельского района;
- организация оказания медицинской помощи заболевшим из числа прибывшего эвакуируемого населения;
- обеспечение поддержания общественного порядка в районе ПЭП и укрытие населения, находящегося на ПЭП по сигналам гражданской обороны;

- своевременные доклады в эвакуационную комиссию района о времени прибытия, количестве прибывшего эвакуанаселения и отправке его в конечные пункты размещения;
- при необходимости своевременная выдача средств индивидуальной защиты населению.

Приемные эвакуационные пункты находятся в таких сельских поселениях как: с. Богашево, д. Верхнее-Сеченово, с. Итатка, с. Калтай, д. Кандинка, с. Коларово, с. Курлек, с. Новорождественка, с. Турунтаево.

Для эвакуации населения используется автотранспорт предприятий, организаций и учреждений всех форм собственности муниципального образования «Томский район».

Работа транспорта в ходе эвакуации населения предполагает различные схемы его возможного использования:

- доставка населения от мест жительства к СЭП;
- доставка населения от СЭП к ППЭ;
- доставка населения от ППЭ к ПЭП;
- доставка населения от ПЭП к местам размещения.

Функционирование городского транспорта при осуществлении эвакуации организуется по уплотненным графикам движения с перераспределением транспортных средств по маршрутам эвакуационных перевозок, назначением дополнительных маршрутов.

Используется 42 единицы автотехники для эвакуации Томского района, в том числе – автобусов 27 единиц; грузовых – 13 единиц; самосвалов – 2 единицы.

Для вывоза населения (а это 48414 человек) в безопасную зону необходимо совершить 6 рейсов на грузовой автотехнике и 9 рейсов на автобусах. Осуществить эвакуацию планируется в течении 24 часов.

Связь осуществляется по телефонам эвакуационных комиссий сельских округов, СЭПов, ПЭПов, а также по ведомственным каналам связи РОВД, МСГО. Эвакуация считается завершенной, когда все подлежащее эвакуации население будет вывезено (выведено) за границы зоны действия поражающих факторов источника ЧС в безопасные районы.

Основные выводы заключаются в следующем, определили основные задачи сборочных эвакуационных пунктов и приемных эвакуационных пунктов, их нахождения и кем они создаются. Выяснили, сколько автотехники потребуется для эвакуации населения Томского района, и какое максимальное время выделяется на проведение эвакуационных мероприятий, а также численность эвакуируемого населения.

#### **Список использованной литературы**

1. Руководство по планированию и организации эвакуации населения при ЧС. М., ВНИИ ГОЧС, 1994
2. Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12. 02.1998 г. № 28-ФЗ.
3. Руководство по эвакуации населения в ЧС природного и техногенного характера. М., ВНИИ ГОЧС, 1996
4. Руководство по организации, планированию, обеспечению и проведению эвакуации населения в военное время. М., МЧС, 1997

УДК 502.174

#### **Извлечение энергии из пластмассовых отходов**

*Л.В. Супрун, Т.С. Цыганкова*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

*e-mail: [tsygankovats@tpu.ru](mailto:tsygankovats@tpu.ru)*

Постоянный рост производства пластмасс и расширяющаяся сфера их применения в различных отраслях техники, большие объемы пластмассовой продукции на потребительском рынке, быстрый переход пластмассовой продукции (особенно упаковки различных видов) в категорию отходов при одновременном росте стоимости их захоронения, существенное загрязнение пластмассовыми отходами окружающей среды (в естественных условиях эти отходы не разлагаются и не разрушаются в течение многих десятилетий) выступают предпосылками их вовлечения в промышленную переработку и утилизацию.

Использование пластмассовых отходов как вторичного сырья позволяет экономить ценное первичное сырье и энергию. Вторичные полимерные материалы должны играть в производстве пластмасс такую же роль, какую играет металлолом в металлургии [1].

Проблем, связанных с утилизацией полимерных отходов, достаточно много. Они имеют свою специфику, но их нельзя считать неразрешимыми. Однако решение невозможно без организации сбора, сортировки и первичной обработки амортизованных материалов и изделий; без разработки системы цен на вторичное сырьё, стимулирующих предприятия к их переработке; без создания эффективных способов переработки вторичного полимерного сырья, а также методов его модификации с целью повышения качества; без создания специального оборудования для его переработки; без разработки номенклатуры изделий, выпускаемых из вторичного полимерного сырья [2].

Количество пластиковых отходов на сегодняшний день настолько велико, что ученые уже думают не только над тем, как утилизировать пластмассу, но и над тем, как делать это с максимальной выгодой. Идея получения энергии от сжигания пластика не нова, и способов ее реализации существует немало. Но проблема экологичности процесса по-прежнему остается актуальной – сгорание пластмассы неизбежно сопровождается выбросом в атмосферу вредных веществ.

Однако, по всей видимости, в ближайшее время эта проблема будет устранена благодаря изобретению профессора Янниса Левендиса и группы студентов Северо-Восточного университета. Ученые сконструировали специальную камеру сгорания отходов, опытный образец которой был представлен на пятой ежегодной конференции по энергетике MIT в марте 2010 года.

Секрет устройства заключается в специальном двойном резервуаре. Сначала пластиковые отходы обрабатываются в верхней части резервуара, при этом твердые материалы превращаются в газ в результате пиролиза. Полученный газ отправляется в нижнюю часть резервуара, где он сжигается вместе с окислителями. В результате горения выделяются тепло и пар, при этом тепло используется для поддержания горения в камере, а пар – для выработки электроэнергии.

Опытный образец, представленный разработчиками, обладает небольшими размерами, но ученые утверждают, что устройство можно масштабировать до размера крупной электростанции. Согласно некоторым расчетам группы разработчиков, новая технология получения электроэнергии способна заменить до 462 миллионов галлонов нефти только в Соединенных Штатах, при условии, что будут использованы все пластиковые отходы. А если посчитать количество пластиковых отходов во всем мире, то эта цифра будет весьма впечатляющей [3].

Из-за сложности и многообразия природы пластмасс, а также вследствие того, что многие изделия невелики по размерам и легковесны, механическая переработка может быть экологически и экономически оправдана (то есть она эко-эффективна) только для некоторой доли крупногабаритных изделий. Поэтому полимерная, упаковочная, автомобильная и т. д. индустрии работают совместно на европейском, национальном и двухсторонних уровнях вместе с другими партнерами над разработкой всего диапазона вспомогательных процедур восстановления. Например, проведены экологические сопоставления различных способов переработки и восстановления для упаковочного сектора полимерного рынка. Результаты этих исследований показывают, что высокоэффективная рекуперация энергии может быть с точки зрения воздействия на окружающую среду идентична переработке материала, если реальный коэффициент замещения составляет 1,2—1,4 кг вторичного продукта на один кг оригинального материала. Дэнписон и Мэнникен представили информативный обзор по переработке пластмасс в Европе, в котором рассмотрены механическая и химическая переработка отходов, а также различные методы извлечения энергии [4].

