

Раздел IV

---

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ  
МЕГАПОЛИСОВ

# МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

С.С. Чернов, К.С. Костюк, М.И. Панов, А.И. Колотов

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,  
г. Новосибирск, Россия

Одной из приоритетных задач энергетической политики России является рациональное использование ТЭР и создание необходимых условий для перевода экономики на энергоэффективный путь развития. Энергосбережение в настоящем докладе рассматривается в части теплоснабжения, поскольку это одна из важнейших составляющих жизнеобеспечения городов.

## 1. Состояние системы теплоснабжения и потенциал энергосбережения в России

Россия – одна из самых энергоемких экономик мира (в 2,3 раза выше среднемирового значения). Необходимость сокращения энергоемкости ВВП обсуждается уже более десяти лет, но практически все предложения и инициативы остаются нереализованными. Выделяем 4 группы барьеров, препятствующих развитию программ по энергосбережению в России:

- снижение мотивации к энергосбережению и эффективному потреблению энергии;
- дефицит информации у потребителей энергии;
- отсутствие опыта финансирования банками проектов по энергосбережению;
- недостаток организации и координации при принятии стратегических решений.

Теплосети – самое слабое звено в системе теплоснабжения. Протяженность теплосетей в стране составляет по разным оценкам от 140 до 260 тыс. км в двухтрубном исчислении. Около 50% объектов коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требуют замены, не менее 15% – в аварийном состоянии. На каждые 100 км тепловых сетей ежегодно регистрируется до 70 аварий. В крупных городах остро стоит проблема дефицита-избытка тепла, т.е. дисбаланса по подключенным нагрузкам. Нерационально и далеко не всегда в соответствии с требованиями нормативов осуществляется эксплуатация отопительных систем потребителей.

Основные причины плачевного состояния систем теплоснабжения:

- износ оборудования тепловых сетей,
- недофинансирование программ по ремонту и модернизации тепловых сетей;
- отсутствие повсеместного учета расхода и потребления тепловой энергии,
- слабое управление и нерешенные вопросы разграничения полномочий и ответственности в коммунальной энергетике,
- отсутствие перспективных схем развития систем теплоснабжения городов и регионов страны, учитывающих «запертые» мощности.

Главная проблема в теплоснабжении крупного города – значительный нереализованный потенциал энергосбережения: до 40% общего объема внутреннего энергопотребления. Удельный вес различных составляющих в общей величине указанного потенциала составляет: электроэнергетика, промышленность, транспорт – 39%; теплоснабжение, оказание услуг, строительство – 27%; жилые здания – 19%; производство топлива, сжигание попутного газа, энергоснабжение государственных учреждений – 15%.

За рубежом имеется богатый опыт реализации программ энергосбережения. В части теплоснабжения интересен опыт Дании и Германии:

- централизация систем теплоснабжения вокруг ТЭЦ, в том числе мини-ТЭЦ – прямое подключение к источнику, без использования ЦТП;
- энергомаркировка зданий;
- приборный учет тепла – датчик теплотребления на каждом радиаторе.

## 2. Разработка мероприятий по повышению эффективности системы теплоснабжения

С целью повышения эффективности использования тепловой энергии в крупных городах должна быть разработана *целевая программа*, предусматривающая реализацию комплекса

мероприятий на всех этапах технологического процесса (от производства до потребления тепловой энергии). Отдельные из указанных мероприятий представлены ниже.

**Мероприятия по снижению потерь тепловой энергии в тепловых сетях:**

- 1) установить оборудование ИТП в каждом здании, присоединённом к ЦТП. Для промышленных предприятий – устанавливать АТП;
- 2) обеспечить эффективную работу регуляторов температуры на бойлерах ГВС. Заменить существующие и сильно изношенные бойлеры ГВС на их современные аналоги.

**Мероприятия по снижению потерь тепловой энергии в сфере ЖКХ:**

- 1) провести комплекс работ по внешнему утеплению зданий и изоляции труб-стояков отопления и ГВС зданий, введенных в эксплуатацию более 20-30 лет назад, используя современные теплоизоляционные материалы с наименьшей теплопроводностью;
- 2) провести кампанию по массовой замене старых чугунных батарей в квартирах и других жилых помещениях на современные биметаллические радиаторы;
- 3) использовать высокотехнологичные изоляционные материалы для применения на системах ГВС внутри зданий, снижающие теплопотери и защищающие от образования конденсата;
- 4) в строящихся жилых зданиях проектировать систему индивидуального теплоснабжения для каждой квартиры взамен стандартных стояков – переход от вертикальных систем отопления к горизонтальным с поквартирным учетом тепла.

**Мероприятия по энергосбережению в отношении тепловой энергии на промышленных предприятиях:**

1. обязательное проведение энергоаудита крупных промышленных предприятий;
2. применение для отопления высоких помещений инфракрасных обогревателей.

### **3. Разработка мероприятий по стимулированию энергосбережения в процессе потребления тепловой энергии**

**Предлагаемые законодательные мероприятия:**

1. Законодательно оформить/закрепить обязанность по размещению на фасадах жилых зданий указателя класса их энергоэффективности. Последствие – необходимость пересмотра системы оценки стоимости, механизма налогообложения жилой собственности.

2. Инициировать программу замены старых чугунных батарей в квартирах на современные биметаллические радиаторы. Для малоимущих граждан должна быть открыта бюджетная линия для субсидирования приобретения и установки биметаллических радиаторов.

3. Законодательно закрепить за ЖКХ, ЖЭУ, УК ответственность по проведению работ по внешнему утеплению зданий и изоляции труб-стояков отопления и ГВС, введенных в эксплуатацию более 20-30 лет назад. Предусмотреть 30%-ное бюджетное финансирование работ.

4. Для промышленных предприятий ввести прямой запрет на использование энергорасточительных технологий, а также нормативы энергоэффективности (критические нормы теплопотери и теплопотребления), предусматривающие систему штрафов за их нарушение.

5. За крупными промышленными предприятиями, у которых нет собственных котельных, необходимо законодательно закрепить обязанность установки собственных ИТП.

**Организационно-вспомогательные мероприятия:**

1. Организовать широкомасштабную государственную информационно-пропагандистскую кампанию в сфере энергоэффективности с привлечением федеральных и региональных СМИ с целью стимулирования населения к теплосбережению.

1.1. Запуск рекламных роликов (по телевидению, в метро и т.п.), стимулирующих установку приборов учета и объясняющих населению экономическую выгоду от реализации мероприятий по энергосбережению.

2. Помощь потребителям в приобретении и установке теплосчетчиков: либо потребителю предоставляется рассрочка, стоимость делится на равные части и включается в коммунальные платежи, либо государство дотирует часть суммы (программа софинансирования).

Таким образом, предлагается ряд мер по сокращению потерь тепловой энергии на этапах ее транспортировки и потребления, а также мер, стимулирующих потребителей к реализации энергосберегающих мероприятий. Необходима разработка *целевой программы*, предусматривающей реализацию комплекса мероприятий на всех этапах технологического процесса.

## ОТХОДЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

*Т.А. Кулагина, Е.Н. Писарева*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Любые отходы можно рассматривать в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР), поскольку они могут быть использованы в хозяйственных целях, частично или полностью замещая традиционные виды материально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, причем главная особенность таких ресурсов является их постоянная воспроизводимость в процессе материального производства, оказания услуг и конечного потребления.

Масштабы и степень переработки различных видов ВМР, в Российской Федерации, значительно варьируется в зависимости от:

- ресурсной ценности отходов;
- экологической ситуации, обусловленной их свойствами как загрязнителей среды;
- конкретных экономических условий, определяющих рентабельность использования отходов в том или ином виде производства.

Традиционные виды вторичного сырья – лом и отходы металлов, полимеры, текстиль макулатура легко поддаются сбору и переработки, при этом сложные многокомпонентные отходы, а также загрязненные отходы практически не перерабатываются (смешанные и загрязненные нефтепродукты, изношенные шины, золотшлаки, отходы упаковки из ламинированной бумаги, осадки и шламы очистных сооружений и т.п.) [1]. Промышленные и другие отходы занимают значительные территории, изъяты из земельного фонда. По этой причине их переработка и уничтожение в настоящее время являются важной экологической задачей всех промышленно развитых стран.

Проблема утилизации твердых отходов промышленного и бытового происхождения приобретает в настоящее время все более острый характер в связи с тем, что объемы генерирования отходов постоянно растут, в то время как темпы их переработки несопоставимо малы. В результате к настоящему времени накоплены сотни миллионов тонн различных твердых отходов, которые необходимо переработать и обезвредить.

Одним из перспективных способов утилизации горючих и органосодержащих промышленных отходов является их сжигание в целях получения электрической и тепловой энергии. Сжигание отходов наиболее эффективно при незначительных процентных долях традиционных топлив. Совместное сжигание отходов с углем или газом при большой доле отходов целесообразно применять в малых энергетических установках периодического действия, ориентированных на определенный вид отходов и устанавливаемых непосредственно на предприятиях, производящих эти отходы. В этом случае отпадает необходимость в сортировке отходов. Функционирование установки по утилизации биомассы в часы работы предприятия позволит снизить потребность в энергии от внешнего поставщика и уменьшить суточные колебания нагрузки в электросети. Снижается потребность в разработке и строительстве специальных мусоросжигательных заводов для утилизации отходов.

Масштабы ежегодного продуцирования и накопления твердых отходов требуют быстрого создания мощных перерабатывающих установок производительностью, измеряемой миллионами тонн в год с их промышленным освоением. Это представляется осуществимым на базе уже имеющихся проектов, методов переработки углеродистых материалов и наработок для коксохимической отрасли с их реализацией на существующих предприятиях коксохимической промышленности, на углеобогатительных фабриках.

Твердые углеродистые отходы (ТУО), основную массу которых составляют отходы углеобогащения, различные шламы и бытовые отходы являются специфическим видом отходов, имеют высокий энергетический потенциал и не столь токсичны, как многие виды промышленных твердых отходов. В целом можно сделать их переработку экономически выгодной [2]. Специфика ТУО заключается в том, что в малых количествах они не оказывают заметного влияния на окружающую среду, а в больших скоплениях становятся экологическим бедствием. Поэтому в настоящее время во всем мире, активно ведутся исследования и разработка техники и технологий для переработки и обезвреживания ТУО [3].

«Топить можно и ассигнациями» писал в своё время Д.И. Менделеев, имея в виду нерациональное использование нефти в качестве горючего. В настоящее время производство энергии

основано, в основном, на использовании невозобновляемых источников энергии – преимущественно углеводородов, таких как газ, нефтепродукты, уголь. На невозобновляемые источники энергии суммарно приходится примерно 95% мирового топливно-энергетического баланса, на возобновляемые – около 5%.

Проблема альтернативных энерготехнологий является очень актуальной. Поиск альтернативных источников энергии стал одной из главных проблем экономически развитых государств. Используя отходы можно значительно экономить энергетические и сырьевые ресурсы, снижать загрязнение окружающей среды, а также создать большое количество дополнительных рабочих мест. В последней четверти 20 века в мире произошла активизация строительства установок по получению энергии из бытовых и промышленных отходов. Отходы деревопереработки, химических производств, переработки сельскохозяйственной продукции, торфоразработок, пищевой промышленности могут быть превращены в высококачественное топливное сырье.

В России активно внедряются современные технологии переработки растительных отходов. Разработаны: установка брикетирования, предназначенная для получения кормовых и топливных брикетов с применением связующего; установка брикетирования торфа, использующая для переработки в топливные брикеты торфа с различными горючими добавками или без них; установка брикетирования растительных отходов позволяющая получать высококачественные топливные брикеты из широкого многообразия отходов растительного происхождения: опилок, стружки, лузги подсолнечника, шелухи, костры льна, соломы (табл. 1).

Торфяной брикет – горючее полезное ископаемое; образовано скоплением остатков растений, подвергшихся неполному разложению в условиях болот и спрессованное под высоким давлением на брикетировочном прессе. При сжигании 1000 кг топливных торфобрикетов выделяется столько же тепловой энергии, как при сжигании: 1600 кг древесины; 478 м<sup>3</sup> газа; 500 л дизельного топлива; 1000 кг угля; 685 л мазута.

Таблица 1

#### Характеристики различных видов топлив

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	Содержание серы в топливе, %	Доля золы в уносе, %	Кол-во углекислого газа выделяющегося при горении топлива на ед. теплоты, кг/ГДж
Каменный уголь	15–25	1–3	10–35	60
Двигательное топливо	42,5	0,2	1	78
Мазут	42	1,2	1,5	78
Щепа древесная	10	0	2	0
Гранулы древесные (пеллеты, брикеты)	17,5	0,1	1	0
Гранулы торфяные (пеллеты, брикеты)	10-20	0	20	70
Гранулы из соломы (пеллеты, брикеты)	14,5	0,2	4	0
Природный газ	35-38 МДж/м <sup>3</sup>	0	0	57

Замена традиционно сжигаемых видов топлив (каменный уголь, мазут) на торфяные виды топлива позволят резко снизить объемы и перечень выброса вредных веществ в атмосферу. Зола, получаемая при сгорании торфа, по своему составу и свойствам (рН>6) может использоваться как удобрение. Торф – уникальный природный ресурс, способный обеспечить устойчивые региональные развития на территории страны при ресурсосберегающем, экологически сбалансированном и многопрофильном его использовании. С помощью этого природного ресурса возможна реализация Концепции неисчерпаемого природопользования, в связи с чем, разработан бизнес-план строительства автономной мини-ТЭЦ на торфяных брикетах для электроснабжения жилых поселков [4] (табл. 2).

Подобные разработки возможно использовать для города Красноярска, имеющего котельные со слоевым сжиганием топлива. Например, теплоснабжение зданий политехнического института Сибирского федерального университета и его абонентов осуществляется от 2-х источников теплоснабжения: собственной отопительной котельной, работающей на твердом топливе, ЦТП, от электрокотельной «Западная». Котельная относится к разряду промышленных отопительных котельных ма-

лой мощности закрытого типа с выработкой тепловой энергии в размере 12, 5 Гкал/ч. Реконструкция котельной при переводе ее с твердого топлива – бурого Канско-Ачинского угля Ирша-бородинского месторождения – на древесные гранулы, позволит снизить перечень и объемы выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ, и найти применение отходам золы в качестве удобрения.

Таблица 2

**Основные технико-экономические показатели строительства мини-ТЭЦ**

Показатель	Единицы измерения	Значение
Мощность мини-ТЭЦ установленная электрическая (при t=15°C)	МВт	0,5
Максимальная тепловая нагрузка	Гкал/ч	1,5
Число часов использования установленной мощности	ч	8310
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	6,3
Годовой отпуск продукции: электроэнергии теплоэнергии на отопление и ГВС	млн кВт·ч тыс. Гкал	3,409 10,586
Вид топлива		Торфобрикеты
Удельный расход топлива на электроэнергию на теплоэнергию	Г/кВт·ч кг/Гкал	251 325
Годовой расход топлива	Т	4358
Численность персонала: основного производственного персонала среднегодового привлекаемого	чел	10 3
Общая стоимость строительства в том числе: оборудование строительные работы монтажные и пуско-наладочные прочие затраты проектные работы	млн руб.	42,715 31,064 3,863 5,15 1,288 1,35
Удельные капитальные вложения	руб./кВт	19069
Себестоимость производства: электроэнергии теплоэнергии	руб./кВт·ч руб./Гкал	0,67 770,83
Годовой отпуск от мини-ТЭЦ: электроэнергии теплоэнергии (за отопительный сезон)	млн руб.	7,26 27,524
Годовые издержки производства: электроэнергии теплоэнергии	млн руб.	2,438 8,160
Окупаемость строительства мини-ТЭЦ без внешних заимствований	год	1,8 года

Биомасса – термин, объединяющий все органические вещества растительного и животного происхождения. Их энергетическая ценность представляет собой не что иное, как солнечную энергию, аккумулированную в химических связях органических молекул посредством фотосинтеза. Органических веществ, которые традиционно используются или в принципе могут использоваться человеком в целях получения необходимой энергии, великое множество. К ним относятся древесина, отходы ее переработки, продукция сельского хозяйства, начинающаяся соломой и заканчивающаяся такими экзотическими отходами, как рисовая шелуха, скорлупа орехов, оболочки кофейных зерен.

Биомасса обладает рядом существенных преимуществ как возобновляемый источник энергии. К ним можно отнести:

- распространенность и доступность;
- снижение антропогенной нагрузки на климатическую систему (при использовании биомассы в атмосферу выделяется столько же диоксида углерода, сколько его поглощается



при росте биомассы, поэтому биомасса оказывается экологически чистым топливом, не несущим никакой ответственности за парниковый эффект);

- всесезонность;
- уменьшение загрязнения атмосферы (в отличие от других органических топлив, биомасса не приводит к выбросу в атмосферу таких «неприятных» веществ, как тяжелые металлы, оксид углерода, оксиды серы);
- уменьшение территорий свалок (одна из разновидностей биомассы – твердые коммунальные (бытовые) и промышленные отходы органического происхождения).

Биомасса как источник энергии играет существенную роль в мировом энергетическом балансе [5].