Китайская компания Beijing Roy Environment Technology Ltd объявила о создании установки EZ-Power по переработке пластиковых отходов в электроэнергию. Генератор энергии работает по технологии нового поколения, которая позволяет получать электричество из самых разных видов пластикового мусора. При этом работает установка совершенно бесшумно и не производит вредных выбросов в окружающую среду. Компания Beijing Roy расположена в Пекине. Она специализируется на получении электроэнергии путем переработки пластиковых отходов в нефть при низких температурах в отсутствие воздуха [5].

Универсальная экспериментально-производственная установка по утилизации углеродосодержащих отходов и выработки из них топлива разработана томскими учеными.

Данная технология альтернативного источника топлива (АИСТ) не имеет аналогов в мире. АИСТ вырабатывает топливо с высоким октановым числом класса "Евро-4". Перерабатывая три кубометра бытового мусора в час, установка способна производить до 200 литров синтетического топлива.

По данным разработчиков, установка способна перерабатывать практически все отходы включая углеродосодержащее сырьё и получать тепло, газ либо синтетическое топливо. Данный

проект позволяет создать замкнутый цикл переработки мусора (пластики с каждым годом составляют все большее число отходов ТБО) и сточных вод в тепловую и электрическую энергию в пределах одного жилого дома [6].

Полиэтилентерефталат – синтетический линейный термопластичный полимер – ПЭТ на сегодняшний день один из основных составляющих бытовых отходов. В промышленном масштабе ПЭТ начал выпускаться как волокнообразующий полимер, но вскоре занял одно из ведущих мест и в индустрии полимерной упаковки. По темпам роста потребления в настоящее время полиэтилентерефталат является наиболее быстрорастущим полимерным материалом.

Стоимость затрат на утилизацию отходов ПЭТ остается достаточно высокой. Основные затраты приходятся на сбор и заготовку отходов потребления. Расширение масштабов переработки пластмассового вторичного сырья сдерживается рядом факторов. Основные процессы переработки требуют отделения пластмасс от других отходов, а также сортировки их по видам и очистке. Это ведет к росту издержек производства, которые могут достигать 40–50 % общих затрат на получение вторичной продукции. Легче перерабатываются промышленные отходы пластмасс. Сложнее перерабатывать пластмассы, которые попадают в мусор. Из них сравнительно легко удастся выделить полиэтиленовую пленку, пластмассовые бутылки, ящики для бутылок.

Успешнее всего в мире перерабатывают отходы ПЭТ, главным образом, бутылки из-под шипучих напитков, соков, масла и т. д. Емкости закрывают крышками из полиэтилена, которые из измельченной смеси отделяются методом флотации. Это самая дорогая стадия вторичной переработки, она забирает на себя до 30 % стоимости процесса. Наиболее прогрессивной является переработка полимерных отходов во вторичное полимерное сырье. Особенно это касается отходов ПЭТ, цена 1 т которого достигает 1200 долл. США. Поиск рационального решения этого вопроса ведется в направлениях, рассмотренных ниже.

Очень распространенным способом утилизации отходов потребления пластмасс является сжигание. Теплотворная способность 2 т пластиковых отходов упаковки эквивалентна теплотворной способности 1 т нефти (теплотворная способность ПЭТ —22700 кДж/кг). В некоторых странах работают небольшие ТЭЦ по сжиганию бытовых отходов, в состав которых входит до 50 % отходов полимерной упаковки. Как источник тепловой энергии отходы упаковочных материалов используют многие страны. По различным оценкам, на сегодня сжигается до 40 % полимерных отходов[7].

#### **Список использованной литературы:**

1. Шубов Л.Я. Технология твердых бытовых отходов. – М. : Инфра-М: Альфа-М, 2011.
2. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учебное пособие / А. С. Клинков, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, В.Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010.
3. <http://www.energohelp.net/articles/technologies-sub/63976/>
4. <http://www.tehnoinfo.ru/polimer/107.html>
5. <http://www.tatcenter.ru/article/18147/>
6. <http://www.rg.ru/2011/05/25/reg-sibir/musor.html#comments>
7. Журнал «PakkoGraff» / Вторая жизнь. А. Масленников. 2004г. №8

#### **Оценка эффективности удаления ионных примесей из растворов путем электролиза**

***Т.А. Раденков***

*Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

*E-mail: [drovosek@tpu.ru](mailto:drovosek@tpu.ru)*

Проведена оценка энергоэффективности удаления ионов тяжелых металлов путём электролиза на примере модельного раствора содержащего ионы меди. В качестве электродов использовались графитовый анод и медный катод.

В современной природоохранной деятельности существует проблема очистки сточных вод от тяжелых металлов. Проблема заключается в накопленных за десятки лет, и постоянно увеличивающихся объемах сточных вод, содержащих повышенные концентрации тяжелых металлов. В течение последних лет наблюдается повышенный интерес к проблеме загрязнения тяжелыми металлами поверхностных и подземных вод. Такие элементы, как ртуть и кадмий обладают токсичностью по отношению к биосфере уже при чрезвычайно низких концентрациях. Серебро, хром, свинец, медь и цинк также обладают токсичными свойствами, хотя их

концентрации, представляющие опасность, на порядок выше, чем соответствующие концентрации Cd или Hg. Для примера приведём результаты воздействия тяжёлых металлов на организм человека: повышенные концентрации свинца приводят к атеросклерозу; ртути, вызывают полиневрит; никеля, ухудшают зрение; цинка, поражают костный мозг, кадмия, развивают гипертонию.

Для решения проблемы очистки больших объёмов сточных вод от тяжёлых металлов но рыбохозяйственных норм необходим поиск методов, являющихся эффективными как с точки зрения достижения малых концентраций, так и с точки зрения энергетической эффективности.

Тяжелые металлы могут существовать в воде в коллоидно-дисперсной форме, минеральной или органической взвеси, а также в форме идеального раствора. Анализ известных различных способов очистки сточных вод от тяжелых металлов позволил выделить основные группы методов:

- Химические и физико-химические: осаждение и выделение металлов в виде гидроксидов, оксидов, сульфидов и других нерастворимых соединений с величиной произведения растворимости  $PP < 10^{-10}$ , комплексообразование;
- Физические: адсорбция, выпаривание, мембранная очистка;
- Ионнообменные: обмен, находящийся в растворе ионов тяжелых металлов на ионы водорода, натрия или калия, изначально закрепленных на матрице природного или синтетического сорбента;
- Электрохимические: электрокоагуляция, электрохимическая деструкция, цементация, электрофлотация, электрофорез, и др.

Данные методы имеют различную эффективность очистки. Они эффективны, преимущественно, при очистке воды до норм питьевого водоснабжения. На этапе очистки сточных вод от тяжёлых металлов с норм питьевого водопользования до норм рыбохозяйственного назначения, большинство методов либо не обеспечивают должного уровня очистки, либо являются энергетически неэффективными. Электрохимическая очистка является перспективным методом с точки зрения энергоэффективности и глубокой очистки.