Таблица 3

### Роль биомассы в мировом энергетическом балансе

Регион	Общее первичное энергопотребление, млн т у.т.	В том числе возобновляемые ресурсы, млн т у.т.	Доля возобновляемых ресурсов в общем потреблении, %	Доля биомассы в общем потреблении, %
Африка	773	384	49,7	48,1
Латинская Америка	651	185	28,4	17,8
Азия	1698	561	33,0	30,6
Китай	1786	347	19,4	17,5
Бывшие республики СССР	1334	38	2,8	0,9
ЕС–15	2136	120	5,62	3,4
Мир в целом	14678	1972	13,4	10,8

Наибольший удельный вес биомасса имеет в энергетических балансах развивающихся стран Африки и Азии, где для приготовления пищи, обогрева и освещения традиционно используют дрова. Для развитых стран вклад биомассы значительно меньше (табл. 3). Но проследивая за динамикой изменения роли биомассы в потреблении энергии в этих странах, можно сделать вывод о существенном росте доли этого источника энергии (табл. 4).

Таблица 4

### Рост вклада биомассы в потреблении энергии в развитых странах (в % к общему потреблению энергии)

Страна	1980	1997	Страна	1980	1997
Дания	0,4	5,9	Швеция	7,7	17,9
Япония	0,1	1,6	Швейцария	0,9	6,0
Германия	0,3	1,3	Великобритания	0,0	3,3
Нидерланды	0,0	1,1	США	1,3	3,8

Таблица 5

### Биоэнергетический потенциал России

Древесина	800 млн т	Отходы животного происхождения	10 млн т
Сельскохозяйственные отходы	250 млн т	Осадки сточных вод	10 млн т
Древесные отходы	70 млн т	Возобновляемые ресурсы торфа	60 млн т
ТБО	60 млн т	Энергетический потенциал	200 млн т у.т.

Россия имеет огромный биоэнергетический потенциал. Прежде всего, это лес, занимающий 60% территории страны и производящий ежегодно почти четверть мирового прироста биомассы. Не обделена Россия и другими источниками биомассы [5], табл. 5.

В странах с достаточным количеством лесов и развитым сельским хозяйством активно внедряются технологии сжигания биомассы в виде обгаороженного твердого биотоплива, которое может быть разделено на три категории:

- пеллеты (также называемые – гранулы) – спрессованные цилиндры с максимальным диаметром до 25 мм. Потребители гранул и изготовители котлов предъявляют высокие требования к качеству гранул [6];

- мелкий порошок, который должен быть очень однородным по своим техническим показателям, и может сжигаться таким же способом как газ или нефть;
- брикеты, это спрессованные изделия цилиндрической, шестигранной, прямоугольной или любой другой формы. Их длина, обычно от 100 до 300 мм, диаметр больше 25 мм и обычно составляет 50-75 мм. Чаще всего на рынке представлены: древесные брикеты из отходов древесины; брикеты из торфа; из отходов производств агропромышленного комплекса, так называемые агробрикеты; и брикеты из угольной пыли. Топливные брикеты предназначены для сжигания в печах, заводских котельных и ТЭЦ, на промпредприятиях, где имеются установки, работающие на твердом топливе, каминах, теплицах, ж/д транспорте.

На сегодняшний день потребление брикетов и гранул как вида топлива ежегодно увеличивается. За рубежом наибольшее распространение топливные брикеты получили в США, Дании, Швеции, Австрии, Германии, Норвегии и Финляндии. Наиболее серьезными странами производителями (а также и потребителями) пеллет и брикетов являются:

Европа – 3,0 млн тонн в год;	Канада около 110 тыс. тонн в год;
США около 2,0 млн тонн в год;	Финляндия около 100 тыс. тонн в год;
Германия около 100 тыс. тонн в год;	Англия около 10 тыс. тонн в год;
Швеция около 650 тыс. тонн в год;	Дания около 500 тыс. тонн в год;
Австрия около 110 тыс. тонн в год;	Япония около 3 тыс. тонн в год.

По некоторым оценкам Швеция может стать первой европейской страной, которой удастся через 15 лет полностью перейти на альтернативные виды энергии [7].

Биомасса может классифицироваться по различным признакам, например [8]:

- по источнику происхождения (растительная, животная);
- по стадии использования (первичная, вторичная).

С учетом технологий преобразования ее энергии в химическую, тепловую и т.д., биомасса может быть дифференцирована на три большие группы:

- сухая (древесина и ее отходы);
- жидкая (сточные воды);
- сахарная (целлюлоза, соки и пр.).

В свою очередь, многочисленные технологии преобразования энергии биомассы относятся к одной из трех категорий:

- прямое сжигание;
- биотехнологии переработки (с помощью бактерий, дрожжей и пр.);
- физико-химические технологии переработки в более энергонасыщенные вещества.

В целях охраны окружающей среды и экономичности, нецелесообразно интенсивно использовать как топливо, промышленно заготавливаемую разновидность биомассы – стволую древесину, невзирая на ее максимальную среди ВИЭ (возобновляемых источников энергии) энергоплотность. В настоящее время прямому сжиганию подвергают главным образом сбросную биомассу, т.е. разнообразные отходы.

Отличительной особенностью вторичных ВИЭ (ВВИЭ) является их производимость, вторичность. Они образуются в процессах многосторонней человеческой деятельности как отходы производства (промышленного и сельскохозяйственного) и потребления в коммунально-бытовой сфере. Поскольку производство и потребление есть сущность человека, ВВИЭ непрерывно воспроизводятся.

Промышленные энергоресурсы вторичного происхождения подразделяются на три группы:

- 1) избыточного давления, т.е. носители потенциальной энергии сбросных газов, воды и пара с повышенным, по сравнению с атмосферным, давлением;
- 2) горючие, могущие стать непосредственно топливом;
- 3) тепловые – газы, шлаки, зола, отработанные пар, вода и т.п., несущие физическую теплоту.

Процентное соотношение каждой из групп к общему показателю энергоресурсов следующее: на долю первой группы приходится 0,3–0,5%; горючие энергоносители составляют 22–25%; главной же, занимающей до 4/5 общего объема, составляющей вторичных энергоресурсов являются тепловые.

Воспроизводство горючих вторичных энергоносителей происходит в огромных масштабах. В лесопильной промышленности распиловка 100 млн м<sup>3</sup> древесины ежегодно означает сброс 1/3 этого объема в отходы [8], рис. 1.

В 60-х годах XX века ежегодно производилось 82,6 млн м<sup>3</sup> только опилок. Между тем по величине теплотворной способности 3 кг сухой или 4 кг сырой древесной массы эквивалентны 1 кг нефтяного топлива.



Угледобыча, шахтная или в открытых разрезах, сопровождается накоплением отходов углеродной массы в терриконах. Последние интенсивно загрязняют окружающую среду в силу пыления и выбросов газов при самовозгораниях. Одна тонна породы в терриконах содержит в среднем ~100 кг угля и сгорает с выделением 3–4 ГДж теплоты. Для сравнения, теплота сгорания тощего донецкого каменного угля – 35 ГДж/т.

Суть перечисленного выше – горючие энергоносители вторичного происхождения могут и должны широко использоваться. Направление этого использования, по крайней мере, два. *Прямое сжигание.* Привлекательно простотой технологического процесса. Притом, что 4–6 м<sup>3</sup> воздушно-сухой древесной массы замещают 1 м<sup>3</sup> сырой нефти. *Переработка в более энергетически насыщенные топлива.* Существенным недостатком прямого сжигания является ограничение использования этого ВВИЭ исключительно местными рамками. Перевозка древесных отходов «навалом» на расстояние >80 км нерентабельна. Брикетирование опилок, стружки, древесной пыли и т.п. существенно увеличивают, до 21,2–33,2 ГДж/т энергоплотность отходов лесопильной и деревообрабатывающей промышленности. Поэтому вполне целесообразна переработка горючих вторичных отходов в более богатые топлива, аналогичные по физическому состоянию и области применения традиционным нефтяным.

Вполне очевидно, что «посадить на дрова» (в более широком смысле – твердое биотопливо) современную индустриально-урбанизированную цивилизацию в целом можно лишь при условиях, непосредственно угрожающих самому ее существованию. Но использование в качестве местного твердого топлива сбросной биомассы для экономии невозобновляемых запасов углеводородного сырья возможно и даже необходимо в любых условиях. В странах Западной Европы эксплуатация этого ВВИЭ стало ежегодным эквивалентом затрат 100–200 млн т нефти. Подобный показатель небезынтересно сопоставим с годовой добычей нефти в данном регионе, равной в 1992г [8].

Одной из главных задач развитых стран является рациональное и экономное использование энергии. В связи с высокими ценами и ограниченными запасами нефти, газа и угля возникает проблема поиска дополнительных энергетических ресурсов. Одним из эффективных способов получения энергии в будущем может стать использование в качестве топлива твердых промышленных отходов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Девяткин, В.В. Управление отходами в России: пора использовать отечественный и зарубежный опыт / В.В. Девяткин // Отечественные записки – 2007. – № 2 (34). – С. 28.
2. Использование вторичного сырья и отходов производства (Отечественный и зарубежный опыт, эффективность и тенденции): ред. В.Н. Ксинтариса и Я.А. Ренитара. – М.: Экономика, 1983. – 168 с.
3. Тихоцкая, Н.С. Япония: проблемы утилизации отходов. – М.: Наука, 1992. – 102 с.
4. Каравайков, В.М. Эколого-экономическая эффективность использования торфа в Костромской области как энергетического ресурса / В.М. Каравайков, Н.Р. Подкопаева // Региональная экономика: теория и практика. – 2009. – №4. – С.2–7.
5. Клименко, А.В. Биомасса – важнейший источник энергии для России / А.В. Клименко, Б.Ф. Реутов // Экология и жизнь – 2006. - № 11. – С. 16.
6. Кулагина, Т.А. Рациональное использование отходов на примере деревообрабатывающего предприятия / Т.А. Кулагина, Е.Н. Писарева, Д.В. Слабодчикова, В.В. Ушакова // Вестн. МАНЭБ. Т.14. – 2009. - №6. – С. 105–112.
7. Колосов, Е. М. Альтернатива традиционным источникам энергии / Е. М. Колосов // Дерево.RU. – 2003. – № 5. – С. 31–34.
- 8/ Денк, С.О. Возобновляемые источники энергии. На берегу энергетического океана / С.О. Денк. – Пермь.: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 288 с.

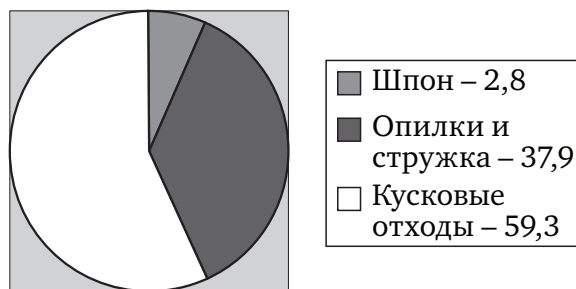


Рис. 1. Структура сбросной массы отходов лесопиления

## ЭНЕРГЕТИКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ – НОВАЯ ПЛАТФОРМА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРОДОВ

А.В. Праховник<sup>1</sup>, А.Л. Шпак<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет «Киевский политехнический институт»,  
г. Киев, Украина

<sup>2</sup> ОАО «Хмельницкоблэнерго», Украина

В прошлом столетии введено понятие «устойчивое развитие – sustainable development». В частности, термин «устойчивое развитие» рассматривается как развитие, при котором удовлетворяются потребности в настоящем, не вступая в компромисс со способностью будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности и характеризует гармоничный, сбалансированный, бесконфликтный прогресс всей нашей цивилизации, отдельных стран или их групп. При этом позитивно решается комплекс проблем сохранения окружающей среды. Естественно, для обеспечения устойчивого развития общества, должны быть обеспечены соответствующие условия функционирования всех его подсистем, среди которых, одной из важнейших является энергетика.

Даже поверхностный анализ отечественной электроэнергетики показывает, что ее состояние близко к критическому: более 60% энергоблоков тепловых электростанций, 40% ВЛ, 70% трансформаторных подстанций исчерпали свой граничный технический ресурс. По мнению экспертов, уже сейчас отставание отрасли от современных мировых технологий составляет не менее 15 лет.

В этой связи есть необходимость в неотложном принятии неординарных мер и формировании новой современной стратегии развития электроэнергетики, в максимальной степени учитывающей экономические, экологические и социальные особенности страны.

С появлением новых конкурентоспособных технологий выработки энергии, в мире началось достаточно агрессивное вмешательство, так называемой, «зеленой» энергетики (источники распределенной генерации, основанные на возобновляемых источниках энергии – РГ-ВИЭ) в энергообеспечение потребностей человечества. При этом, четко прослеживается устойчивая динамика снижения как капитальных, так и эксплуатационных затрат, связанных с применением альтернативной энергетики, что выгодно отличает ее от традиционной. Вместе с тем, параллельно с этим появились и стремительно развиваются новые эффективные источники малой энергетики, основанные на традиционных технологиях, но имеющие высокие показатели использования первичного органического топлива, а значит, не только обеспечивающие его экономию, но и оказывающие меньшее негативное влияние на экологию (источники распределенной генерации с низким влиянием на экологию – РГ-НВЭ).

Вне зависимости от того, как скоро останется позади крупномасштабная централизованная модель электроэнергетики, как бесспорный реликт XX века, человечество уже вступило в период создания децентрализованных систем, которые в большинстве случаев оказываются экономически и экологически более привлекательными. Но ближайшее будущее мира за интегрированными системами энергоснабжения потребителей. Поэтому сегодня исключительно важной задачей является обеспечить «сосуществование» бесконфликтным, гармоничным и максимально эффективным интегрированных систем.

В этой связи в Европейском Союзе, США и др. странах принята новая платформа энергообеспечения European Technology Platform SmartGrids. Для Украины предлагается новая типовая платформа, применимая для условий любого конкретного региона (рис. 1).



Рис. 1. Энергетика устойчивого развития региона

На первом этапе исследований предусматривается рассмотрение ограниченного круга источников распределенной генерации, поскольку ряд перспективных потенциальных источников (например, таких как топливные ячейки) еще не появился на рынке энергетического оборудования Украины. По мере появления возможности их широкого промышленного применения они будут вовлечены в построение единой системы без существенной коррекции, представленной платформой. На первом этапе исследований предусматривается решение следующего круга вопросов.

### **1. Эффективное энергопотребление**

Включены вопросы энергосбережения на промышленных объектах, объектов городского хозяйства, включая гостиничные и курортно-оздоровительные комплексы (для соответствующих регионов). Предусматривается создание проекта интеллектуального энергоэффективного дома, в котором используются новые энергосберегающие технологии распределенной генерации, современные технологии сооружения ограждающих конструкций (для существующих зданий предусматривается их термомодернизация или термореконструкция) с учетом обеспечения эффективного микроклимата зданий и помещений, независимая система водоснабжения и водоочистки, современные методики по выбору энергоэффективных потребителей энергии, а также применяется интеллектуальная система управления, обеспечивающая функционирование объекта.

### **2. Модернизация традиционной энергетики**

Предусматривается выработка рекомендаций по модернизации действующего генерирующего оборудования и совершенствование оперативно-диспетчерского управления существующей системой энергообеспечения с учетом перспективы ее интеграции с децентрализованными системами.

Для эффективного управления режимами энергетических систем, в частности систем электроснабжения, потребуются коррекция методов решения большинства традиционных задач: выбора нормальных схем электрических сетей, компенсации реактивной мощности, определения параметров средств регулирования напряжения, секционирования воздушных распределительных линий, и т.д. Более того, очевидно, что в условиях широкого применения средств распределенной генерации и аккумулирования энергии даже методы нормирования потерь электрической энергии, определения их отчетных значений в том виде, в каком они используются сегодня, не будут работать корректно.

### **3. Широкое применение распределенной генерации РГ-ВИЭ и РГ-НВЭ**

Выбор наиболее рациональной номенклатуры источников распределенной генерации, их параметров и зон размещения, способов агрегирования с целью формирования виртуальных электрических станций или микросистем.

**При использовании распределенной генерации РГ-ВИЭ рассматриваются:**

- тепловые насосы с питанием от другого возобновляемого источника;
- сетевые ветроэнергетические установки;
- автономные ветроэнергетические установки;
- фотоэлектрические установки;
- солнечные коллекторы;
- агрегаты, использующие первичное энергетическое биосырье
- агрегаты, использующие вторичное энергетическое биосырье
- геотермальная энергия;
- строительство виртуальных энергостанций (ВрЭС).
- малые ГЭС.

**Широкое использование источников распределенной генерации на базе органического топлива:**

- когенерационные установки (КУ);
- дизель генераторы;
- теплоснабжение объектов на базе электрических тепло аккумулирующих систем (ТАС);
- комбинированные системы теплоснабжения объектов с использованием КУ и ТАС.
- тепловые насосы с питанием от электрической сети общего назначения.

Во многих случаях, в подобных структурах энергоснабжения планируется использование накопителей энергии и тепловых насосов, которые могут быть задействованы в периоды пиковых нагрузок.