В работе рассмотрено влияние времени пребывания раствора в проточной ячейке, межэлектродного расстояния, учтено влияние температуры на коэффициент диффузии ионов. Проведенные исследования позволили систематизировать факторы, влияющие на эффективность процесса удаления ионов тяжёлых металлов путем электролиза. Первая группа факторов связана с электрическими потерями на прямой нагрев раствора, что вызвано увеличением удельного электрического сопротивления при достижении малой концентрации ионов, а также затруднением переноса заряда. Вторая группа факторов обусловлена диффузионными ограничениями, снятию которых способствует повышение скорости циркуляции раствора и уменьшение межэлектродного расстояния.

#### **Список использованной литературы:**

1. Омельчук А.А. Тонкослойный электролиз в расплавленных электролитах // Электрохимия. — 2007. — Т. 43. — № 9. — С. 1060–1069.
2. Нефедов В.Г., Артюшенко О.А., Кашеварова Е.В. Массоперенос к горизонтальному газовыделяющему электроду // Электрохимия. — 2006. — Т. 42. — № 6. — С. 712–718.
3. Хенстридж М.К., Дикинсон Э.Д.Ф., Комптон Р.Г. Массоперенос к пористому электроду и внутри него. вольтамперометрия с линейной разверткой потенциала и влияние размера пор: предсказание двойных пиков тока для единственного электродного процесса // Электрохимия. — 2012. — Т. 48. — № 6. — С. 698.
4. Пеганова Н.В., Цупак Т.Е. Электроосаждение никеля из разбавленного ацетатно-хлоридного электролита в импульсном режиме // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2007. — Т. XV. — № 4. — С. 18-24.

#### **Теория рисков в пожаротушении**

**\*С.И. Осипенко, А.И. Сечин**

*\*ФГБОУ ВПО Уральский Институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия*

*ГОУ ВПО НИ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На сегодняшний день индустриальная составляющая в стране сильно устарела. При строительстве производственных зданий и сооружений не учитывались сроки службы

инженерных конструкций, а фундаментальные узлы цивилизации уже реально угрожают жизни человека, особенно угрожают в плане пожарной опасности.

За борьбу с пожарами отвечает пожарная охрана, а непосредственно на самом пожаре – руководитель тушения пожара (РТП). В процессе ликвидации пожара, РТП производит оценку эффективности возможных вариантов решений данной проблемы, и в результате этого выбирает один из них. Поскольку решение РТП неизбежно содержит элемент риска, он должен уметь разобраться, когда риск допустим, а когда – нет.

Риск - возможная опасность какого-либо неблагоприятного исхода. Риск всегда обозначает вероятностный характер исхода, при этом в основном под этим понятием чаще всего понимают вероятность получения неблагоприятного результата (потерь), хотя его можно описать и как вероятность получить результат, отличный от ожидаемого. Одна из функций риска – инновационная, проявляется в стимулировании поиска нетрадиционных решений проблем, а, как известно, на пожаре РТП приходится принимать порой неадекватные решения, характеризующиеся высоким уровнем риска для личного состава и граждан.

Основной задачей пожарной тактики является разработка наиболее целесообразных способов и приемов организации и осуществления работ по тушению пожаров, а некоторые такие способы и приемы опасны для здоровья и жизни.

Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Статья 6. Условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности: пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной, если пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом.

Использованные термины имеют следующие определения:

- Пожарный риск - мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей;
- Допустимый пожарный риск - пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий;
- Индивидуальный пожарный риск - пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара.

Индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и строениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке;

- Потенциальный пожарный риск - частота реализации опасных факторов пожара в рассматриваемой точке территории;
- Социальный пожарный риск - степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара.

В настоящее время по международной договоренности принято считать, что действие техногенных опасностей (технический риск) должно находиться в пределах от  $10^{-7}$  ...  $10^{-6}$  (1/год<sup>1</sup>), а величина  $10^{-6}$  является максимально приемлемым уровнем индивидуального риска. В национальных правилах эта величина используется для оценки пожарной безопасности и радиационной безопасности. В некоторых странах, например в Голландии, приемлемые риски установлены в законодательном порядке.

Пренебрежимо малым считается индивидуальный риск гибели  $10^{-8}$  в год.

Но Брушлинский Н.Н., в 2002 году писал, что риск  $R_1$  для человека столкнуться с пожаром за год составляет  $1,2 \times 10^{-3}$  (пожар/человек), а риск  $R_2$  для человека погибнуть при пожаре в течение года равен  $1,2 \times 10^{-5}$  (жертва/человек).

Известно, что риску присущи стимулирующая и защитная функции. Стимулирующая функция имеет конструктивный (создание защищающих инструментов и устройств) и деструктивный (авантюризм, волонтаризм) аспекты. Защитная функция тоже имеет два аспекта: историко-генетический (поиск средств защиты) и социально-правовой (необходимость законодательного закрепления понятия «правомерность риска»).

4 основные функции:

- Защитная — проявляется в том, что для хозяйствующего субъекта риск это нормальное состояние, поэтому должно вырабатываться рациональное отношение к неудачам;
- Аналитическая — наличие риска предполагает необходимость выбора одного из возможных вариантов правильного решения;
- Инновационная — проявляются в стимулировании поиска нетрадиционных решений проблем;

- Регулятивная — имеет противоречивый характер и выступает в двух формах: конструктивной и деструктивной.

Антиподом риска являются гарантии. Выделяют гарантии достижения (рассчитаны на успех) и гарантии компенсации (рассчитаны на неудачу).

Установлено, что большое влияние на обстановку с пожарами оказывает общий уровень подготовки в области пожаротушения. Наиболее удачное предотвращение пожара может быть достигнуто при оперативном прибытии пожарных и спасательных подразделений и их высокой готовности, что накапливается как опыт при постоянных тренировках, разборах пожаров, занятий и учений.

Чтобы уменьшить величину пожарного риска, необходимо устранение причин его возрастания, которые могут быть реализованы за счет совершенствования технических систем и повышения профессионализма обслуживающего персонала общежития.

Существует косвенная качественная оценка рисков по шкалам и матрицам, которые определяют количественные степени риска, определяются профили риска. Одно из основных мест в определении риска, его величины играет процесс построения и анализ дерева событий. Именно здесь должна определяться количественная составляющая риска, которая в большинстве случаев отсутствует. Сложность определения этих величин и заставляет авторов искать косвенные оценки.

Мы предлагаем объединить теорию риска с практикой подготовки и ведения действий по тушению пожара и проведения аварийно-спасательных работ подразделений противопожарной службы для разработки наиболее приемлемых способов и приемов организации осуществления действий на пожаре и внедрить их в тактическую подготовку начальствующего состава федеральной противопожарной службы МЧС России.

#### **Список использованной литературы:**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон от 22 июля 2008 № 123-ФЗ.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 №382.
3. Организационно-методические указания по тактической подготовке начальствующего состава ФПС МЧС России. Утверждены Главным военным экспертом МЧС России генерал-полковником П.В.Платом 28.06.2007.
4. Брушлинский Н.Н. – Статистика, анализ, прогнозы. Пожары в России и в мире. – Калан, 2002.

УДК 614.84:006.54:537.21.66

### **Статическое электричество как дестабилизирующий фактор технологического процесса производства фармацевтических препаратов**

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

В ряде производств широко применяются порошкообразные вещества, при промышленной переработке которых происходит их статическая электризация. Так как сами вещества обладают высокими взрывоопасными свойствами, то процессы электризации создают пожаровзрывоопасность вследствие возможности воспламенения взрывоопасных веществ от теплового импульсного воздействия на них разрядов статического электричества.

При оценке опасности воспламенения были проведены экспериментальные исследования по известным методикам [1, 2]. Определены основные пожаровзрывоопасные характеристики реагирующих веществ, а также параметров технологических процессов, влияющих на образование и накопление электростатических зарядов, на их воспламеняющую способность.

На разработанной пилотной установке [3, 4], нами проведены исследования процессов сушки и пневмотранспорта в промышленных условиях. Были выявлены наиболее опасные в отношении интенсивности электризации технологические узлы. Исследования показали, что возникновение статического электричества на оборудовании и в перерабатываемых средах не носит устойчивого характера и зависит от многих сопутствующих факторов, основные из которых: характеристики пожаровзрывоопасности перерабатываемого вещества; температура, давление и влажность, состав гетерогенной системы, вероятность появления источников зажигания.

Установлено, что в системе пневмотранспорта и –сушки отведение электростатических зарядов осложняется образованием пограничного диэлектрического слоя достаточной толщины, который препятствует передаче заряда от частиц транспортируемого материала к металлическим заземленным стенкам и способствует накоплению больших зарядов внутри технологического оборудования.

Для никотиновой кислоты, технологический процесс которой реконструировался с целью его интенсификации, это явление особенно характерно. Ввиду высокой липучести материала, пограничный диэлектрический слой образуется вследствие падения скорости транспортирующего воздуха непосредственно у стенок. На разных участках установки условия образования этого слоя различны и зависят от гидродинамики процесса, от физико-химических свойств материала стенок и частиц перерабатываемого вещества. Основное значение имеет твердость, влажность частиц и наличие электростатических зарядов на них. Под влиянием сил электростатического поля, сильно заряженные частицы никотиновой кислоты прилипают к стенкам, особенно это относится к мелким фракциям, у которых удельный заряд относительно больше, чем у крупных фракций.

Исследования показали наличие в пограничном слое мелкодисперсных частиц плотно прилипших к стенкам технологического оборудования. Установлено, что условия образования пограничного слоя на разных участках установки различны. Они облегчены там, где характер движения воздушного потока ближе к ламинарному. В циклоне образуется особенно толстый пограничный диэлектрический слой. Это объясняется малой скоростью движения частиц в аппарате, наличием больших зарядов на частицах и диэлектрической диффузией их.

Также установлено, что частицы никотиновой кислоты при контакте с металлом приобретают отрицательный заряд, обеспечивая тем самым в потоке транспортируемого воздуха преобладание над числом положительно заряженных частиц.

Явление, связанное с образованием пограничного диэлектрического слоя на стенках различных технологических участков могут изменить как характер накопления заряда на транспортируемом веществе, так и процесс передачи заряда от заряженных частиц металлическим стенкам.

Проведенные исследования дали возможность установить способы воздействия на технологические процессы, которые в зависимости от электризуемости используемых веществ и их пожароопасности, позволили определить безопасные технологические режимы и конструктивные размеры технологических аппаратов.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- заземление; выполняемое на всех электропроводящих участках пневмосистемы. не дает полной гарантии взрывобезопасности, с помощью его отводится на землю заряд, накапливаемый на металлических корпусах технологического оборудования, тогда как заряды, накапливаемые на диэлектрическом транспортируемом материале, могут долго сохраняться, создавая опасность возникновения искрового пробоя при благоприятных условиях;
- увеличение влагосодержания материала и теплоносителя, являющимся радикальным в других химических производствах, неприемлем в рассматриваемом случае, как и использование антистатических добавок, вследствие изменения технологического режима процесса сушки и качества продукции;
- необходимо провести исследования с целью установления времени релаксации наведенного заряда, так необходимого при разработке мероприятий по пуску-останову производства.

Авторами разработаны предложения по созданию системы предупреждения взрывов в технологических объемах производственного оборудования. Она базируется на автоматически действующем устройстве, извещающим о появлении опасного уровня электростатических зарядов, может органично встраиваться в действующую систему автоматического управления процессом сушки. Порог срабатывания защиты варьируется в зависимости от взрывоопасных свойств перерабатываемых веществ.

#### **Список использованной литературы:**

1. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
2. ГОСТ 12.4.124-83. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
3. Гуляев М.В., Сечин А.И. Обеспечение взрывобезопасности при статической электризации порошкообразных веществ в некоторых технологических процессах./Материалы пятой

Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность”. Томск: Изд-во ТПУ, 1999. 250 с.

4. Сечин А.И., Бошенятов Б.В. Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А. Разработка комплексных мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности шахтных технологических процессов / ж. Вестник Алма-атинского института связи. Алматы. №2. 2008. - С. 83-86.

УДК 614.84.006.54:537.21:66

#### Установка по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона

*М.В. Гуляев, А.И. Сечин, М.С. Барский, Т.А. Иванова, А.А. Сечин*

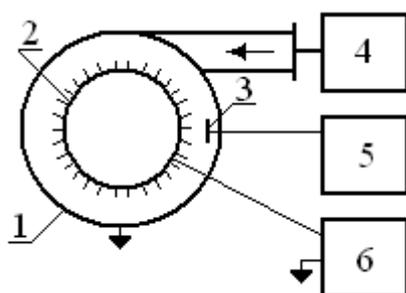
*Томский политехнический институт, г. Томск, Россия*

Среди физических факторов, вызывающих интерес исследователей, важное место занимает статическое электричество (СЭ). Оно возникает при механических взаимодействиях в материальной среде, представленной веществами с высоким удельным объемным электрическим сопротивлением ( $\rho$ ). Взаимодействие в основном выражается в виде трения и давления, проявляемые тем заметнее, чем больше взаимодействующие поверхности. При этом возникают неподвижные заряды СЭ, величина которых зависит от ряда факторов [1]. Исследователи установили, что интенсивная электризация возникает, если  $\rho \geq 10^6$  Ом·м. Изложенные положения относятся и к тонкодисперсным воздушно-пылевым потокам. Если эти потоки представлены органическими веществами, то их статическая электризация создает опасность взрыва пожара в условиях, когда энергия разрядов СЭ превышает минимальную энергию воспламенения пылевоздушной горючей среды. Следовательно, необходимо принятие мер, предотвращающих указанную опасность. В соответствующей литературе освещены способы защиты от опасных проявлений СЭ [1]. Реализация этих способов основана на использовании двух принципов:

- предотвращение накопления зарядов СЭ;
- предотвращение опасных проявлений СЭ.