#### 4. Развитие накопителей энергии разной физической природы

В большинстве случаев планируется использование накопителей энергии, которые направлены на повышение эффективности покрытия нагрузок в разные периоды суточного и сезонного спроса на электрическую энергию. Применение накопителей позволяет повысить эффективность функционирования энергетических компаний и электроснабжения потребителей за счет компенсации недостаточной пропускной способности элементов системы, управления реактивной мощностью, регулирования напряжения. Обеспечивается надлежащий уровень надежности электроснабжения, управление режимами энергетических систем в условиях функционирования конкретного энергорынка и снижение выбросов в атмосферу.

Отдельно следует выделить вопрос создания, так называемой, маневренной нагрузки. В качестве такой нагрузки может рассматриваться, например, теплоаккумулирующее электроотопление, которое использует электроэнергию в ночное время, обеспечивая комфортные условия проживания людей. Подобные решения в большинстве случаев дают интегральный эффект: выравнивают суточный график электрических нагрузок, снижают требуемый объем маневренной генерации, упрощают обеспечение нормируемого качества электрической энергии т.д.

Интеграция источников распределенной генерации и накопителей энергии в централизованные системы энергоснабжения осуществляется посредством SmartGrids технологий, которые используют усовершенствованную инфраструктуру измерений. Эта инфраструктура позволяет расширить функциональные возможности интегрированной системы посредством использования общих аппаратных средств и единого программного обеспечения. Она способна собирать данные и передавать их другим системам, пересылать информацию через сеть в обратном направлении, т.е. к измерительным приборам для инициирования сбора дополнительных данных, контроля состояния электрооборудования, обновления математического обеспечения. Более того, интеллектуализация сетей дает возможность реализовать функции автоматического обнаружения повреждений, их локализации, изоляции и восстановления электроснабжения. Экономичность их управления достигается за счет возможности комплексного воздействия на параметры режима. Например, регулирование напряжения помимо использования традиционных средств может быть реализовано путем изменения генерации активной или реактивной мощности, воздействием на средства аккумулирования энергии, управлением нагрузкой. Основой управления SmartGrid является интеллектуальная распределительная система менеджмента (Smart Distribution Management System – SDMS).

В условиях энергетики устойчивого развития эффективность управления процессами генерации, распределения и использованием энергии осуществляется на основе системы энергетического менеджмента.

Повышение энергоэффективности рассматриваемого объекта (генерации, распределения и/или электропотребления) обеспечивается использованием системы энергетического менеджмента, которая осуществляет: менеджмент энергетических данных, менеджмент энергоснабжения, менеджмент энергопотребления (рассматривают собственно процессы энергопотребления соответствующего объекта) и менеджмент энергетических проектов, нацелены на повышение эффективности использования энергии.

## УСКОРЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

*В.М. Екатеринбург, М.П. Баранова*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Современные автомобильные бензины должны удовлетворять ряду требований, обеспечивающих экономичную и надежную работу двигателя: иметь хорошую испаряемость, позволяющую получить однородную топливовоздушную смесь оптимального состава при любых температурах; иметь оптимальный групповой углеводородный состав, обеспечивающий устойчивый, бездетонационный процесс сгорания на всех режимах работы двигателя; не изменять своего состава и свойств при длительном хранении и не оказывать негативного влияния на топливную систему, резервуары, резинотехнические изделия и др.

По составу автомобильные бензины представляют собой смесь углеводородов, получаемых в результате перегонки нефти. Компонентный состав бензина зависит, в основном, от состава исходного сырья и технологичности процессов и оборудования. Одним из основных свойств автомобильного топлива является его детонационная стойкость, выражаемая в условных единицах октанового числа (ОЧ) [1].

Базовым компонентом для выработки автомобильных бензинов являются обычно бензины каталитического риформинга или каталитического крекинга. Бензины каталитического риформинга характеризуются низким содержанием серы, в их составе практически отсутствуют олефины, поэтому они высокостабильны при хранении. Однако повышенное содержание в них ароматических углеводородов с экологической точки зрения является лимитирующим фактором [2]. К их недостаткам также относится неравномерность распределения детонационной стойкости по фракциям. В составе бензинового фонда России доля компонента каталитического риформинга превышает 50%. Бензины каталитического крекинга характеризуются низкой массовой долей серы, октановыми числами по исследовательскому методу 90-93 единицы. Содержание в них ароматических углеводородов составляет 30-40%, олефиновых – 25-35%. В их составе практически отсутствуют диеновые углеводороды, поэтому они обладают относительно высокой химической стабильностью (индукционный период 800-900 мин.). По сравнению с бензинами каталитического риформинга для бензинов каталитического крекинга характерно более равномерное распределение детонационной стойкости по фракциям [3].

Таким образом, детонационная стойкость бензина напрямую зависит от его углеводородного состава. Наибольшей детонационной стойкостью обладают ароматические углеводороды, меньшей – изопарафиновые углеводороды [4]. Соответственно качество бензина в рамках одного марочного состава характеризуется содержанием фракции того или другого углеводорода.

Целью данной работы является разработка методики и проектирование установки экспресс-анализа топлив опирающейся на основные свойства топлива (фракционный состав и плотность).

Теоретической основой разработанного метода послужила физико-химическая связь таких свойств нефтепродуктов, как плотность, масса узких фракций, температура кипения. Метод основан на идентификации углеводородов, с применением количественного анализа и последующей математической обработкой полученных характеристик.

В ходе работы разработанным методом определялось качество бензинов марок Аи-80 (Нормаль-80), Аи-92 (Регуляр-92) производства Ачинского НПЗ, Омского НПЗ и Сургутского ЗСК.

В процессе проведения измерений товарный бензин подвергался разделению на фракции, испаряющиеся от начала кипения до конца кипения с интервалом 5% по массе отогнанной фракции и фиксирование значений плотности, отогнанной фракции.

В соответствии с поставленной задачей была разработана и смонтирована установка, блок-схема которой представлена на рис.1.

Анализ данных показал, что бензин марки Аи-80, Аи-92, производства Сургутского ЗСК, испаряется быстрее, чем бензин марок Аи-80, Аи-92, производства Ачинского НПЗ, что указывает на разный фракционный состав бензинов в диапазоне испарения отогнанной фракции. Учитывая, что в основе работы двигателя лежит тепловой баланс процесса сгорания топливной смеси, то можно сделать вывод, что бензин производства Сургутского ЗСК требует меньших затрат энергии, чем бензин производства Ачинского НПЗ.





Рис. 1. Блок-схема работы установки для определения качества фракционного состава топлива

Различия состава бензиновых фракций замечены при определении плотности отогнанных фракций. Изменение плотности фракционного состава бензинов показывает, что содержащиеся углеводороды имеют существенное отличие в своем молекулярном строении на всем диапазоне температур испарения, а как следствие режимы работы двигателя будут неодинаковы.

Топливо, имеющее незначительные различия плотности фракций во всем диапазоне температур испарения, будет качественнее, чем топливо, содержащее фракции с большими разностями плотностей.

Под термином качество в данном случае понимается определенный количественный состав фракций, который определяет потребительские характеристики бензина в одном марочном диапазоне.

Предлагаемый метод позволит определять качество моторных топлив адекватно и, что очень важно, быстро.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам./А.М. Кулиев// М.- Химия.- 1985. с. 412.
2. Синельников А.Ф. Автомобильные масла/ А.Ф. Синельников, В.И. Балабанов// Краткий справочник. –М.– 2005.– с. 124
3. Кузнецов А.В. Топливо и смазочные материалы. М.– КолосС.– 2004.– с. 57.
4. Бутовский М.Э. Топлива: Учеб. Пособие для студентов вузов. Рубцовск. 2003.



## ЭКОЛОГО-ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПО УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЭЦ ДЛЯ ТАЯНИЯ СНЕГА С ЦЕЛЮ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ г. КРАСНОЯРСКА

В.А. Дубровский<sup>1</sup>, А.И. Матюшенко<sup>2</sup>, С.И. Островский<sup>3</sup>, К.В. Гупалов<sup>4</sup>,  
М.Ю. Потылицын<sup>1</sup>, Ж.Л. Евтихов<sup>1</sup>, Н.В. Третьяк<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> ООО «КрасКом», г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Департамент городского хозяйства, г. Красноярск, Россия

<sup>4</sup> Управление по охране окружающей среды, г. Красноярск, Россия

Ежегодно г. Красноярск сталкивается с проблемой уборки снега и вывоза его за черту города, что требует больших транспортных расходов. Кроме того, при таянии снега в грунт и водоемы попадает огромное количество вредных для здоровья человека веществ.

Наряду с этим ТЭЦ г. Красноярска сбрасывают до 25000 м<sup>3</sup>/час теплой воды с температурой до 25 °С в Енисей после охлаждения конденсаторов паровых турбин, тем самым увеличивая тепловое загрязнение.

Таким образом, актуальной задачей является создание эколого-энергосберегающей технологии для таяния снега с использованием тепла оборотной системы водоснабжения ТЭЦ.

На кафедре ТЭС ПИ СФУ была разработана и запатентована эколого-энергосберегающая технология использования сбросной воды ТЭЦ для организации таяния снега, представленная на рисунке 1.

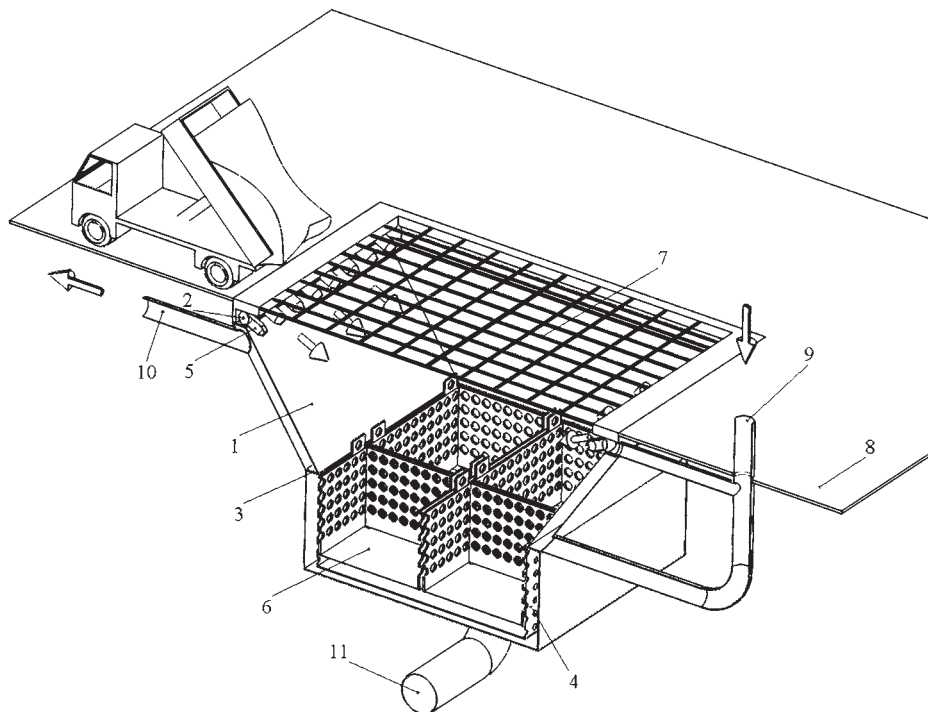


Рис. 1. Принципиальная схема снеготаялки: 1 – приемный бункер; 2 – душевой коллектор; 3 – поперечная перегородка; 4 – перфорированная внутренняя стенка бункера; 5 – разбрызгивающее сопло; 6 – контейнер с перфорированными стенками; 7 – съемная решетка; 8 – уровень земли; 9 – подача теплой сбросной воды от ТЭЦ; 10 – сброс охлажденной воды от ТЭЦ; 11 – сброс воды в канализацию

Данное устройство состоит из обогреваемого приемного бункера 1, расположенного ниже уровня земли. Он представляет собой прямоугольный корпус с двойной стенкой, с проточной системой нагрева. Между наружной и внутренней стенкой нижней части приемного бункера установлена поперечная перегородка 3, ниже которой внутренняя стенка бункера представляет собой перфорированную ленту 4.

Душевой коллектор 2 выполнен в виде закольцованной трубы, размещенной вдоль всего периметра внутренней стенки верхней части приемного бункера. По всей длине коллектора расположены разбрызгивающие сопла 5 под углом, направленном в центр приемного бункера. На днище бункера размещены в плотном контакте съемные контейнеры 6 прямоугольной формы с перфорированными стенками. Верхние торцы контейнеров окантованы уголками с проушинами. Над загрузочным окном приемного бункера располагается тельфер, с помощью которого производится подъем контейнеров для очистки их от мусора. Загрузочное окно приемного бункера закрыто съемной решеткой 7 для предварительного измельчения снега и отбора крупного мусора.

Принцип действия снеготаялки заключается в следующем. С помощью насоса в пространство между стенками и на душевой коллектор подается сбросная теплая вода от ТЭЦ, тем самым обогревая приёмный бункер, куда через загрузочные окна из самосвалов загружается снег, удаляемый с городских территорий. Так как внутренняя стенка приемного бункера выполнена с наклоном превышающим угол естественного откоса, снег, нагреваясь от внутренней стенки бункера, перемещается в съемные контейнеры и попадает под «душ» теплой воды из сопел душевого коллектора, вследствие чего происходит интенсивное таяние снега.

Растаявший снег вместе со сбросной водой удаляется через перфорированные стенки контейнеров, при этом мусор оказавшийся в снеге, задерживается в контейнерах. Далее вода через внутреннюю перфорированную стенку бункера поступает в грязесборник, из которого грязь периодически отсасывается илососом, а осветленная вода через перелив поступает в канализацию для последующей очистки.

Выполнение перфорированной решетки по всему периметру нижней части внутренней стенки бункера исключает ее заиливание.

Внедрение предлагаемой технологии утилизации сбросного тепла воды от ТЭЦ после охлаждения конденсаторов паровых турбин для использования таяния снега позволит решить следующие проблемы г. Красноярска:

- утилизировать огромное количество низкопотенциального тепла от ТЭЦ;
- обеспечить малозатратное и эффективное таяния снега;
- решить вопросы экологии при уборке снега;
- снизить транспортные расходы на вывоз снега;
- снизить затраты на сооружение снегоотвалов.

## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АВР С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ УПРАВЛЕНИЯ

*С.И. Гамазин, С.А. Цырук, А.И. Куликов*

ГОУ ВПО «Московский энергетический институт (технический университет)»,  
г. Москва, Россия

Возникающие вследствие КЗ в сетях 10, 6 и 0,4 кВ короткие провалы и перенапряжения вызывают кратковременные нарушения нормального электроснабжения потребителей. При этом происходят сбои в работе приводов различных механизмов, микропроцессорной техники, систем телекоммуникаций и т. д.

Одним из средств защиты и повышения надежности электроснабжения являются быстродействующие устройства АВР (БАВР).

Традиционное устройство АВР на напряжение 6-10 кВ получило широкое распространение в системах электроснабжения. Однако оно имеет недостатки, существенно снижающие эффективность его функционирования:

- вследствие отстройки устройства от любых внешних КЗ в электрических сетях 90% провалов напряжения, нарушает электроснабжение потребителей;
- при КЗ или несанкционированных отключениях в цепи питания требуются гашение поля у синхронных двигателей (СД) и задержка включения секционного выключателя до момента, пока напряжение на потерявшей питание секции не снизится до допустимого значения (как правило, до  $0,8U_{ном}$ ). В связи с этим время цикла АВР может составить 3-5 с, и двигатели, потерявшие питание секции, успеют затормозиться;
- после включения секционного выключателя можно допустить самозапуск двигателей суммарной мощностью не более 30% номинальной мощности трансформатора, а остальные следует подключать поочередно. Для СД необходима ресинхронизация, однако некоторые СД с шихтованным ротором (например, СД серии СДК) под нагрузкой не синхронизируются;
- самозапуск двигателей происходит в тяжелом режиме (при снижении напряжения до  $0,85U_{ном}$ ), а переходные процессы даже при успешном самозапуске затягиваются на 10 с и более.

Все это приводит к экономическим ущербам с нарушением непрерывности технологических процессов и может являться причинами возникновения гидравлических ударов, повреждения трубопроводов и оборудования насосных станций при переключении на резервный источник за время более  $0,12 \div 0,15$  с.

Этих недостатков лишены быстродействующие устройства АВР второго поколения на базе вакуумных выключателей (с заменой вводных и секционных выключателей на выключатели типов VM-1T, Evolis, ВБЭ, ВВ/TEL) и микропроцессорного пускового устройства (ПУ) МЭИ-Бреслер разработки кафедры Электроснабжения промышленных предприятий МЭИ (ТУ). Максимальное время переключения на резервный источник выключателями VM-1T и ВБЭ составляет  $22 \div 45$  мс, а выключателями Evolis и ВВ/TEL —  $55 \div 80$  мс.

С помощью аналого-цифровых преобразователей ПУ с частотой управления 1200 Гц непрерывно измеряются мгновенные значения токов на вводах и напряжений на резервируемых секциях [2]. Результаты измерений (по 24 значения) поступают в микропроцессорный контроллер, который осуществляет их программную обработку и в соответствии с алгоритмами выдаст команды на работу БАВР.