Одним из известных и перспективных способов является применение нейтрализаторов заряда СЭ, установленных на технологическом оборудовании в электризующихся средах.

Работа проводилась в рамках сотрудничества с Новокузнецким ОАО «Органика», где в технологических процессах производства лекарственных веществ широко проявляется статическая электризация. Проведенные исследования этих процессов на предмет поиска эффективных и перспективных способов защиты от опасностей взрыва и пожара дали основание выбрать в качестве одного из основных способов – нейтрализацию зарядов СЭ, что и легло в цель



данной работы. На этом основании был разработан и исследован пневмоиндукционный нейтрализатор, предназначенный для установки в циклоне действующей технологической цепи, как на наиболее электризуемом ее участке.

Рис. 1. Схема установки по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона

В систему нейтрализации входят следующие элементы: циклон 1 с патрубком для наружной подачи сжатого воздуха воздуходувкой 4, нейтраллизатор 2 в виде цилиндра с игольчатыми электродами для стекания коронирующих разрядов, и вертикальными щелями для внутреннего нагнетания воздуха; внутреннего цилиндрического участка стенки циклона, взаимодействующей с потоком статически электризованной пыли. Датчика 3 регистрации величины СЭ с блоком регистрации 5. источник высоковольтного питания 6 генерирует необходимую величину напряжения на цилиндре с игольчатыми электродами 2.

Предлагаемый нейтрализатор отличается от других аналогичных устройств тем, что в нем могут применяться полые коронирующие иглы с самоочищающимся острием на ее выходном конце. В конструктивном отношении и в части процесса нейтрализации предлагаемое устройство характеризуется тем, что в зоне выхода из него сжатого воздуха образуется газовая подушка, обеспечивающая очистку коронирующих игл от оседающей пыли и поддержание непрерывности процесса нейтрализации [2, 3]. Для оценки эффективности работы нейтрализатора был проведен ряд экспериментов, по результатам которого построены вольтамперные характеристики,

представленные на рис.1 и 2. Процесс нейтрализации (рис.1) показывает, как изменяется его эффективность в различных зонах соотношений потенциала нейтрализуемой поверхности и токов нейтрализации.

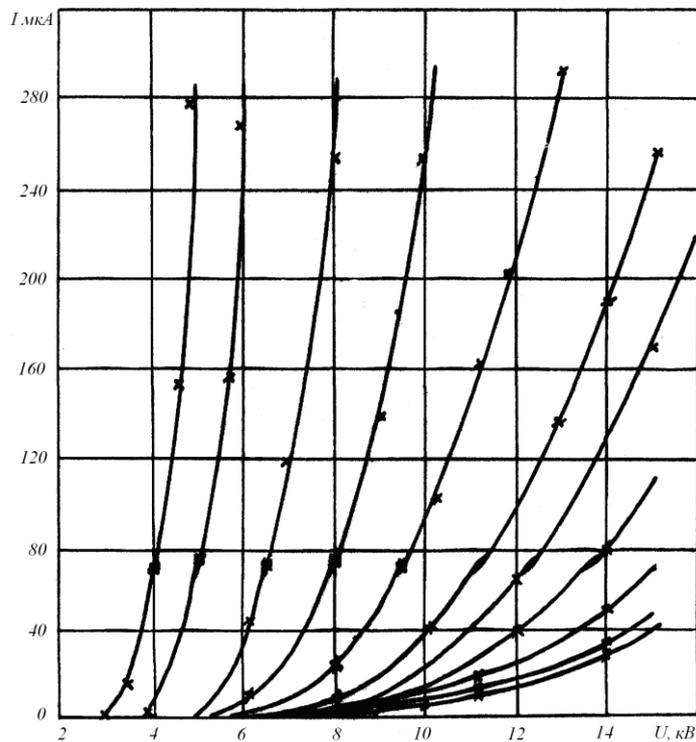


Рис. 1. Характеристика ионизирующего действия индукционного нейтрализатора

Анализируя результаты представленные на рис. 1. можно сделать заключение о том, как изменяется эффективность процесса нейтрализации статического электричества в различных зонах циклона, где установлен нейтрализатор, вследствие изменения соотношения потенциала нейтрализуемой поверхности и токов нейтрализации.

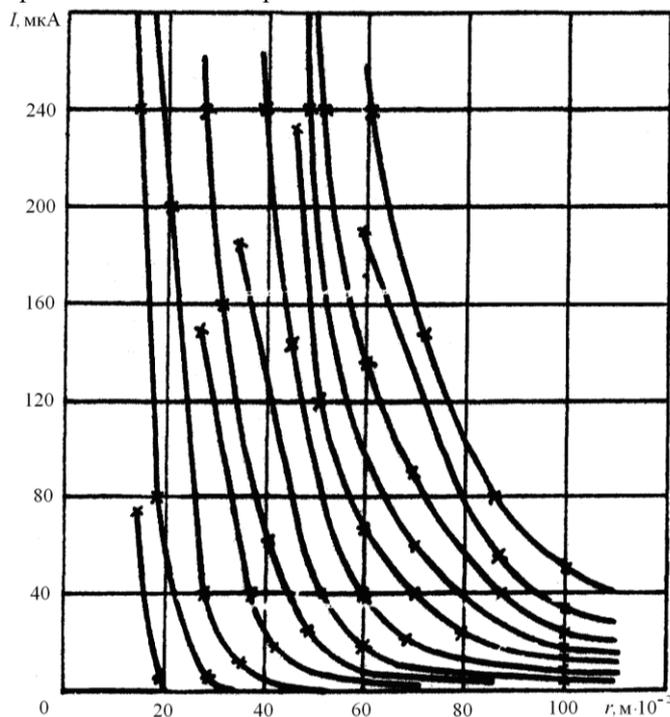


Рис. 2. Влияние расстояния от нейтрализатора до взаимодействующей поверхности

Проведенные расчеты показывают, что рационально выбранный конструктивный параметр  $I_k$  позволяет стекать статическим зарядам посредством коронирующих разрядов с энергией меньше энергии зажигания пылевзвеси перерабатываемого материала.

Установив, что энергия коронирующих разрядов существенно ниже энергии зажигания, но величина ее достаточна для проведения пиролиза высушиваемой парогазовой жидкости, что так же повышает пожаровзрывобезопасность технологического процесса.

Характеристики представленные на рис.2 позволяют рационально выбирать конструктивный параметр, выражающий расстояние между индукционно взаимодействующими поверхностями, оптимальным расстоянием и конструктивным исполнением разрядных электродов пневмоиндукционного нейтрализатора.

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать следующее заключение:

- установка по изучению электростатических полей в модельных полостях циклона позволяет получать экспериментальные результаты адекватные наблюдаемым в производственных процессах;
- полученные результаты позволяют заключить, что энергию коронирующих разрядов можно регулировать геометрическим фактором от величины существенно ниже энергии зажигания, до величины достаточной для проведения пиролиза высушиваемой парогазовой жидкости.
- сделаны предпосылки для разработки практических рекомендаций позволяющих повысить пожаровзрывобезопасность технологического процесса.

#### **Список используемой литературы:**

1. Б.К. Максимов, А.А. Обух. Статическое электричество в промышленности и защита от него. М.: Энергия, 1978.
2. М.В. Гуляев, А.И. Сечин, В.И. Косинцев. Пилотная установка для изучения процессов сушки мелкодисперсных материалов./Материалы пятой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: экология, надежность, безопасность”. Томск: Изд-во ТПУ, 1999. 250 с.
3. Сечин А.И., Бошнятов Б.В. Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А. Разработка комплексных мероприятий по обеспечению взрывопожаробезопасности шахтных технологических процессов / ж. Вестник Алма-атинского института связи. Алматы. №2. 2008. - С. 83-86.

УДК 614.8:677.021

### **Разработка безопасного метода гранулирования и сушки материалов**

*А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Гранулирование представляет совокупность физико-химических и физико-механических процессов, обеспечивающих формирование частиц определенных размеров, формы, структуры и физических свойств. В общем случае гранулирование включает в себя следующие технологические стадии: подготовка исходного сырья, дозирование и смешение компонентов, собственно гранулообразование, формирование структуры, сортировка. Эффективность процесса гранулирования зависит от механизма гранулообразования, который в свою очередь определяется способом гранулирования и его аппаратным оформлением.

Благодаря высокой интенсивности процесса и большой производительности, гранулирование материалов во взвешенном состоянии получило широкое распространение. Оно позволяет предотвратить расслаивание многокомпонентных масс, улучшить сыпучесть порошков, обеспечить точность дозирования и равномерное распределение активного компонента, а, следовательно, большую гарантию лечебных свойств каждой таблетки. Таким образом, задачей гранулирования является обеспечение тесного сближения частиц порошкообразного материала и формирование из них однородных и прочных гранул определенного размера [1].

Производство порошкообразных и гранулированных лекарственных препаратов имеет ряд особенностей, определяющихся как термолабильностью гранулированных материалов, так и их неоднородностью. Это требует ограничение температуры теплоносителей, во избежание местных перегревов материала. Конструкцию гранулятора характеризуют и определяют исходный материал, способ образования гранул, форма и свойства получаемых гранул [2].

Особенно актуальна проблема обеспечения однородности получаемого продукта. Эта проблема особенно остро стоит при загрузке особо малых количеств активного вещества. Как, например, в рассматриваемой технологической схеме на 167 кг материала 140 грамм биологически активного вещества (БАВ). Как показала практика, перемешивание в валковых и барабанных грануляторах не обеспечивает необходимую точность распределения БАВ. Мы предлагаем перейти к более активным гидродинамическим режимам, к процессам, протекающим в кипящем (псевдооживленном) слое. Гранулирование в кипящем слое заключается в смешивании порошкообразных ингредиентов во взвешенном состоянии с последующим их увлажнением гранулирующей жидкостью, при продолжающемся перемешивании. Кипящим (псевдооживленным) слоем называют состояние слоя гранулируемого материала, при котором частицы интенсивно перемешиваются между собой под влиянием проходящего через их слой потока газа.

Достоинствами являются развитая поверхность фазового контакта, высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов, высокая удельная производительность, высокое качество гранулированного продукта, совмещение процессов гранулирования и сушки, что упрощает схему производства.

Недостатками является высокая пожаровзрывоопасность, запрещающая ведение подобных процессов, особенно когда в гетерогенной системе присутствуют взрывоопасные порошки и растворители, категорируемые как ЛВЖ.

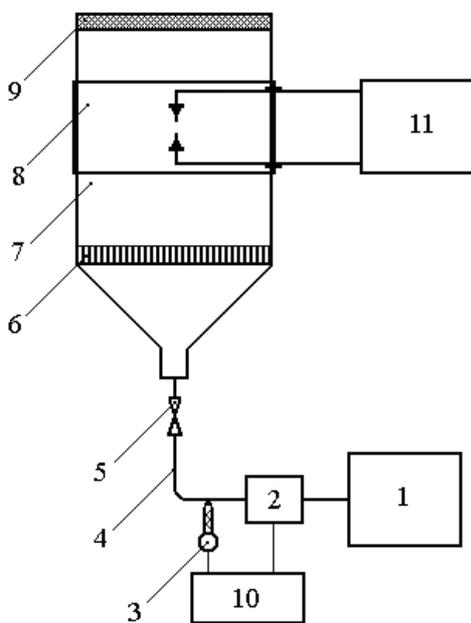


Рис. 1. Схема экспериментальной установки, сушилки кипящего слоя

- 1 – ротационная установка; 2 – электрический нагреватель;
- 3 – контактный термометр; 4 – воздуховод;
- 5 – вентиль; 6 – распределительная решетка;
- 7 – корпус установки;
- 8 – смотровое окно; 9 – фильтр; 10 – регулятор напряжения; 11 – источник зажигания

Для решения этой задачи была разработана экспериментальная установка представляющая собой сушилку кипящего слоя. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, в ее основу были положены научные положения авторов [3-5]. Сушильная камера цилиндрическо-конической формы состоит из двух частей: в верхней части расположено отверстие для подачи гранулируемой жидкости, в нижней части расположена распределительная решетка. Конус камеры определяет

гидродинамические особенности процесса: угол раскрытия  $20^\circ$  обеспечивает равномерное по всему сечению псевдооживление.

Исходный материал помещают на распределительную решетку, и поток подводимого снизу газа обеспечивает принудительное перемешивание частиц материала. Подаваемый ротационной установкой воздух проходит через электрический нагреватель, где нагревается до необходимой температуры и в требуемом количестве подается в сушильную камеру. Электрический нагреватель включен в цепь терморегулятора, состоящего из ртутного контактного термометра, автотрансформатора и реле. Из сушильной камеры воздух выходит через верхнее отверстие, снабженное фильтром.

В качестве исходного материала используется лактоза (белое порошкообразное вещество с дисперсностью 0-150 мкм) и БАВ - производное имидазола (белое порошкообразное вещество с дисперсностью 120 мкм). Лактозу массой 150 грамм и 1 грамм БАВ помещают на распределительную решетку. На ротационной установке устанавливают необходимую скорость потока воздуха, при этом материал переходит во взвешенное состояние, непрерывно перемешиваясь. Включают питание нагревателя и с помощью контактного термометра устанавливают температуру сушки  $40^\circ\text{C}$ .

После запуска технологического процесса и выхода его на рабочий режим, источником зажигания генерировался импульс величиной большей энергии зажигания до 100 раз. Наблюдался

процесс горения в рабочем объеме. Характер процесса горения и условия, при которых он становится неустойчивым, позволяют сделать предположение о возможности ведения процесса, когда гетерогенная система не распространяет фронт пламени по своему объему. Происходит локальное выгорание смеси, с отсутствием факторов пожара или взрыва. Т.е. мы наблюдаем, процесс горения, когда системе для поддержания горения не хватает окислителя [4].