Поскольку тактовая частота контроллера составляет мегагерцы, то программная обработка выполняется практически мгновенно и время реакции на аварийный режим не превышает периода, т. е. 0,02 с. В аварийных режимах одновременно выдаются команды на отключение вводного и включение секционного выключателей. Так как время отключения  $t_{откл}$  меньше времени включения полное время цикла БАВР  $t_{ц} = 0,02 + t_{вкл}$ .

Функционирование ПУ микропроцессорного БАВР осуществляется по следующему алгоритму [2]. При направлении мощности от источника к потребителю устройство БАВР никогда не срабатывает. Тем самым обеспечивается его отстройка от КЗ в сети 6-10 кВ за вводным выключа-

телем. Если направление мощности через вводный выключатель изменяется и напряжение прямой последовательности на одной из секций оказывается меньше напряжения уставки (или угол между напряжениями на резервных секциях превышает угол уставки), то выдаются сигналы на отключение вводного и включение секционного выключателей.

Направление мощности, на которое реагирует устройство БАВР, определяется знаком выражения

$$T = U_n I_n \cos(\varphi + \delta_{мч}), \quad (1)$$

где  $U_n$  и  $I_n$  – напряжение на секции и ток на вводе прямой последовательности;  $\varphi$  – фаза тока  $I_n$  по отношению к напряжению  $U_n$ ;  $\delta_{мч}$  – угол максимальной чувствительности [3].

Обычно  $\delta_{мч}$  принимается равным - 45 °С. При этом выражение (1) преобразуется к виду:

$$T = \frac{\sqrt{2}}{2} (U_n I_n \cos \varphi + U_n I_n \sin \varphi) = \frac{\sqrt{2}}{2} (P + Q), \quad (2)$$

где  $P$  и  $Q$  — активная и реактивная мощности на вводе.

Таким образом, ПУ реагирует на знак мощности, равной сумме активной и реактивной мощностей на вводе. В нормальном режиме мощность  $T$  положительна.

При любых КЗ или отключениях в цепи питания либо при внешних КЗ в элементах электрической сети (до БАВР), электрически близких к центру питания, знак мощности  $T$  изменяется, и устройство БАВР готово к работе в соответствии с функционированием ПУ.

Итак, по сравнению с устройством АВР БАВР обладает следующими преимуществами: за счет его быстрейшего действия СД не теряют синхронизма и не требуется их ресинхронизация; после срабатывания БАВР двигатели остаются в работе; токи статорной обмотки двигателя, подключенного к потерявшей питание секции, после включения секционного выключателя не превышают  $(2 \div 2,5) I_n$ ; переходные процессы заканчиваются за десятые доли секунды; БАВР обеспечивает надежность электроснабжения не только при КЗ и отключениях в цепи питания, но и при внешних КЗ в элементах электрической сети (до БАВР), электрически близких к центру питания.

Использование микропроцессорного ПУ в БАВР позволяет: обоснованно выбирать значения его уставок и параметров реагирования благодаря регистрации реальных значений этих параметров при настройке БАВР; регистрировать и воспроизводить осциллограммы переходных процессов при достижении значений уставок любым параметром реагирования ПУ; перепрограммировать БАВР для работы в распределительных устройствах (РУ) с различным числом секций, разным числом вводов па секцию. Микропроцессорное ПУ БАВР может быть использовано в РУ не только 6÷10 кВ, но и 35 кВ (с вакуумными или элегазовыми выключателями), а также 0,4 кВ. Предварительные исследования в РУ 0,4 кВ с вакуумными контакторами показали, что максимальное время цикла БАВР не превышает 55 мс.

Правильность выбора параметров настройки БАВР определяется расчетом по реальной схеме электроснабжения предприятия с учетом структуры и конфигурации электрической сети, фактической электрической нагрузки [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С.И. Гамазин, В.М. Пупин, Ю.В. Марков, Обеспечение надежности электроснабжения и качества электроэнергии. – Промышленная энергетика, 2006, №11.
2. Пат. 63991 РФ. Устройство автоматического включения резервного электропитания потребителей / С.А. Цырук, С.И. Гамазин, В.М. Пупин и др. – Оpubл. в ФСИСПТЗ, 2007.
3. Г.С. Нудельман, Э.К. Федоров, Пусковое устройство быстрейшего АВР для КРУ 6-10 кВ типа БЭ8302. – Электрические станции, 1993, №2.
4. С.А. Цырук, Энергосберегающие и импортозамещающие технологии. – Кабель-news, 2010, №3, стр. 86-87.

## ГЕТЕРОГЕННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ

*З.Н. Есина, М.Р. Корчуганова*

ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Россия

Рациональное использование невозобновляемых источников энергии, таких как нефть, уголь, природный газ, является одной из важнейших задач теплоэнергетики. Во многих странах приняты программы, в рамках которых разрабатываются методы накопления энергии и конструируются теплоаккумуляторы и хладоаккумуляторы, основанные на принципе фазовых переходов. В работе [1] отмечено, что рекомендации для перспективных проектов аккумулирования тепла должны опираться на всесторонние научные исследования и создание базы данных по термодинамическим свойствам. Такие проблемы, как построение моделей кривых гетерогенных равновесий в широком диапазоне температур и давлений и определение точек экстремума на кривых сосуществования фаз, не находили до последнего времени своего комплексного решения.

Аккумуляторы рассчитывают, принимая во внимание определенную температуру, при которой происходит фазовый переход твердое тело – жидкость в данной композиции. Для достижения требуемых свойств: химической стойкости, устойчивости к коррозии корпуса аккумулятора и др., в качестве рабочего тела применяются многокомпонентные системы, включающие соли, алканы, жирные кислоты, гликоли и их эфиры. В процессе плавления фазопереходного материала (ФПМ) температура остается постоянной и происходит накопление тепла, которое может расходоваться при понижении температуры. Важно знать, как поведут себя солнечные аккумуляторы при длительном воздействии солнечной радиации или теплохладоаккумуляторы в случае повышенных температур и давлений. Таким образом, необходимо также исследовать фазовый переход жидкость-пар и найти параметры возможных точек азеотропии, а также построить фазовые диаграммы зависимости температуры и давления от состава в жидкости и паре. Минимизация избыточной энергии Гиббса по параметру ассоциации  $\lambda = \lambda_1/\lambda_2$ , отношению числа молекул в ассоциатах чистых компонентов [2], приводит к уравнению, моделирующему диаграмму фазового равновесия жидкость-твердое тело при  $P = const$ :

$$T(z_1) = [\Delta H_1^E z_1 + \Delta H_2^E (1 - z_1)] / [(\Delta H_1^E / T_1^0) z_1 + (\Delta H_2^E / T_2^0) (1 - z_1) - R(z_1 \ln z_1 + (1 - z_1) \ln(1 - z_1))],$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура ликвидуса;  $\Delta H_i^E$  – энтальпия плавления и  $T_i^0$  – температура плавления компонента, образующего однокомпонентную фазу,  $i = 1, 2$ ;  $z_1 = x_1 / [x_1 + \lambda x_2]$ ,  $z_2 = x_2 / [(x_1 / \lambda) + x_2]$  – эффективные мольные доли компонентов бинарной смеси;  $x_1, x_2$  – мольные доли компонентов раствора. Эта модель применяется также для описания кривой сосуществования жидкость-пар. При  $T = const$  моделирование основано на данных о молярном избыточном объеме  $V^E$ , который рассчитывается, исходя из плотности чистых компонентов и плотности раствора [3]. Минимизация избыточной энергии по параметру  $\lambda$  приводит к математической модели фазового равновесия при  $T = const$ :  $P(z_1) = [z_1 P_2^0 V_1^E + (1 - z_1) P_1^0 V_2^E] / V^E$ , где  $V^E$  – избыточный молярный объем раствора и  $V_i^E$  парциальные избыточные молярные объемы;  $P_i^0$  – давление насыщенного пара чистых компонентов,  $i = 1, 2$ . Параметры азеотропа, в случае его образования, найдем из условия  $dP/dz_1 = 0$ , откуда следует уравнение  $z_1 P_1^0 V_1^E + (1 - z_1) P_2^0 V_2^E = P_2^0 V^E$ . Эти параметры затем используются при моделировании P-x сечений фазовых диаграмм бинарных систем с образованием азеотропа. В результате применения метода минимизации возможно определять состав в эвтектических точках, рассчитывать фазовые диаграммы и находить тепловые характеристики системы. По данным о двойных системах рассчитываются тройные и многокомпонентные системы. Применение процедуры термодинамического согласования экспериментальных и расчетных характеристик позволяет выявить параметры сольватации и ассоциации и уточнить формулу возникающего молекулярного соединения. Данные о параметрах, характеризующих взаимодействие молекул в жидкости с учетом информации о процессах димеризации и полимеризации в паре, используются затем для определения энтальпии испарения при бесконечном разбавлении. Это позволяет сделать точный прогноз о параметрах азеотропов в системе и дает возможность расчета диаграмм фазового равновесия жидкость-пар. Результаты теоретических исследований согласуются с многочисленными экспериментальными данными о равновесии жидкость-пар и параметрах точек азеотропии.



Сравнение экспериментальных данных о равновесии жидкость – пар, и особенно, азеотропных данных, с результатами, полученными путем моделирования, позволит уточнить данные для температуры плавления и скрытой теплоты плавления чистых компонентов ФПМ, приведенные в литературе со значительным разбросом. На рис. 1 приведены результаты моделирования диаграмм фазовых равновесий жидкость – твердое тело и жидкость – пар для системы этиленгликоль-тридекан при постоянном давлении.

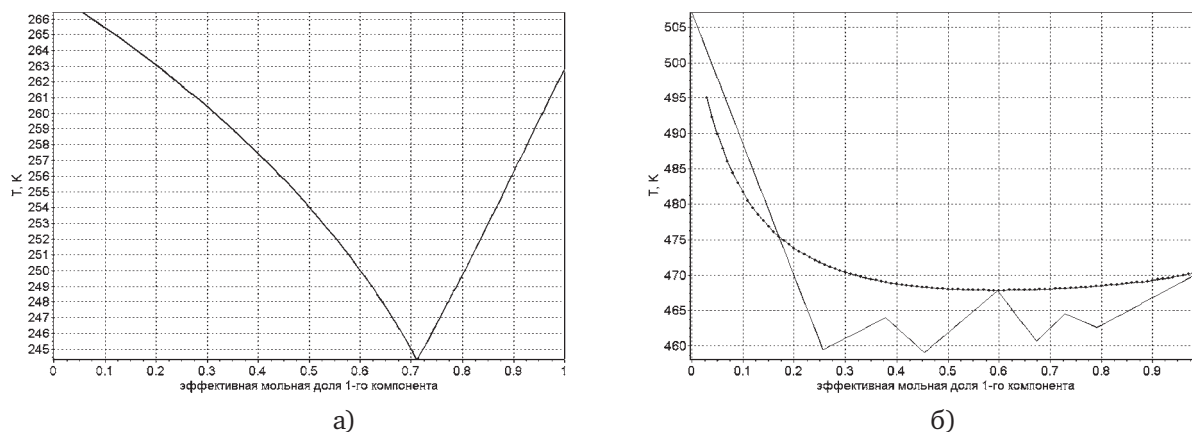


Рис. 1. а) диаграмма плавкости; б) зависимость температуры кипения от эффективной мольной доли этиленгликоля в жидкости для системы этиленгликоль-тридекан при  $P = 101,3 \text{ кПа}$ , ломаными линиями соединены возможные точки азеотропии, из них кружком выделен реально существующий азеотроп

Параметры эвтектики теоретические:  $T_{эв} = 244,32 \text{ К}$ ;  $x_{1эв} = 0,45 \text{ масс}$ ;  $H_{эв} = 187,53 \text{ Дж/кг}$ . Параметры азеотропа: экспериментальные –  $T_{аз} = 461,15 \text{ К}$ ;  $x_{1аз} = 0,55 \text{ масс}$ ; теоретические –  $T_{аз} = 460,64 \text{ К}$ ;  $x_{1аз} = 0,51 \text{ масс}$ . Параметр ассоциации при температуре плавления  $\lambda = \lambda_1/\lambda_2 = 23/12 = 1,92$ . С учетом явлений полимеризации этиленгликоля параметр ассоциации при температуре кипения  $\lambda = \lambda_1/\lambda_2 = 5,75$ . В азеотропе получен множитель 3 для кластера молекул этиленгликоля и множитель 2 для молекул тридекана. В итоге при образовании азеотропа возникает устойчивое молекулярное соединение  $17 (\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) \times 2 (\text{C}_{13}\text{H}_{28})$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kenisarin M. Solar energy storage using phase change materials / M. Kenisarin, K. Mahkamov / Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2007. – №11. – P. 1913-1965.
2. Есина З.Н. Математическое моделирование параметров двойной и тройной эвтектики в теплоаккумулирующих системах / З.Н. Есина, А.М. Мирошников, М.Р. Екимова, Н.П. Есин // Математические методы в технике и технологиях: Материалы XX Международной научной конференции. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2007. – С. 29-30.
3. Есина З.Н. Математическое моделирование фазовой диаграммы бинарной системы / З.Н. Есина, В.В. Мурашкин, М.Р. Корчуганова, Н.П. Есин // Математические методы в технике и технологиях -ММТТ-21./ сб. трудов XXI Международ. науч. конф.: в 10 т. – Т. 5. Секция 11 / под общ. ред. В.С.Балакирева. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2008. – С. 152-154.



## СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ

В.М. Журавлев<sup>1</sup>, Е.Н. Чернявская<sup>2</sup>, Т.А. Кулагина<sup>1</sup>, С.И. Клименков<sup>2</sup>, Е.Н. Писарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> ЗАО «Зеленый город», г. Красноярск, Россия

Экологический и эстетический вопрос, который касается твердых промышленных и бытовых отходов, является актуальным во всех городах России. По данным Федеральной целевой программы «Отходы», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации 13 сентября 1996 года № 1098, в Российской Федерации ежегодно образуется около 7 млрд тонн твердых отходов, особую опасность из которых представляют токсичные отходы, в том числе содержащие канцерогенные вещества.

За 2007 год в Красноярском крае образовалось 199,5 млн тонн отходов, из которых на долю 1 класса опасности приходится 0,00007%, что составляет 139,7 тонн; 2 класса опасности 0,0004% – 798,0 тонн; 3 класса опасности 0,098% – 0,19 млн тонн [1].

Необходимо учитывать, что твердые промышленные и бытовые отходы при неправильном захоронении могут являться источником попадания опасных и вредных химических, биологических и биохимических веществ во внешнюю природную среду. Это вызывает негативное воздействие и угрожает жизни и здоровью всего населения города, района, края, а также будущим поколениям, если вывоз мусора и его захоронение осуществляется недостаточно профессионально. Неудивительно, что мегаполисы столкнулись с проблемой утилизации мусора наиболее остро – большинство видов отходов, в том числе промышленные и биологические, нефтешламы и другие, не подлежат захоронению и должны быть обезврежены и переработаны.

К первому классу опасности относятся чрезвычайно опасные отходы, степень вредоносного влияния которых очень высокая. Преимущественно это отходы содержащие ртуть и ее соединения, которые представлены изделиями, устройствами и приборами, потерявшими потребительские свойства: отработавшие ртутные лампы, ртутьсодержащие трубки, ртутные вентили и термометры, приборы и брак.

При разбивании ртутной лампы, содержащей 80 мг металла, образуется свыше 11 тыс. шариков ртути диаметром 0,01 см с общей суммарной поверхностью 3,53 см<sup>2</sup>. Этого количества ртути, при условии ее полного испарения, достаточно для того, чтобы загрязнить до уровня ПДК помещение объемом в 300000 м<sup>3</sup>.

Ртуть – типичный компонент различных промышленных и бытовых отходов. В районе свалок в окружающей среде всегда отмечаются ее повышенные уровни. На предприятиях, в организациях и в быту используется значительное количество ртутьсодержащих изделий и приборов, которые после выхода из эксплуатации очень часто выбрасываются в мусорный контейнер, а содержащаяся в них ртуть поступает в окружающую среду.

Ртуть является одним из самых опасных загрязняющих окружающую среду металлов. Практически во всех странах она входит в «черные списки» химических веществ, подлежащих особому экологическому и гигиеническому контролю.

В зависимости от технологии и типа в каждой люминесцентной или специальной ртутной лампе, особенно широко используемых в нашей стране, содержится от 20 до 300 мг ртути, в наиболее распространенных типах – от 60 до 120 мг, а в некоторых лампах ее количество достигает 350–560 мг. В России в эксплуатации одновременно находится 450–500 млн люминесцентных ламп. Если принять, что в среднем каждая лампа содержит 100–110 мг ртути, то в них находится около 50 т ртути. Около 100 млн ламп ежегодно выходит из строя, большая часть которых до недавних пор в лучшем случае выбрасывались в мусорный бак и вывозились на свалку, т. е. в конечном счете, в окружающую среду ежегодно поступало примерно 10 т ртути.

Серьезной экологической проблемой в настоящее время является загрязнение среды, связанное с расширением парка автотранспорта, увеличение сети АЗС, моек автомобилей, станций технического обслуживания, гаражей, которые в свою очередь образуют и накапливают нефте-содержащие отходы – 3 класса опасности.