Установленные закономерности были предложены для технологической апробации.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- Разработана и прошла апробацию установка позволяющая изучать предельные условия горения гетерогенных систем в условиях избытка горючего компонента.
- Результаты показывают, что можно организовывать технологический процесс в условиях избытка горючего компонента, что обуславливает процессы гранулирования и сушки в кипящем слое.
- Электрические разряды, генерируемые в гетерогенной системе, не зажигают ее даже в присутствии паров ЛВЖ, можно наблюдать только локальное горение с отсутствием факторов пожара или взрыва.

#### Список используемой литературы:

1. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование, - М.: Химия, 1988.
2. Иванов А.Б. Анализ режимов работы грануляторов с псевдооживленным слоем// Теоретические основы химической технологии. 1991. Т.25. №3. С. 394-398.
3. Сечин А.И., Яшин В.Я. Безопасность технологических процессов в химико-фармацевтических производствах. / Монография. Под ред. д.т.н. В.И. Косинцева. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 152 с.: ил.
4. Сечин А.И. Безопасность систем перерабатывающих пылеобразующие материалы. / Монография. Под ред. д.ф.-м.н. Н.И. Федосова. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 138 с.: ил.
5. Сечин А.И., Бошнятов Б.В., Косинцев В.И., Сечин А.А., Лаптев Д.А., Задорожная Т.А. К вопросу разработки комплексных мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности шахтных технологических процессов // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. – Кемерово: 2008. - С. 166-169.

УДК 66.047.545:614.841.41

#### Разработка обоснования перевода процесса сушки изоксазолкарбоновой кислоты в активный гидродинамический режим

*А.И. Сечин, М.В. Гуляев, А.А. Сечин*

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Известно, что технологические процессы, перерабатывающие пылеобразующие материалы сопровождаются образованием и накоплением зарядов статического электричества, наличие же внутри оборудования горючих аэрозольных взвесей обуславливает пожароопасность этих процессов. Из большого перечня мероприятий призванных обеспечивать безопасность технологического процесса, особое место занимает установление соответствия основным требованиям пожаровзрывобезопасности, которые следует соблюдать при эксплуатации технологического оборудования перерабатывающего пылеобразующие материалы [1].

В практике промышленного использования процессов сушки зачастую возникают противоречия между необходимостью повышать производительность сушильных аппаратов, снижать стоимость сушки и требованиями безопасности. Принимаемые при этом инженерные решения далеко не всегда обеспечивают нормативный уровень безопасности. Статистические данные свидетельствуют о том, что процессы сушки являются одними из самых пожаровзрывоопасных технологических процессов [2]. Причинами аварий являются как ошибки обслуживающего персонала, так и конструктивные особенности технологического оборудования, близость технологических параметров к опасному уровню [1].

Изучение исходных данных для проектирования технологического процесса сушки в производстве изоксазолкарбоновой кислоты показало, что материал, высушиваемый в технологическом оборудовании, взрывоопасен и обладает рядом свойств, не рекомендуемых для его переработки в активных гидродинамических режимах и в частности аэрофонтанной сушилке.

Наиболее радикальным способом обеспечения безопасного процесса сушки могло бы явиться предотвращение образования горючих сред внутри оборудования. Но реализовать этот

способ на большинстве типов сушилок без принятия специальных мер не удастся. В практике известно, что снижение горючести среды внутри работающего оборудования можно достигнуть применением инертных теплоносителей, а так же добавлением инертных материалов.

Оценив невозможность и нецелесообразность по экономическим соображениям флегматизацию среды внутри сушильного оборудования, был принят метод достижения пожаровзрывобезопасности путем исключения источников зажигания.

Многофакторность их появления, в условиях переработки взрывоопасного продукта, значительно усложняло принятие решения по обеспечению безопасности технологического процесса сушки изоксазолкарбоновой кислоты (ИКК), а вероятность появления их не исключалась. В результате анализа дерева аварий при разработке технологического регламента, было установлено, что основная опасность аварийной ситуации будет возникать вследствие проявления статического электричества.

Известно, что аппараты или технологическое оборудование удовлетворяет требованиям электростатической искробезопасности, 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.

Основными электрическими показателями пожарной опасности взрывовзвеси или отложенной пыли, являются минимальная энергия зажигания и соответствующие ей допустимые значения зарядов в импульсных разрядах статического электричества.

Минимальная энергия зажигания, как и другие характеристики пожаровзрывоопасности обрабатываемых в производстве веществ, определялись согласно действующего стандарта [3]. Исследования показали, что вещество категоризируется по номенклатуре как взрывоопасное.

Установлено [4], что безопасный радиус кривизны электрода, как наибольший радиус поверхности проводящего тела, при котором в горючей пылевоздушной смеси вероятность разряда статического электричества с зарядом в импульсе выше допустимого, не превышает  $10^{-6}$ .

На основе полученных экспериментальных данных по пожаровзрывоопасности ИКК был определен характеристический размер  $I_k$  соответствующий электрическим показателям пожарной опасности веществ и материалов.

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 изоксазолкарбоновой кислоты, равной 1,4 мДж, характеристический размер  $I_k$  составил 0,62 м.

Полученный результат был использован при проектировании технологического оборудования на Новокузнецком АО «Органика». Разработан ряд мероприятий по нейтрализации зарядов статического электричества в элементах оборудования имеющего большие линейные размеры, чем  $I_k$ , предложено применение игольчатых и струнных нейтрализаторов.

#### **Список использованной литературы:**

1. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
2. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1983. – 427 с.
3. ССБТ. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Издательство стандартов, 1990, 144 с.
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.

УДК 66.047.545:614.833.001.25

#### **К вопросу разработки методологии организации интенсивного и безопасного способа сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов**

*А.И. Сечин, Т.А. Задорожная, А.А. Сечин, М.В. Гуляев  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В работе предлагается разработанный безопасный способ сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов и достижения пожаровзрывобезопасности путем исключения источников зажигания. Способ учитывает требования пожарной безопасности при проектировании сушильных устройств, в производствах

дисперсных материалов входящих в категорию взрывоопасных, что сокращает время сушки, расширяя тем самым узкие места производства. Показано, что к решению этой задачи для потенциально опасных процессов можно подходить технологическим путем решения проблемы. Учтено, что основы безопасности современного химического производства должны обеспечиваться еще на стадии исследовательских работ, при разработке технологического процесса, конструкций оборудования, а также при разработке проекта во всех его основных частях.

В практике промышленного использования процессов сушки зачастую возникают противоречия между необходимостью повышать производительность сушильных аппаратов, снижать стоимость сушки и требованиями безопасности. Принимаемые при этом инженерные решения далеко не всегда обеспечивают нормативный уровень безопасности. Статистические данные свидетельствуют о том, что процессы сушки являются одними из самых пожаровзрывоопасных технологических процессов. Причинами аварий являются как ошибки обслуживающего персонала, так и конструктивные особенности технологического оборудования, близость технологических параметров к опасному уровню [1-4].