Отработанные масла, попадающие в окружающую природную среду, лишь частично удаляются или обезвреживаются в результате природных процессов. Основная же их часть является источником загрязнения почвы, водоемов и атмосферы. Накапливаясь, они приводят к нарушению воспроизводства птиц, рыб и млекопитающих, оказывают вредное воздействие на человека. Таким образом, проблема сбора и утилизации отработанных нефтепродуктов является актуальной, более того, рентабельной и наукоемкой областью.

Нефешламы образуются при строительстве нефтяных и газовых скважин, при промышленной эксплуатации месторождений, очистке сточных вод, содержащих нефтепродукты, а также при чистке резервуаров и другого оборудования. Нефтяные шламы по составу чрезвычайно разнообразны и представляют собой сложные системы, состоящие из нефтепродуктов, воды и минеральной части (песок, глина, ил и т.д.), соотношение которых колеблется в очень широких пределах. Состав шламов может существенно различаться, т.к. зависит от типа и глубины перерабатываемого сырья, схем переработки, оборудования, типа коагулянта и др. В основном, шламы представляют собой тяжелые нефтяные остатки, содержащие в среднем (по массе) 10–56% нефтепродуктов, 30–85% воды, 1,3–46% твердых примесей.

Зачастую предприятия вынуждены накапливать и хранить на своей территории нефешламы из-за недостаточного количества полигонов промышленных отходов, их принимающих, или из-за отсутствия установок по переработке нефтесодержащих отходов, соответственно платя за их хранение. Скапливание нефтеотходов на производственных территориях может привести к интенсивному загрязнению почвы, воздуха и грунтовых вод.

Утилизация промышленных отходов, накопленных на предприятии, является важной стадией производственного цикла и достаточно трудоемким и сложным процессом, для осуществления которого необходимо наличие специального оборудования и, разумеется, высокий профессионализм персонала, поскольку в отработанных материалах, особенно категории промышленных отходов, содержатся вредные для человека и окружающей среды вещества.

Медицинские отходы весьма специфичны. К ним относятся материалы и инструменты, загрязненные кровью, выделения, патологоанатомические, органические операционные отходы, а главное, материалы, контактирующие с заразными больными. Особо опасными являются отходы туберкулезных диспансеров. Можно с уверенностью сказать, что утилизация таких отходов находится не на высоком уровне.

К сожалению, в нашей стране 90% отходов подвергаются захоронению (депонированию) на полигонах, хотя это связано с транспортными расходами и отчуждением больших территорий. Кроме того, полигоны зачастую не соответствуют элементарным санитарно-гигиеническим требованиям и являются вторичными источниками загрязнения окружающей среды. Но если от большинства отходов еще можно сравнительно безопасно избавиться путем депонирования, то некоторые их виды, например медицинские отходы, подлежат обязательной переработке. Они значительно отличаются от остальных отходов и требуют особого внимания. В них кроется опасность для человека, обусловленная, прежде всего постоянным наличием в их составе возбудителей различных инфекционных заболеваний, токсических, а нередко и радиоактивных веществ. К тому же длительность выживания в таких отходах патогенных микроорганизмов достаточно велика. Так, например, если в 1 г бытовых отходов содержится 0,1-1 млрд микроорганизмов, то в медицинских это число возрастает до 200–300 млрд. При этом следует учитывать, что количество «производимых» медицинскими учреждениями отходов имеет тенденцию к интенсивному росту, а вследствие увеличения номенклатуры применяемых средств – еще и к вариативности состава [2].

Все лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ), вне зависимости от их профиля и коечной мощности в результате своей деятельности образуют различные по фракционному составу и степени опасности отходы, поэтому в каждом из них должна быть организована система сбора, временного хранения, обработки и транспортирования отходов. Проблема утилизации медицинских отходов привлекает к себе все более пристальное внимание. Еще в 1979 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) отнесла отходы медицинской сферы к группе особо опасных и указала на необходимость создания специализированных служб по их уничтожению и переработке. Базельская конвенция в 1992 г. выделила 45 видов опасных отходов, список которых открывается клиническими отходами. К 2005 году в мире, по обобщенным данным, их накопилось уже около 1,8 млрд тонн, что составляет примерно 300 кг на каждого жителя планеты.

Современное сельское хозяйство немислимо без широкого применения химических средств. Миллионы тонн минеральных удобрений, тысячи тонн пестицидов и регуляторов роста растений, небольшие по массе, но высокоэффективные кормовые добавки в животноводстве обеспечивают постоянный рост урожайности и увеличение животноводческой продукции.

В сельском хозяйстве существует проблема хранения и утилизации пришедших в негодность пестицидов. Общее количество запрещенных и пришедших в негодность ядохимикатов по разным оценкам составляет от 12 до 15 тысяч тонн. Их физическое состояние, неопределенность химического состава, не везде удовлетворительные условия хранения представляют опасность для природной среды и человека.

В начале 2007 года, по инициативе департамента природных ресурсов и лесного комплекса и Совета безопасности края из резервного фонда Губернатора было выделено более 7 млн рублей, и по результатам первого этапа специалисты собрали порядка восьмидесяти тонн опасных веществ. Однако на территории некоторых районов края ещё оставались склады с просроченными пестицидами и агрохимикатами.

На втором этапе прошел сбор опасных химических веществ и их вывоз на полигон, предназначенный для хранения отходов 1 и 2 классов опасности. Выполнение работ устранило угрозу заражения почвы и подземных вод особо опасными веществами. Для вывоза пестицидов, находящихся в районах, использовались герметичные металлические контейнеры с толщиной стенки не менее 10 мм, а осуществление работ по сбору и загрузке вели обученные для проведения данного вида работ специалисты. По результатам, специалисты вывезли свыше 300 тонн опасных отходов из Новоселовского, Каратузского, Ирбейского и Канского и других районов края.

По имеющейся, на тот момент, в агентстве природопользования администрации края информации, в Красноярском крае хранится более 100 тонн пришедших в негодность и запрещенных к применению пестицидов.

В условиях роста городов, с расширением строительства и производства соответственно возрастает объем и состав твердых промышленных и бытовых отходов. С такими темпами ежегодно увеличиваются городские свалки приблизительно на 10%. К чему это может привести? Любую проблему лучше предусматривать заранее и как минимум доверять вывоз мусора компаниям, которые занимаются именно переработкой промышленных и бытовых отходов. Разлагаясь, они отравляют воздух, почву, подземные воды и превращаются, таким образом, в серьезную опасность для окружающей среды и человека. Вот почему «героями дня» становятся эффективные, безотходные, а главное – экологически чистые технологии промышленной переработки мусора.

Закрытое акционерное общество «Зелёный город» г. Красноярск является одной из немногих компаний в России, занимающихся размещением отходов 1–3 класса опасности.

Обеспечение экологической безопасности является одной из актуальных проблем, в том числе предотвращение загрязнения окружающей среды химическими отходами. Отходы загрязняют воздушный и водный бассейн, приводят к накоплению в почвах вредных веществ, часто превышающих допустимые нормы. В связи с этим вопрос размещения токсичных отходов является первоочередным.

Для решения проблемы по очистке территорий от опасных химических веществ, исключения негативного воздействия на окружающую среду и предотвращения чрезвычайных экологических ситуаций, в 2006 году ЗАО «Зелёный город» был введен в эксплуатацию уникальный объект регионального значения по безопасному размещению отходов 1–3 класса опасности – полигон «Серебристый», который находится на расстоянии 3,1 км юго-западнее с. Кузнецово, Березовского района Красноярского края. Полигон «Серебристый» является третьим в России и единственным в Красноярском крае предприятием, которое может обеспечить экологическую безопасность размещения всего спектра высокотоксичных отходов, соответствует всем гигиеническим и экологическим требованиям для размещения опасных отходов.

В числе отходов, которые могут быть приняты на полигон, основное место занимают химические отходы, в том числе просроченные и запрещенные к применению пестициды и агрохимикаты. В Красноярском крае ведется работа по переупаковке и складированию отходов химического происхождения (пестицидов, агрохимикатов) с истекшим сроком годности, хранящихся в непригодных помещениях с нарушениями действующих санитарных и экологических норм. ЗАО «Зеленый горд» первое предприятие в крае, которое начало заниматься этой проблемой.

В число принимаемых на полигон «Серебристый» входят отходы, содержащие ПХБ (полихлорированные бифенилы), данные вещества являются стойкими органическими загрязнителями первого класса опасности.

Учитывая экологическую актуальность и социальную значимость проблемы переработки опасных отходов, и то, что до сих пор в Российской Федерации нет технологии уничтожения ПХБ-содержащих масел и обезвреживания ПХБ-содержащего оборудования, получивших положительное заключение государственной экологической экспертизы, ЗАО «Зеленый город» ведет подготовительные работы для монтажа технологического комплекса по плазменной утилизации

полихлорбифенилов, пестицидов, и других высокотоксичных отходов. Преимущество технологии – это безопасное уничтожение токсичных отходов широкого класса опасности в любом фазовом состоянии с полным исключением попадания продуктов разложения отходов в атмосферу.

ЗАО «Зеленый город» запущен в эксплуатацию комплекс оборудования, состоящий из установок «Экотром-2» для разделения компонентов ртутьсодержащих ламп и приборов и «Экотром-терм» для термического обезвреживания ртутьсодержащих отходов, с использованием технологии, позволяющей добиться полной нейтрализации данных отходов. Установка «Экотром-2» позволяет вместе с люминофором извлекать из каждой лампы не менее 95-97% содержащейся в ней ртути. Ртутьсодержащий люминофор обезвреживается химическим методом с использованием химического демеркуризатора Э-2000+, который является один из самых эффективных препаратов позволяющий переводить ртуть в безопасную сульфидную форму. Оставшаяся часть ртути поглощается в адсорбере на активированном угле.

Для локализации и устранения последствий аварий, связанных с разливами нефтепродуктов, ЗАО «Зеленый город» оказывает услуги по транспортировке нефтесодержащих отходов с места «образования» до места их конечного размещения на полигоне «Серебристый», а также их дальнейшей утилизации (обезвреживанию, захоронению) с соблюдением всех природоохранных требований Российской Федерации. Обезвреживание производится на специализированной установке «УЗГ-1Мг». Установка обеспечена сертификатом соответствия Госстандарта России и имеет Разрешение на применение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ.

ЗАО «Зеленый город» разработан проект организации экологического мониторинга на полигоне «Серебристый». Проектом предусмотрено создание системы мониторинга водной среды, атмосферного воздуха и почвенного покрова, определен порядок проведения контроля, периодичность отбора проб, состав определяемых ингредиентов. За весь период работы полигона, проведенные количественные химические анализы проб почв, атмосферного воздуха, природных и подземных вод показали полное отсутствие негативного воздействия объекта на окружающую среду и соответствие установленным гигиеническим нормативам.

На основании соглашения об основных направлениях сотрудничества Сибирского федерального университета и ЗАО «Зеленый город» возможно:

- 1) более углубленное изучение и совершенствование технологий безопасного размещения и переработки отходов;
- 2) решение практических и научно-технических задач;
- 3) воспитание экологической грамотности и формирование экологической культуры населения в рамках работы студентов старших курсов при формировании первоочередных мероприятий для сбора у населения ртутьсодержащих отходов (ламп, термометров).

В настоящее время наметились конкретные шаги по частно-государственному партнерству в предотвращении и локализации загрязнения окружающей среды промышленными отходами

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2007 год».

3. Отходы учреждений здравоохранения: современное состояние проблемы, пути решения / Под ред. Л.П.Зуевой. – СПб.: 2003. – 43 с.

## **О ПРИМЕНЕНИИ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ**

*В.М. Журавлев, О.В. Кулешова*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Ресурсбережение и экологизация в условиях современной экономики – один из приоритетных принципов мирового хозяйствования. Особенно актуальна эта задача для России, поскольку энергоемкость российского промышленного производства и сферы социальных услуг оказывается в 2-3 раза выше общемировых показателей.

В связи с этим конкурентоспособность отечественной продукции все больше зависит от рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов.

Но в современных рыночных условиях реализация данных принципов рационального хозяйствования крайне затруднительна, основным приоритетом хозяйствования является максимизация прибыли, и не важно соблюдаются требования рационального использования ресурсов или нет, при этом основное бремя затрат и издержек, как всегда, возлагаются на потребителя, в виде цен и тарифов на услуги!

Тем не менее, и в условиях рыночной экономики можно рационально и эффективно использовать ресурсы, действуя не по отлаженной схеме нормативных показателей, а по принципам, нацеленным на достижение максимального эффекта работоспособности систем, выстроенных на логически рациональной технологической основе на всех функциональных этапах работы.

Оптимизация каждого функционального этапа или бизнес-процесса внутри системы подчиняется минимизирующим потерям работоспособности, и на выходе получается продукт с большими полезными свойствами, то есть общий коэффициент использования ресурсов системы принимает максимальное значение. Эти принципы основываются на эксергетических подходах, учитывающих качество ресурсов – их способность производить работу.

Произведена оценка применения этого подхода в различных природо-технических геосистемах: отраслях промышленных технологий, строительстве, охране окружающей среды, социальных системах.

Эксергетический анализ систем дает качественно новую универсальную меру ресурсов, позволяющую оценить работоспособность, системы, провести анализ энергетических преобразований и синтез экономико-управленческих решений.

Таким образом, эксергетический метод кардинально пересматривает существующую систему нормативных показателей и закладывает в основу рыночной экономики уже не максимизацию прибыли, а использование максимальной работоспособности систем, что и есть по сути, рациональное использования ресурсов. Новое развиваемое направление несет черты «эксергетического менеджмента», необратимо диктующего инновационное развитие экономики и, что важно, вовлечение нетрадиционных источников и преобразователей энергий и ресурсов.



## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

М.С. Басс

Читинский государственный университет, г. Чита, Россия

Снижение энергоемкости ВРП на 42% с 2005 по 2008 гг. в Забайкальском крае выглядит мало правдоподобным, учитывая ситуацию с внедрением мероприятий по энергосбережению. Рост потребления топлива за этот период составил 13%, а рост ВРП – на 95%. Оценивая элементы, которые внесли наибольший вклад в увеличение ВРП видно, что резкий рост «торговли» и «транспорт и связь», являющимися малоэнергоемкими приводит к снижению энергоемкости региона, что указывает на неадекватность этого стандартного показателя.

Для точной оценки энергоэффективности региональной экономики необходимо условное разделение экономики на производственные и непроизводственные сектора (рис. 1). К производственному сектору должны быть отнесены разделы ВРП, которые осуществляют выработку конечного товара (продукции) на территории региона, а непроизводственным услуги и продажа завозного товара.



Рис. 1

Рост ВРП производственного сектора составил 69,2% с 2005 по 2008 гг., непроизводственного 105,5%, потребления энергоресурсов 13%. При этом доля непроизводственного сектора превышает производственный, имея неуклонную динамику роста с 2005 по 2008 гг., она выросла с 2,3 раза до 2,8 раза. Это говорит о слабости экономики Забайкальского края, слабом развитии внутреннего производства, о ее дотационности. При этом с каждым годом ситуацию все ухудшается, население региона, имея достаточную покупательную способность, приобретает в основном завозную продукцию, т.к. кроме сельскохозяйственной продукции и небольшого перечня промышленных товаров ничего конкурентоспособного в нашем регионе не производится.

Данное разделение позволит более точно осуществлять расчет энергоэффективности региональной экономики, т.к. рост оборота непроизводственного сектора имеющего низкое энергопотребление энергоресурсов за 4 года по сравнению с производственным сектором дает заблуждение о снижении энергоемкости ВРП региона, притом, что в регионе не осуществлялись практически никакие масштабные энергосберегающие проекты.

Оценка же энергоемкости производственного сектора ВРП позволяет учесть внедрение и использование мер по энергосбережению более точно, т.к. данный сектор является более энергоемким (составляет %) и эффективность потребления топливных ресурсов является показательным в его себестоимости продукции.



Основой сложностью является корректное разделение экономики региона на сектора но, учитывая сложившуюся статистическую информацию, более правильным будет разделение, как показано на рисунке 1.

Энергоемкость производственного сектора ВРП, кг у.т./руб.:

$$ВРП_{np}^{\varepsilon} = \frac{B_{ПР}}{ВРП_{ПР}},$$

где  $ВРП_{np}$  – производство ВРП производственным сектором, млн руб.,  $B_{ПР}$  – потребление топлива в кг у.т. этими же элементами производственного сектора.

Кроме этого необходимо ввести следующие показатели оценки энергоэффективности экономики региональной экономики:

Они позволяют оценить эффективность производства тепловой и электрической энергии:

– удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию, кг у.т./кВт·ч:

$$b_{\varepsilon}^{ВРП} = \frac{B_{\varepsilon}}{\varepsilon_{ВРП}},$$

где  $\varepsilon_{ВРП}$  – электроэнергия, отпущенная электростанциями, работающими на котельно-печном топливе, тыс. кВт·ч;  $B_{\varepsilon}$  – использовано топлива, т у.т.;

– удельный расход топлива на отпущенную теплоэнергию электростанциями, кг у.т./Гкал:

$$b_{т\varepsilon}^{ВРП} = \frac{B_{т\varepsilon}}{Q_{ВРП}^{т\varepsilon}},$$

где  $Q_{ВРП}^{т\varepsilon}$  – теплоэнергия, отпущенная электростанциями, Гкал;  $B_{т\varepsilon}$  – использовано топлива, т у.т.;

– удельный расход топлива на отпущенную теплоэнергию котельными, кг у.т./Гкал:

$$b_{тк}^{ВРП} = \frac{B_{тк}}{Q_{ВРП}^{тк}},$$

где  $Q_{ВРП}^{тк}$  – теплоэнергия, отпущенная котельным, Гкал;  $B_{тк}$  – использовано топлива, т у.т.

Таблица 1

**Энергоэффективность производства тепловой и электрической энергии региона**

Показатель	2006	2007	2008
Электрическая энергия, отпущенная электростанциями, работающими на котельно-печном топливе, тыс. кВт·ч	5211186	5894729	6275256
Использовано топлива, т у.т.	1983380	1996523	2078208
<b>Удельный расход топлива на отпущенную электроэнергию, кг у.т./кВт·ч</b>	<b>0,381</b>	<b>0,339</b>	<b>0,331</b>
Теплоэнергия, отпущенная электростанциями, Гкал	5106682	5274139	4935249
Использовано топлива, т у.т.	915666	876352	815996
<b>Удельный расход топлива на отпущенную теплоэнергию электростанциями, кг у.т./Гкал</b>	<b>179,3</b>	<b>166,2</b>	<b>165,3</b>
Теплоэнергия, отпущенная котельными, Гкал	3741648	4139735	3925852
Использовано топлива, т у.т.	720166	793303	739430
<b>Удельный расход топлива на отпущенную теплоэнергию котельными, кг у.т./Гкал</b>	<b>192,5</b>	<b>191,6</b>	<b>188,3</b>



Раздел V

---

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
РЕСУРСЫ ПЛАНЕТЫ

## ГЛОБАЛИСТИКА И ЭНЕРГЕТИКА В ГЛОБАЛЬНОМ МИРЕ

*И.А. Пфаненшитель, Л.Н. Пфаненшитель, В.Л. Пфаненшитель*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

*Россию погубила полунаука.*

*И.А. Ильин*

Человечество в начале XXI века подошло к новой «Глобальной бифуркации», которая объективно требует для дальнейшего выживания смены способа взаимодействия общества и природы и появления нового способа, способного преодолеть этот углубляющийся кризис, ведущий к омнициду. Ныне существует способ «в угоду» экономическому и демографическому росту пожертвовал природой, и такая однобокая антропогенная активность привела человечество в настоящее время к социально-экологическому кризису [1. С. 365].

Действительно, весь XX век характеризовался экспоненциальным ростом энергопотребления, который вдвое опережал увеличение численности населения Земли. Даже две мировые войны, поразившие человечество в прошлом веке, не смогли принципиально изменить динамику потребления энергии, которая увеличилась за 120 лет более чем в 15 раз, то есть прирастала каждые 40 лет почти в 2,5 раза. А поскольку энергетика, по существу, являлась основой всей мировой экономики, то каждый процент прироста мирового валового продукта (ВВП) сопровождался увеличением на такую же величину энергопотребления [2. С. 24].

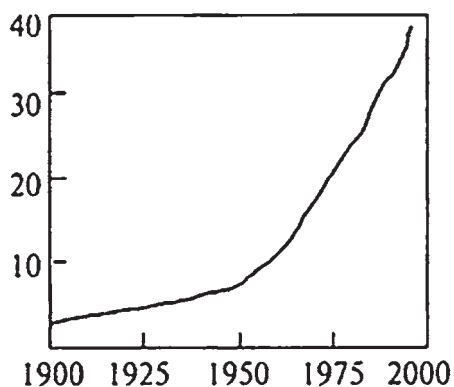


Рис. 1

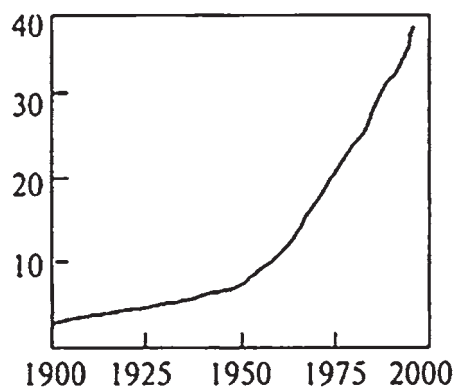


Рис. 2

На рис. 1 показано возрастание мирового валового продукта на протяжении XX века, а на рисунке 2 – мирового потребления энергии. Кривые подобны.

Если в первой половине XX века энергопотребление возросло в 2,7 раза, то во второй половине – в 3,9 раза. Мощный импульс активности, связанный со Второй мировой войной, вылился в бурный, стихийный рост мирового валового продукта, и привел в, конечном счете к неконтролируемому разрушению биосферы Земли, и взрывоопасному росту напряженности внутри самого мирового сообщества [3. С. 136].

Одновременно с ростом энергопотребления прогрессивно растёт экологическая опасность за счёт сброса в атмосферу вредных отходов и опасных для здоровья веществ, губительно действующих на окружающую среду и человека. Эта проблема стимулировала экологов и политиков к разработке Киотского протокола, впервые установившего квоты на эти выбросы и штрафные санкции за их нарушение.

Сложившаяся экономическая ситуация и антропогенная нагрузка Земли настоятельно требуют срочной разработки глобальной энергетической стратегии будущего развития энергетики мира в XXI веке.

На рисунке 3 предоставлен возможный сценарий перехода в XXI веке от энергетики, основанной на органических энергоресурсах, энергетике, построенной в основном на неисчерпаемых ресурсах. Идеи, заложенные в этом сценарии, таковы:

- Для сохранения естественной природы планеты крайне важно не увеличивать производство гидроэнергии, а использование биомассы в энергетических целях свести к минимуму.

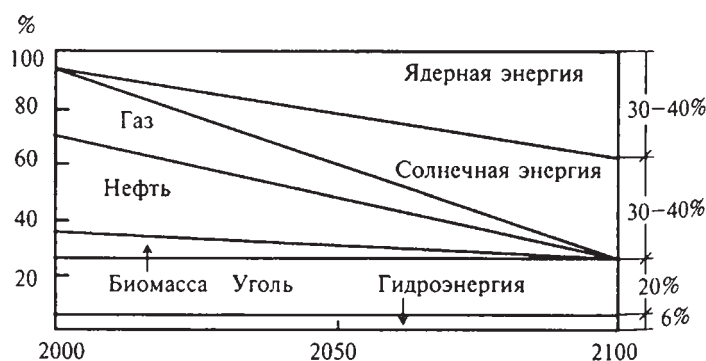


Рис. 3

• Использование угля в значительной степени будет зависеть от темпа подъема производства солнечной и ядерной энергии.

• Производство ядерной энергии в течение XXI в., вероятно, должно быть поднято от 6%-го вклада в энергетику мира до 30-40%-го, т.е. увеличено в 5-7 раз. Но ядерная энергетика, в свою очередь, будет в значительной мере зависеть от успехов развития солнечной энергетики.

• Солнечная энергетика к концу XXI века должна стать ведущей [3. С. 143].

В основе разработки энергетической стратегии XXI века и модели энергетики в глобальном мире необходимо использовать данные новейшей науки о современном мире – глобалистике, изложенной впервые в книге профессора А.П. Федотова «Глобалистика: Начала науки о современном мире» (2002). Глобалистику можно назвать также наукой о Земной управляемой цивилизации.

В авторских работах дается следующее определение глобалистики: Глобалистика (франц. global – всеобщий, от лат. globus – земной шар; букв. наука о всеобщем) – это наука, которая изучает наиболее общие закономерности развития человечества и модели управляемого, научно и духовно организованного мира в единстве и взаимодействии трех основных глобальных сфер человеческой деятельности – экологической, социальной и экономической – в реальных условиях Земли с её конечными физическими размерами и ограниченными природными ресурсами в наступившую эпоху антропогенно перегруженной Земли.

Научные открытия глобалистики по сути завершают исследование «Римского клуба» и определяют взаимодействия человечества с биосферой, и носят эпохальный фундаментальный характер. Современный антропогенно перегруженный мир неумолимо приближается к катастрофе. И высшую цель человечества – самосохранение и сохранение Земной цивилизации – можно достичь исключительно через преобразование Земной стихийной цивилизации в Земную управляемую цивилизацию. История и эволюция человека будет продолжена только в том случае, если её стихийное движение будет преобразовано в управляемое развитие на основе законов науки и количественных критериев устойчивого развития и системно изложенных в глобалистике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Урсул А.Д., Урсул Т.А., Тупало В.Г. Эггельс А.А. Устойчивое развитие, безопасность, ноосферогенез. Монография. – 400 с.- 2008 г.
2. Полежаев, Ю.В. Высокоэффективные и экономически безопасные парогазовые установки // Энергия. №10.2005.
3. Федотов, А.П. Глобалистика. Начала науки о современном мире. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 224 с.



## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

*А.С. Шишкин*

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Росси

Развитие энергетического комплекса связано с масштабной трансформацией компонентов окружающей среды, негативные последствия которой могут проявляться длительное время. Угольные карьеры изменяют рельеф и формируют специфические почвенно-грунтовые условия отвалов, водохранилища ГЭС вызывают изменение сейсмичности, затапливают наиболее продуктивные долинские экосистемы, изменяют ландшафтную структуру регионов. В результате строительства ГЭС меняются климат и гидрологический режим, физико-химические свойства воды, водные биоценозы верхнего и нижнего бьефов водохранилищ. Добыча нефти и газа, особенно в условиях заболоченных территорий Западной Сибири, приводит к большим площадным нарушениям и образованию линейных объектов огромной протяженности.

Проектирование, строительство и эксплуатация объектов энергетики предполагают выполнение разделов по охране окружающей среды и оценки воздействия на нее. К великому сожалению эти разделы выполняются по остаточному принципу при недостатке времени, в рамках жестких централизованных природоохранных нормативов, разработанных без должного учета региональных особенностей, при полном отсутствии либо жестком дефиците экспериментальных данных, на которых должны базироваться требования к оценке экологических последствий.

Как показывает практика развития энергетического сектора экономики в условиях действующей системы природоохранного надзора, рекультивация земель и компенсационные мероприятия не приводят к желаемым экологическим результатам, т. е. нарастают площади техногенно нарушенных ландшафтов, снижаются средообразующие функции экосистем. Отсутствие системных наблюдений за антропогенными изменениями не позволяет изучать, анализировать и учитывать опыт принятия прежних решений при создании новых объектов, невозможно моделировать природную ситуацию и давать обоснованный прогноз, а также предлагать новые технологические решения. Несколько примеров.

При разработке угольных разрезов на землях сельскохозяйственного назначения отработанные месторождения (отвалы вскрышных пород) должны быть возвращены под пашни или луга. При этом считается, что если почвенный слой снять перед вскрышей угольных пластов, переждать в буртах 3–5 лет и снова нанести на выровненный отвал горной породы, то будут восстановлены изначальные почвенно-грунтовые условия. Фактически почва, пролежавшая в буртах несколько лет, лишается комплекса микроорганизмов и теряет плодородие, трансформируясь в обычный минеральный субстрат. При этом проводятся большие объемы работ по горнотехнической рекультивации, сопоставимые с прямыми расходами, связанными с добычей угля.

Таким образом, реализуется формальный подход к решению экологических проблем, который, по сути, является порочным. При современной низкой интенсивности ведения сельского хозяйства большие площади сельскохозяйственных земель заброшены. Одновременно ощущается потребность в рекреационных зеленых территориях, поскольку разработка угольных разрезов сопровождается созданием поселков городского типа. При изучении и экспериментальных работах выяснено, что горные отвалы имеют высокую продуктивность по древесной растительности. Следовательно, в степной и лесостепной зонах целесообразна ландшафтно-рекреационная рекультивация, обеспечивающая формирование увалистого озерно-лесного комплекса с высокой экологической и рекреационной емкостью, ландшафтное разнообразие и не требующая больших материальных затрат. Однако по действующим нормативам это невозможно.

Второй пример. Перед заполнением водохранилищ ГЭС проводится перевод земель из лесного фонда в земли промышленного назначения. На федеральном уровне одно ведомство другому выплачивает стоимость потерь древесного и животного ресурсов. При этом не учитывается, что речь идет о возобновляемом биологическом ресурсе, ежегодно дающем прирост. Достаточно хорошо изучена производительность различных биоценозов, существуют нормативы технологических затрат на ведение лесного и охотничьего хозяйства, хорошо известен экономический эффект вложений. Следовательно, можно рассчитать размеры требуемой компенсации за потерю

продуктивности биологического прироста, но нормативами такое возмещение потерь также не предусмотрено. В то же время использование такого механизма компенсации потерь прироста биологических ресурсов при заполнении водохранилищ может решать региональные экономические и социальные проблемы. Территории, попадающие в зону воздействия ГЭС, получают реальные средства для сохранения традиционного хозяйствования, например, посредством создания природного парка со специфическим режимом пользования.

При строительстве Богучанской ГЭС (БоГЭС) в рамках оценки воздействия на окружающую среду обсуждается вопрос создания природного парка. С одной стороны, вложения в стабилизацию социально-экономических условий проживания местного населения выстраивают партнерские отношения между субъектами хозяйствования в зоне вокруг БоГЭС. С другой, создание промышленного узла вокруг ГЭС существенно изменит социально-экономические условия региона. Резко возрастет рекреационная составляющая природопользования (желательно на фоне общей интенсификации ведения лесного и охотничьего хозяйств). Гарантированное финансовое обеспечение природного парка за счет компенсации ущерба от потери прироста биологических ресурсов и режим комплексного природопользования обеспечат экономическую стабильность парка, сохранение уникальных природных объектов, устойчивость природопользования в водосборном бассейне самого водохранилища. Поскольку подобного прецедента получения компенсационных платежей при строительстве ГЭС еще не было, необходимо изучить и разработать законодательно-нормативную основу организации такого рода природных парков.

В настоящее время изучение экологических последствий развития энергетического комплекса проводится преимущественно в процессе выполнения разделов ОВОС при проектировании за счет средств инвесторов. При этом разработчики не имеют времени для достаточного изучения предполагаемого воздействия. Аналоговые объекты обычно расположены в других природных условиях, к тому же на них, как правило, не ведется системный мониторинг за всеми компонентами экосистемы. Государственная система мониторинга состояния окружающей среды, в основном, ограничивается наблюдением за атмосферой и поверхностными водами, запасами древесины и промысловыми животными. Она не предусматривает экосистемных наблюдений, включающих оценку состояния почв, растительности, всего животного населения, их разнообразия, продуктивности, естественной и техногенной динамики сообществ, загрязнение тканей и их патологических изменений. Такие исследования могут быть организованы и квалифицированно проведены только при участии академических учреждений. Результатом выполнения целевых программ по оценке воздействия энергетических комплексов должна быть обязательная разработка технологических и нормативных предложений по экологической безопасности и объективной оценке стоимости энергии.

## **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СНАБЖЕНИЯ ОЗЕРНОГО ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)**

*С.Г. Федоров, А.С. Баранов, А.В. Терехин*

ОАО «Сибцветметниипроект», г. Красноярск, Россия

### **Существующее состояние энергосистемы в районе размещения Озерного ГОКа**

Озерный ГОК на базе свинцово-цинкового месторождения располагается в восточной части Бурятской республики на территории Еравнинского административного района в зоне деятельности Бурятской энергосистемы, однако он находится на значительном расстоянии от генерирующих источников – Улан-Удэнской ТЭЦ и Гусиноозерской ГРЭС. Расстояние от Озерного ГОКа до этих электростанций составляет 350 и 450 км.

Несколько ближе расположены электрические станции Читинской энергосистемы: до Читинской ТЭЦ -1 – 180 км.

Республика Бурятия и Читинская область являются дефицитными энергорайонами.

По данным отчетов в 2008 г., располагаемая мощность Бурятской энергосистемы – 1199,7 МВт, в том числе Гусиноозерской ГРЭС – 1085 МВт, Улан-Удэнской ТЭЦ-1 – 110,4 МВт (рабочая мощность ТЭЦ-1 в 2008 г. – 50,4 МВт), блок- и дизельных станций – 64,3 МВт.

Установленная мощность электростанций на территории Читинской энергосистемы, которых всего семь – 1371 МВт.

Дефицит электроэнергии компенсируется за счет перетока из Иркутской энергосистемы по воздушным линиям 220 кВ, Иркутск – Бурятия – Чита в объеме 450 МВт (предельный переток 490 МВт) и Иркутск – Бурятия (БАМ) в объеме 110 МВт. Так, через энергосистему республики Бурятия осуществляются поставки электроэнергии в энергосистему Забайкальского края по двум цепям ВЛ 220 кВ Слюдянка – Мысовая и одной ВЛ 500 кВ Ключи – Гусиноозерская ГРЭС (работает на напряжении 220 кВ) и в Монголию по двухцепной связи ВЛ 220 кВ Гусиноозерская ГРЭС – Селендума – Дархан.