Наиболее радикальным способом обеспечения безопасного процесса сушки могло бы явиться предотвращение образования горючих сред внутри оборудования. Но реализовать этот способ на большинстве типов сушилок без принятия специальных мер не удастся. В практике известно, что снижение горючести среды внутри работающего оборудования можно достигнуть применением инертных теплоносителей, а так же добавлением инертных материалов [5, 6].

Оценив невозможность и нецелесообразность по экономическим соображениям флегматизации среды внутри сушильного оборудования, было решено разработать безопасный способ процесса сушки пылеобразующих материалов и достижения пожаровзрывобезопасности путем исключения источников зажигания.

В результате проведенных исследований был разработан безопасный способ организации процессов сушки взрывоопасных продуктов.

На первом этапе необходимо:

- В полном объеме изучить взрывопожароопасные характеристики [7] высушиваемого продукта и удаляемой влаги.
  - Провести категорирование этих веществ и производств, где они обращаются, по пожаровзрывоопасности.
  - Проанализировать, используя принцип аддитивности, реализуемый формулой Ле-Шателье, суммарную опасность смеси пылевзвеси, высушиваемой влаги и окислителя.
  - Первоначально предполагаем в качестве теплоносителя использование атмосферного воздуха.
- Следующим этапом, на основе полученных экспериментальных данных:
- Определяем характеристический размер  $l_k$  соответствующий электрическим показателям пожарной опасности веществ и материалов [7-10].
  - Определяются структурно-механические свойства высушиваемого дисперсного материала, необходимые для правильного выбора конструкции сушильной установки и оптимальных режимов ее работы.

По своей физической сущности сушка является сложным диффузионным процессом, скорость которого определяется скоростью диффузии влаги из высушиваемого материала в окружающую среду.

На специальной установке проводятся исследования кинетики сушки исследуемого вещества. Проводятся дополнительные исследования пожаровзрывоопасности в близких к технологическому процессу условиях.

На третьем этапе решаются следующие задачи:

- На основе совокупности полученных данных, осуществляется предварительный выбор метода сушки и тип сушильного устройства. При расчетах сушильного устройства и режима сушки руководствуются:
  - линейным характеристическим размером  $l_k$  .
  - Концентрацией высушиваемого продукта, равной отношению массы транспортируемого материала к массе транспортирующего потока  $\mu = \frac{G}{L}$  , здесь должно выполняться условие  $\mu \leq \text{НКПР}$  ; нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР) определяется из анализа, используя принцип аддитивности, реализуемый формулой Ле-Шателье, суммарной опасности смеси пылевзвеси, высушиваемой влаги и окислителя,

либо определяется экспериментально. При этом необходимо учитывать, что при сушке от растворителей, высушиваемая влага будет транспортироваться через сушильное устройство как составная взрывоопасной компоненты, нередко представляющая основную опасность. Результирующая концентрация определяется как

$$\mu_0 = \mu_{\text{п}} + \mu_{\text{р}},$$

где  $\mu_{\text{п}}, \mu_{\text{р}}$  – концентрации порошка и растворителя соответственно. Следует иметь в виду, что при концентрации растворителя больше верхнего предела распространения пламени, смесь будет флегматизироваться его присутствием. Во всех остальных случаях он будет составлять взрывоопасную компоненту.

- Если полученный результат устраивает с точки зрения производственной компоновки, разрабатывается технологический регламент ведения процесса сушки. Если не устраивает, повторяют выбор метода сушки и тип сушильного устройства.

Так как оборудование процесса сушки представляет собой комплекс в технологической последовательности соединенных элементов (не стоит исключать и тот факт, что нередко сушильное оборудование располагается среди технологического оборудования основного производства), то выход из строя одного из них приводит к остановке всей системы. При этом взрыв в одном элементе может привести к взрыву и всей системы в целом.

Для анализа технологической системы используется аппарат методов теории надежности. Основным показателем, характеризующим взрывоопасность технологического процесса, является вероятность возникновения загорания и взрыва в технологическом оборудовании [4, 6, 10].

Четвертый этап:

- Для технологической системы рассматривается дерево аварий и определяется вероятность взрыва технологического оборудования. Вероятность воспламенения высушиваемого материала внутри технологического оборудования должна быть не менее  $10^{-4}$ .
- Разрабатываются рекомендации по пожаровзрывобезопасности при организации процесса сушки, при этом учитываются:
  - Особенности конструкции и технологии.
  - Потенциальная опасность.
  - Основные факторы пожара и взрыва технологического оборудования, в котором присутствуют горючие пыли.
  - Меры пожаровзрывопредотвращения.

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный безопасный способ сушки взрывоопасных пылеобразующих материалов учитывает требования пожарной безопасности при проектировании сушильных устройств, в производствах дисперсных материалов, что сокращает время сушки, расширяя тем самым узкие места производства.
2. Повышает надежность эксплуатации в технологическом процессе действующего сушильного оборудования, учитывая пожаровзрывоопасность высушиваемого продукта и удаляемой влаги.
3. Данный способ организации процесса сушки не может быть применим к какому-либо классу сушильных устройств, так как предполагает индивидуальный подход в каждом конкретном случае.
4. На основе разработанного способа организации процесса сушки было проведено обследование ряда химико-фармацевтических производств. Полученные результаты использовались при проектировании и ввода в эксплуатацию технологического оборудования на Новокузнецком ОАО «Органика».

#### Список использованной литературы:

1. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. 678 с.
2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли. М.: Химия, 1986. 216 с.
3. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. М.: Химия, 1983. 427 с.
4. Бесчастнов М.В. Технический прогресс и пути предупреждения аварий в химической промышленности. // Журн. ВХО. им. Д.И. Менделеева, 1974, Т. 19, № 5, С. 482-488.
5. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность процессов сушки. М.: Стройиздат, 1987. 159 с.

6. Попов Б.Г., Медведева В.С., Бондарь В.А. Взрывы пылей и их предупреждение. // Журн. ВХО. им. Д.И. Менделеева, 1974, Т. 19, № 5, С. 520-525.
7. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Издательство стандартов, 1990, 144 с.
8. Веревкин В.Н. Принципы электростатической искробезопасности. / В кн.: Исследования в области безопасности и охраны труда в химической промышленности. Защита от вредного воздействия статического электричества в народном хозяйстве. М., 1975, С. 86-89.
9. Сечин А.И., Яшин В.Я. Безопасность технологических процессов в химико-фармацевтических производствах. / Монография. Под ред. д.т.н. В.И. Косинцева. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 152 с.: ил.
10. Сечин А.И. Безопасность систем перерабатывающих пылеобразующие материалы. / Монография. Под ред. д.ф.-м.н. Н.И. Федосова. – Томск: Изд-во ТГУ. – 2003. – 138 с.: ил.