Допустимый переток в сечении Бурятия – Забайкальский край – от 300 МВт летом до 290 МВт зимой.

Электрические сети Бурятской энергосистемы состоят из магистральных сетей 220-110 кВ и распределительной сети 110-0,4 кВ, сеть 220 кВ закольцована. Основная часть электрической нагрузки Республики (более 40%) сосредоточена в районе Улан-Удэ.

В районе промузла на расстоянии 30 км к югу находится электропередача 110 кВ Районная – Онохой – Удинск – Хоринск – Сосновоозерск – Романовка – Багдарин, имеющая возможность подпитки со стороны Читинской ТЭЦ-1 по ВЛ 110 кВ Читинская ТЭЦ-1 – Черновская – Беклемишево – Сосновоозерск (размер подпитки по соглашению с ОАО Бурятэнерго составляет 20 МВт). В нормальном режиме ВЛ 110 кВ Читинская ТЭЦ-1 – Черновская – Беклемишево – Сосновоозерск разомкнута со стороны ПС 110 кВ Сосновоозерск. Поэтому сеть 110 кВ от Районной до Багдарина имеет практически одностороннее питание от Бурятской энергосистемы.

ВЛ 110 кВ Районная – Онохой имеет две цепи протяженностью 37 км проводом АС-120.

Реконструкция участка 89 км ВЛ 110 кВ Онохой – Курба – Удинск почти завершена, ВЛ выполнена проводом АС-300 в габаритах 220 кВ.

ВЛ 110 кВ Удинск – Хоринск – Сосновоозерск выполнена в одноцепном исполнении проводом АС-120.

Пропускная способность этих ВЛ по нагреву провода определена в размере 59 МВт. Загрузка их на головных участках в настоящее время составляет 17-20 МВт.

По данным «Бурятэнерго» резерв мощности существующей сети составит 20-25 МВт со стороны Бурятской энергосистемы, это менее половины требуемой электрической нагрузки для месторождения Озерный.

Таким образом, существующие сети 110 кВ не могут рассматриваться в качестве питающих для электроснабжения Озерного ГОКа.

### **Намечаемое развитие электрических сетей**

Как следует из приведенных выше данных, электроснабжение Озерного ГОКа от энергосистемы при современном состоянии схемы электрических сетей и их загрузке невозможно. Необходимо усиление электрических сетей.

По имеющимся оценкам, к 2015 году прирост электропотребления по Бурятской и Читинской энергосистемам предполагается соответственно на 45% и 55% по сравнению с сегодняшним уровнем. Основная доля всех перспективных потребителей это предприятия горнодобывающей промышленности.

Согласно концепции развития распределительных электрических сетей Республики Бурятия для подключения новых подстанций и усиления сети 110 кВ в восточном направлении намечается сооружение двухцепных линий 220 кВ:

- ВЛ Солнечный – Онохой, Удинск – Хоринск, с подвеской одной цепи к 2015 г.;
- строительство ПС 220 кВ Хоринск, с подвеской второй цепи к 2020 г. и присоединением к существующей сети 220 кВ;
- ВЛ 220 кВ Хоринск – Озерная с подвеской одной цепи к 2015 г., временно используемой на напряжении 110 кВ, подвеской второй цепи к 2020 г.;
- перевод всей линии 220 кВ Хоринск – Озерная с ПС 110 кВ Озерная на напряжение 220 кВ к 2020 г.

По предварительным данным в связи с ростом электрических нагрузок, как Бурятской энергосистеме, так и ОЭС Сибири в целом, на электростанциях энергосистемы в период 2010 ÷ 2015 г.г. намечаются вводы мощностей: на Гусиноозёрской ГРЭС (330 МВт) и на Улан-Удэнской ТЭЦ-2 два блока по 20 МВт на 110 кВ и один блок 185 МВт на 220 кВ.

В среднесрочной перспективе за 2020 годом развития магистральных электросетей Бурятии запланировано рассмотреть строительство ВЛ 500 кВ «Чита-Еравна» и ВЛ 500 кВ «Гусиноозерск-Улан-Удэ-Еравна» при этом предусматривается связь 220 кВ с ПС 220/110/35 Озерная.

Для обеспечения потребностей в электрической мощности на юго-востоке Читинской области намечается:

- строительство ВЛ-220 кВ «Чита- РП Маккавеево – Харанорская ГРЭС» до 2012 г.;
- установка автотрансформатора связи 220/110 кВ на Читинской ТЭЦ-1 мощностью 125 МВА до окончания строительства ВЛ 220 кВ «Чита – РП Маккавеево – Харанорская ГРЭС», что позволит увеличить надежность работы Читинской ТЭЦ-1, даст возможность передавать электрические мощности с шин 220 кВ на 110 кВ;
- строительство и ввод в эксплуатацию 3-го блока Харанорской ГРЭС. Строительство 3-го блока Харанорской ГРЭС мощностью 225 МВт начато в 2007 году. Ввод блока в 2011 году значительно повысит надежность работы Забайкальской энергосистемы.

### **Варианты внешнего электроснабжения Озерного ГОКа**

Рассматриваются варианты внешнего электроснабжения ГОКа от внешних энергоисточников, т.е. от Бурятской или Читинской энергосистем (сетевые варианты) и от альтернативного энергоисточника, т.е. от собственной ТЭЦ и внешней сети 110-220 кВ.

Для электроснабжения Озерного ГОКа наиболее оптимальным решением было бы применение напряжения 220 кВ, но в настоящее время центра питания с напряжением 220 кВ в районе нет.

Наряду с Озерным ГОКом в перспективе возможно освоение Назаровского, Ермаковского, Троицкого, Талинского месторождений, промышленное освоение одного из крупнейших в мире месторождений урана Хиагда, строительство железной дороги до обогатительной фабрики и других объектов, для электроснабжения которых необходимо иметь центр питания с напряжением 220 кВ.

Сформированы и проанализированы сетевые варианты электроснабжения Озерного ГОКа, представлена эффективность всех предложенных вариантов и анализ возможности их реализации.

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА В ОАО «АНПЗ ВНК»

В.А. Павлов<sup>1</sup>, Т.Н. Моисеева<sup>1</sup>, В.П. Твердохлебов<sup>2</sup>, Ф.А. Бурюкин<sup>2</sup>, Н.В. Гавголенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «АНПЗ ВНК», г. Ачинск, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Ачинский НПЗ, входящий в вертикально интегрированную структуру ОАО «НК Роснефть», является единственным крупным нефтеперерабатывающим предприятием в Красноярском крае. ОАО «АНПЗ ВНК» производит более 100 наименований нефтепродуктов. Продукция завода реализуется на территории Красноярского края и соседних регионов, а также поставляется на экспорт.

После ввода в эксплуатацию в 2007 году установки низкотемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции мощностью 300 тыс. т в год ОАО «АНПЗ ВНК» первым среди НПЗ НК «Роснефть» начал промышленное производство автобензина, соответствующего стандартам Евро-3 и Евро-4.

В целях дальнейшего увеличения глубины переработки нефти и выполнения требований Технического регламента в 2008 году разработан комплексный проект развития завода по увеличению объемов переработки нефти до 8 млн т (58,5 млн барр) и повышению глубины переработки до 96%. Проект предусматривает строительство установок замедленного коксования, риформинга, гидрокрекинга, гидроочистки дизельного топлива, а также второй очереди установки изомеризации.

Следует отметить, что престиж ОАО «АНПЗ ВНК» определяется не только способностью эффективно производить конкурентную и качественную продукцию, но и методами решения проблем социальной и экологической ответственности, деловой этики.

В связи с вышеизложенным, Ачинский НПЗ, как практически все предприятия промышленно развитых стран мира, вступил на новый этап, характеризующийся развитием интегрированной системы менеджмента (ИСМ).

Это объясняется тем, что в свою деятельность предприятие вовлекает огромные ресурсы нефти – полезного ископаемого, являющегося достоянием народа России, а также тем, что успешное функционирование ОАО «АНПЗ ВНК» вызывает социальные последствия в таких важных и приоритетных областях, как безопасность и права сотрудников, техногенное воздействие на окружающую среду.



Рис. 1. Интегрированная система менеджмента в ОАО «АНПЗ ВНК».



Для перехода в ИСМ Ачинский НПЗ выполнил ряд последовательных мероприятий, направленных на разработку и приведение в соответствие с международными стандартами ИСО 9001, AS 9100, ИСО 14001, OHSAS 18001 действующих на предприятии систем менеджмента качества, управления охраной труда и промышленной безопасностью (ОТ и ПБ) и экологического менеджмента.

Однако, несмотря на эффективное функционирование отдельных систем менеджмента качества, управления ОТ и ПБ и экологического менеджмента, не вызывает сомнений то, что внедрение группы стандартов, как интегрированной системы, более экономично и эффективно по сравнению с независимым внедрением нескольких стандартов на системы менеджмента.

Внедрение ИСМ на предприятии позволяет решить следующие проблемы, зачастую возникающие при независимом внедрении нескольких стандартов одновременно:

- Запутанность и дублирование взаимосвязей между системами управления качеством, ПБ и ОТ и экологией. При этом часто происходит повторение направленности нормативных документов, должностей и функций подразделений.

- Сложность целостного восприятия системы менеджмента руководством предприятия, и, как следствие, низкая эффективность контроля и управления.

В результате интеграции систем менеджмента получены преимущества, представленные на рисунке 1.

Для создания ИСМ Ачинский НПЗ планомерно прошел следующие этапы:

1. Организация работ по созданию ИСМ. Создание организационных предпосылок для разработки и внедрения ИСМ.
2. Проектирование ИСМ. Создание организационной структуры ИСМ.
3. Документирование ИСМ. Создание организационно-правовой базы ИСМ.
4. Внедрение ИСМ. Обеспечение функционирования ИСМ в соответствии с установленными требованиями.
5. Подготовка к сертификации ИСМ. Обеспечение готовности организации к проведению сертификации

Таким образом, была сформирована корпоративная ИСМ управления качеством, охраной труда, промышленной и экологической безопасностью ОАО «АНПЗ ВНК», нацеленная на достижение устойчивых финансовых показателей, с учетом интересов потребителей, персонала, акционеров, поставщиков и общества.

В 2009 году ОАО «АНПЗ ВНК» подтвердил, что ИСМ, разработанная на основании стандартов ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, ОН SAS 18001:2007, соответствует требованиям спецификации на Интегрированные Системы Менеджмента PAS 99:2006. Область сертификации: производство автомобильных бензинов, дизельных топлив, авиатоплив, мазутов, сжиженных углеводородных газов, нефтяных битумов, серы элементарной.

Основной задачей ОАО «АНПЗ ВНК» на 2010 году является обеспечение, поддержание функционирования созданной Интегрированной системы управления качеством, охраной труда, промышленной и экологической безопасностью.

Гибкий системный подход к вопросам ИСМ помогает выстраивать работу, исходя из перспектив динамично развивающегося предприятия. Переход на качественно новые виды продукции и прогрессивные технологии требует повышения уровня управления качеством, охраной труда, промышленной и экологической безопасностью и, соответственно, улучшения качества знаний в этой области.

Создание ИСМ – одно из приоритетных направлений стратегической политики предприятия. Внедрение ИСМ следует рассматривать как важнейшую предпосылку роста конкурентоспособности и устойчивого развития Ачинского НПЗ в условиях меняющейся конъюнктуры рынка.



## ПОДЗЕМНЫЕ РЕЗЕРВУАРНЫЕ ПАРКИ В АРКТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УВС

*В.П. Конухин*

Учреждение Российской академии наук Горный институт Кольского научного центра РАН,  
г. Апатиты, Россия

Освоение месторождений углеводородного сырья (УВС) на территориях арктического побережья России и на шельфе Баренцева и Карского морей требует развития существующих и создания новых транспортно-технологических систем (ТТС) с весьма сложными морскими и наземными компонентами в их структуре для сбора, отгрузки и транспортировки нефти, газа и продуктов их переработки.

Морская доктрина Российской Федерации – главный документ, определяющий государственную политику области морской деятельности в РФ с 2001 года, значительно ужесточила экологические требования, предъявляемые ко всем техническим средствам и технологиям, связанным с морепользованием. В полной мере эти требования относятся и к транспортно-технологическим системам, действующим и создаваемым в регионе.

Особые условия Арктики: низкие температуры в зимние месяцы, труднодоступность размещения отдельных элементов, изменчивость ледовой обстановки в морской акватории – вносят дополнительные проблемы как в период строительства, так и эксплуатации ТТС.

В докладе рассмотрен один из возможных вариантов повышения эффективности и стабильности работы транспортно-технологических систем УВС в условиях Российской Арктики, основанный на включении в их структуру подземных резервуарных парков большой емкости для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженного природного газа (СПГ). Такие резервуарные парки в наибольшей степени соответствуют современным требованиям экологической безопасности при приеме, накоплении и отгрузке продукта на головных и узловых перекачивающих станциях, а также терминалах отгрузки нефти и СПГ, обеспечивают необходимое регулирование подачи продукта на отдельных этапах передачи готовой продукции. Использование подземных резервуарных парков целесообразно и с точки зрения создания стратегических государственных запасов нефти и нефтепродуктов.

Имеются серьезные предпосылки для успешного решения проблемы создания крупных подземных резервуарных парков при развитии транспортно-технологических систем в Российской Арктике:

- опыт строительства и многолетней эксплуатации подземных хранилищ нефти и газа в странах Скандинавии, имеющих инженерно-геологические условия, близкие к условиям Кольского полуострова и некоторых островов в Северном Ледовитом океане;
- наличие в Российской Арктике геологических формаций, пригодных для возведения подземных резервуаров большой емкости;
- наличие апробированных технологий и реальной практики возведения крупногабаритных подземных сооружений с площадями поперечных сечений до 700 м<sup>2</sup> в скальных и многолетнемерзлых породах в Российской Арктике.

Следует обратить внимание на некоторые важные технологические подходы, принятые в Скандинавии при хранении нефти в подземных резервуарах:

- хранилища сооружаются на такой глубине, чтобы давление подземных вод в любой точке контура выработки превышало напор хранимого продукта;
- необходимая температура при хранении нефти поддерживается с помощью водяной подушки, содержимое которой подогревается через теплообменники.

Поскольку наиболее перспективное размещение подземных резервуарных парков в структуре транспортно-технологических систем будет, прежде всего, связано с местами загрузки нефти и СПГ в танкеры в районе незамерзающих портов, расположенных на баренцевоморском побережье Кольского полуострова, инженерно-геологические условия этой зоны в докладе рассмотрены подробно.

Так как северная береговая линия Кольского полуострова представляет собой неотектонические уступы, то наиболее благоприятные площадки для строительства подземных комплексов

в данном регионе расположены на некотором расстоянии от береговой линии Баренцева моря. Такие площадки могут быть, в частности, приурочены к контуру фиордов, врезающихся вглубь полуострова на расстояние до 20-30 км.

Характерен пример крупных геологических массивов, сложенных гнейсами, плагиогнейсогранитами и гнейсодиоритами, на западном берегу Печенгской губы. Сочетание глубоководного фарватера и превосходных инженерно-геологических условий для размещения крупного, на несколько миллионов тонн, подземного резервуарного парка создает идеальные условия для строительства порта загрузки океанских танкеров, как сырой нефтью, так и сжиженным природным газом (СПГ).

В СССР в период до 1990 года в Арктике был возведен целый ряд подземных комплексов для гидроэлектростанций на Кольском полуострове и в Сибири. Особое место в подземном строительстве занимает создание подземных сооружений для Военно-морского флота.

Строительство велось с использованием самых современных горных технологий и лучших образцов отечественной и западно-европейской техники. Этот бесспорно успешный опыт должен быть в полной мере использован при создании подземных резервуарных парков углеводородного сырья в экстремальных климатических условиях Арктики.

Говоря об экономической эффективности использования подземных резервуарных парков, следует вернуться к опыту Скандинавии. По оценкам шведских специалистов, подземное размещение хранилищ нефти и нефтепродуктов становится рентабельным уже при объеме хранения более 30 тыс. м<sup>3</sup>.

При хранении сжиженного газа рентабельным подземное хранение становится при объеме равном 10 тыс. м<sup>3</sup>. При объеме более 10 тыс. м<sup>3</sup> полная стоимость строительства и эксплуатации подземных хранилищ на 20% меньше поверхностных.

Для крупных подземных хранилищ эксплуатационные расходы составляют лишь одну треть от эксплуатационных расходов наземных хранилищ.

Говоря о преимуществах подземного размещения резервуарных парков нефти и СПГ в условиях Российской Арктики, можно отметить следующие наиболее очевидные из них:

- стоимость строительства подземных хранилищ нефти и СПГ как минимум в 2-3 раза ниже, чем плавучих хранилищ-танкеров с равной вместительностью;
- удельные эксплуатационные расходы на обслуживание подземных хранилищ в 5-6 раз ниже, чем при использовании хранилищ-танкеров и на 50-60% – чем при использовании наземных ёмкостей;
- более продолжительный срок службы подземных хранилищ без капитальных ремонтов, так как их скальные несущие конструкции не подвержены коррозии; нет перерывов на докование, обязательное для плавучих хранилищ;
- неуязвимость при террористических атаках и экстремальных внешних воздействиях типа падения самолётов или столкновения с судами и кораблями ВМФ, проходящими в ближайшей акватории;
- высокая экологическая безопасность благодаря надежной защите за счёт высокопрочных породных массивов; полностью исключается возможность утечек продукта из хранилища в окружающую среду;
- подземные хранилища можно располагать в густонаселенной местности и в условиях плотной промышленной застройки, в том числе на территории портовых комплексов.

## КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

*В.М. Мелкозеров, С.И. Васильев, А.Я. Вельп*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Динамичное развитие промышленной нефтедобывающей инфраструктуры на территории Красноярского края, которая относится к числу ресурсоемких, окружающая среда подвергается жесткому воздействию техногенной нагрузки. В условиях напряженной экологической ситуации достоверность и полнота учета экологического фактора в выполняемых проектах и прогнозных оценках развития и размещения производительных сил приобретает большую значимость, прежде всего – социально-экономическом обосновании разработки минерально-сырьевой базы края. Сложившаяся система обоснования разработки минерально-сырьевых ресурсов имеет преимущественно технологический характер и ориентирована на чисто экономические методы оценки без должного учета экологических аспектов, что приводит к явно необоснованным решениям, игнорирующим общественные интересы, наносящим ущерб здоровью человека, приводящим к нарушению стабильности эко-системы.

В настоящее время в мире ежегодно добывается более 4,0 млрд т сырой нефти, при ее добыче, транспортировании и переработке теряется более 50 млн т нефти и нефтепродуктов [1]. Открытие и освоение новых перспективных месторождений нефти на территории Сибири выдвигают вопросы эффективной защиты природы от нежелательных последствий интенсивного освоения нефтяных и газовых месторождений на стадии промыслового бурения и последующей ее транспортировки и переработки на первое место. Исходя из этого, и вытекает целесообразность обоснованного выбора эффективных средств экологической защиты с высокими технико-экономическими показателями и технологических приемов для проведения природоохранных мероприятий с целью снижения антропогенных нагрузок на окружающую природу.

Основной причиной нефтепроявлений при бурении скважин на площадях Сибири является вскрытие продуктивных отложений при наличии в разрезе скважины поглощающих горизонтов, а также вскрытие зон поглощения необсаженных ранее продуктивных отложений. В связи с малой геологической изученностью Сибири достоверность прогнозирования поглощений на стадии проектирования работ весьма низка.

С учетом предъявляемых современных требований проведен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию и внедрению в производство высокоэффективных нефтепоглощающих полимерных сорбентов серий «Униполимер-М», «Унисорб», «Униполимер-Био», а также композиционного многофункционального препарата «Меном» [2]. В настоящее время разработана технология и оборудование для производства полимерных сорбентов, а также полный комплект конструкторско-технологической, методической и нормативно-регламентирующей документации, освоено промышленное производство полимерных сорбентов. Одним из главных и приоритетных направлений в области охраны окружающей среды и рационального природопользования является разработка и внедрение усовершенствованных технологий возрождения природы методом биоремедиации почвы, болот, лесных угодий и т. д. Известные, и к сожалению используемые еще способы ликвидации последствий разливов нефти и нефтепродуктов на почвы проводятся такими приемами и способами как сжигание пролитой нефти, засыпки загрязненных участков грунтом, вывоз загрязненной почвы в отвалы и внесение в почву микро-деструкторов, действие которых на биоценоз в настоящее время не исследованы, что приводит к необратимому уничтожению плодородного слоя почвы. Такие способы очистки и рекультивации не отвечают современным требованиям экологической безопасности и совершенно неприемлемы.

Проведенные научно-исследовательские работы показали, что пролитые нефть и нефтепродукты не только нарушают экологическое состояние почвы, но и сильно деформируют структуру биоценозов.

Сорбционные характеристики полимерных сорбентов изучались методом капиллярной пропитки в условиях жидкофазного контакта с последующей обработкой результатов с помощью графопостроителя. Материал в процессе всего времени смачивания при этом находился в условиях действия поверхностных сил на границе раздела жидкость – сорбент, и параметрами, опреде-

ляющими ёмкость и скорость пропитки, являются поверхностное натяжение, вязкость и косинус краевого угла смачивания [3].

Непрерывно регистрируемое изменение количества впитываемой жидкости позволило вычислить параметры капиллярной пропитки и рассчитать условно-пикнометрическую плотность, порозность «П», сорбционную ёмкость, выраженную соотношением  $m_{ж}/m_c$ , вывод данных на графопостроитель позволяет получить и графическую зависимость количество сорбируемого продукта от времени.

Условно-пикнометрическая плотность вычисляется для каждой конкретной жидкости, так как является характеристикой её сорбирования, учитывает объём замкнутых, тупиковых (невпитывающих пор), и даёт возможность рассчитать значение порозности, характеризующее % пористого пространства сорбента.

Исследования сорбционных свойств разных модификаций полимерных сорбентов серии «Униполимер-М» проводились на нефтепродуктах ОАО «Красноярскнефтепродукт»: дизельное топливо (летнее), бензин АИ-92, бензин А-76, нефть сырая Сургутского месторождения, имеющая плотность  $d_4^{20}$  0,871–0,873 кг/см<sup>3</sup>; содержание солей – 15,2 мг/л; воды – 0,09 мг/л; серы – 1,5 мас. %. Исследованы два типа образцов (табл. 1), имеющих плотностью в диапазоне 0,0067÷0,014 г/см<sup>3</sup>, порозностью 83,9% и пикнометрической плотностью в пределах 0,06 см<sup>3</sup>. Следует отметить, что пикнометрическая плотность и порозность образцов, определённые для широкого спектра нефтепродуктов близки по значениям, что свидетельствует о наличии в этих образцах открытых пор, проницаемых для всех видов нефтепродуктов и значительную скорость сорбции.

Важная особенность полимерной пены – это её экологическая безопасность (4 класс опасности), возможность регенерации собранных продуктов извлечением в каландрах, прессах, центрифугах или другими приемами ( $P_{отж} - 1÷2$  кг/см<sup>3</sup>). Эти свойства сочетаются с простотой утилизации остатка (0,5-2% от собранного продукта) сжиганием, химической деструкцией (растворением в кислоте или щелочи) или полным биоразложением (как полимерной пены, так и остатков нефтепродукта в ней).

Характеристики комбинированных сорбентов, полученные в лабораторных и полевых условиях, приведенные в таблице 1 помогают определить область использования каждого из сорбентов.

**Характеристики комбинированных сорбентов**

Таблица 1

Характеристики	«Униполимер-М»	«Униполимер-Био»	«Меном»	«Унисорб»
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	8-45	12-20	8-25	14-50
Влажность, %	6-10	10-12	6-10	12-15
Плавуемость, %	100	100	100	100
РН водной вытяжки	5,5-6,5	4,5-5,5	5,8	5,5
Сорбирующая способность, г нефти / г сорбента	43-67	30-60	41-73	32-70
Скорость, мм нефти /с	0,8-1,5	0,4-1,0	0,6-2,9	0,6-3,5
Возврат собранной нефти,%	95-97	94-98	96-98	95-97
Рабочая температура, °С	-25-460	-10- +70	-15- +40	-15- +60
Десорбция, %	0	0	0	0
Степень очистки, %	98-99,5	98-99,5	98-99,5	98-99,5

Сорбционные характеристики сорбента «Униполимер-М» исследованы применительно к наиболее распространенным видам нефтепродуктов, загрязняющих почву и гидросферу.

Таблица 2

№ п.п	Вещество	Плотность вещества	Равновесная сорбционная емкость, г/г	Величина сорбции, % от равновесной емкости за время	
				15 с	120 с
1	Бензин (ГОСТ 2084-77)	0,68-0,72	46,5	36,8	90,5
2	Керосин (ГОСТ 10227-86)	0,72-0,82	60,8	16,5	52,3
3	Дизельное топлив (ГОСТ 305-82)	0,835	60-80	17,7	48,2
4	Нефть (ГОСТ Р 51858-2002)	0,85	43-67	15,4	43,2
5	Моторное масло (ГОСТ 17479.1-85)	0,905	60-90	13,6	35,7
6	Мазут (ГОСТ 10585-99)	0,96	15-20	11,8	32,4

Благодаря описанным в табл. 1, 2 свойствам полимерная пена эффективно используется для быстрого поглощения и нейтрализации проливов легковоспламеняющихся, легкоиспаряющихся, а также сильно токсичных жидкостей. С учетом предъявляемых современных требований и международных стандартов Сибирским федеральным университетом г. Красноярска проведен комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию и внедрению в производство высокоэффективных нефтепоглощающих полимерных сорбентов серий «Униполимер-М», «Униполимер-Био» а также композиционного многофункционального препарата «Меном» [1]. В настоящее время разработана технология и оборудование для производства полимерных сорбентов, а также полный комплект конструкторско-технологической, методической и нормативно-регламентирующей документации, освоено промышленное производство полимерных сорбентов по разработанным техническим условиям ТУ 2254-001-02067876-2009.

В задачу исследований входят следующие стадии: составление композиций (полимерных матриц), их вспенивание, отверждение, формирование и сушка.

Поэтому первым этапом работы было проведение предварительных исследований по оценке влияния составов композиций на сорбционные свойства (нефтеёмкость, кратность вспенивания и влажность) сорбентов, чтобы на основании этих результатов установить оптимальные составы рецептур полимерных композиций.

Полученные образцы в двух параллелях были взвешены сразу после получения, через пять и десять дней. Были измерены их линейные размеры (длина и диаметр). В качестве выходных параметров были приняты:

$Y_1$  кратность вспенивания, %;

$Y_2$  объемная масса, г/см<sup>3</sup>;

$Y_3$  нефтеёмкость сорбента, г/г.

Математическая обработка результатов экспериментов показала, что уравнения регрессии, адекватно отражающие процесс синтеза полимерных сорбентов имеют вид:

Кратность вспенивания:

$$Y_1 = 4,31 - 0,3X_1 + 2X_2 + 0,43X_3 - 0,35X_1^2 - 0,005X_2^2 + 0,39X_3^2 - 0,07X_1X_2 + 0,45X_2X_3 - 0,07X_1X_3.$$

Объемная масса:

$$Y_2 = 0,0858 + 0,0374X_1 - 0,0444X_2 - 0,013X_3 + 0,0215X_1^2 + 0,02X_2^2 - 0,016X_3^2 - 0,02X_1X_2 - 0,001X_2X_3 - 0,0015X_1X_3.$$

Нефтеёмкость сорбента:

$$Y_3 = 5,7 - 3,2X_1 - 0,8X_2 - 0,03X_3 + 2,7X_1^2 - 1,7X_2^2 - 1,19X_3^2 + 0,08X_1X_2 - 1,4X_2X_3 + 0,2X_1X_3.$$

Оптимизация режимов получения сорбентов «Униполимер-М», «Униполимер-Био», «Уни-сорб» и композиционного многофункционального препарата «Меном» в этой последовательности и исследование свойств полученных образцов проводились с использованием математических методов планирования эксперимента, в основу которого был положен ортогональный план бокса главных эффектов.

После проверки коэффициентов на значимость уравнения регрессии принимают вид:

Кратность вспенивания:

$$Y_1 = 0,2717X_1^2 + 0,015X_2^2 - 0,38X_3^2 - 0,165X_4^2 - 0,015X_1 + 0,0475X_2 + 0,3742X_3 + 0,2233X_4 + 3,135.$$

Объемная масса:

$$Y_2 = 0,0006X_1^2 + 0,0052X_2^2 + 0,0054X_3^2 + 0,0164X_4^2 + 0,0023X_1 + 0,0037X_2 + 0,0003X_3 + 0,0009X_4 + 0,0945.$$

Нефтеёмкость сорбента:

$$Y_3 = -X_1^2 - 0,5X_2^2 + X_3^2 - 0,5X_4^2 - 1,1667X_2 + 1,1667X_3 - 0,3333X_4 + 7,1667.$$

В уравнениях регрессии в качестве входных параметров приняты:

$X_1$  – содержание СПС;

$X_2$  – содержание ПАВ;

$X_3$  – содержание КО;

$X_4$  – концентрация КО.

Из результатов эксперимента видно, что состав компонентов композиции на различные свойства сорбентов неодинаков. На кратность вспенивания существенное влияние оказывает количество ПАВ, в частности с увеличением его кратность вспенивания растет. С увеличением количества СПС кратность вспенивания снижается. При добавлении КО до 5 мас. ч. кратность вспенивания немного уменьшается, а от 5 до 9 мас. ч. – увеличивается.



На объемную массу существенно влияет количество СПС. С ее увеличением резко возрастает показатель объемной массы. С увеличением ПАВ объемная масса снижается. При добавлении от 5 до 7 мас.ч. КО объемная масса увеличивается, а от 7 до 9 мас.ч. КО – уменьшается.

Нефтеёмкость сорбента с увеличением доли СПС и КО растет. Добавление же ПАВ от 3 до 5 мас. ч. увеличивает, а от 5 до 9 мас.ч. уменьшает нефтеёмкость (рис. 1, 2).

По полученным результатам видно, что независимо от порядка внесения компонентов, сорбенты получены с более развитой поверхностной структурой и имели объемную массу от 6 до 14 кг/м<sup>3</sup>, у них в 2 раза увеличился объем переходных пор и в 5 раз увеличился объем микропор. При этом высокая развитость пористой структуры приводит к увеличению нефтеёмкости. Однако, нефтеёмкость сорбентов, зависит не только от его пористой структуры, но и от влажности, т.е. чем заполнены поры – водой или воздухом. Экспериментальные данные по влиянию технологических факторов на кратность вспенивания, нефтеёмкость сорбентов и их зависимость представлены функциональной зависимостью на рисунках 1, 2 и эмпирической формулой:

$$Y = 1400X^{-1,2925}$$

Таким образом, оптимизация технологического процесса получения полимерных сорбентов, в т.ч. и биосорбентов с разработкой оптимальных режимов, а именно составов рецептур композиций и их исследований показали, что изменением способов и режимов получения сорбентов и базовых составляющих компонентов СПС, ПАВ, КО, модифицирующих добавок и наполнителей с учетом использования математических методов планирования полимерной матрицы при наличии соответствующей технологической базы и оснащения можно получать различные, в т.ч. и модифицированные, полимерные и полимикробные сорбенты серии «Униполимер-М», «Униполимер-Био», а также композиционный препарат «Меном» с широким диапазоном многофункциональных технологических возможностей и перспективностью их применения в нефтяной промышленности России и за рубежом.

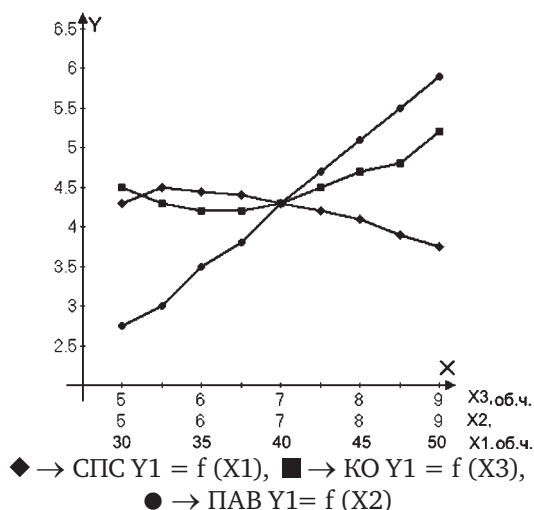


Рис. 1. Влияние технологических факторов на кратность вспенивания

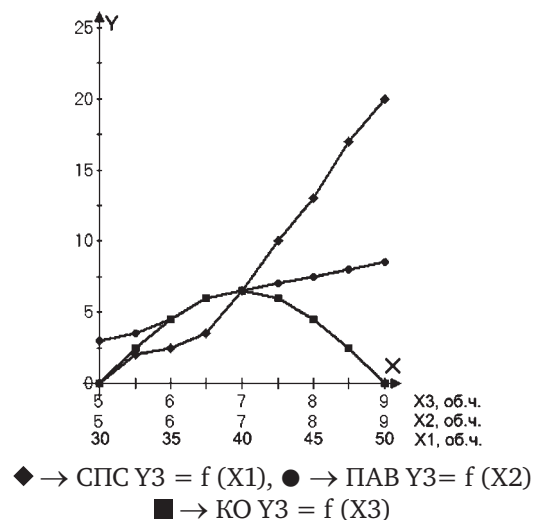


Рис. 2. Влияние технологических факторов на кратность вспенивания

Обобщение результатов экспериментальных исследований позволило получить графические зависимости технологических факторов на характеристики полимерных сорбентов (рис.1, 2).

Анализ многолетних проведенных исследований и апробирование технологии биоремедиации позволил разработать способ и внедрить в производство новую технологию биорекультивации с применением состава композиционного многофункционального препарата «Меном», выполняющего роль одновременно сорбента, мелиоранта-аэранта, структурного почвообразователя и агрохимиката – медленно действующего азотного удобрения.

Для реализации комбинированной технологии сбора и очистки разлитых нефтепродуктов с акваторий водных поверхностей, пересеченной местности и береговых полос широко используется биооконвеер БК-М. Одним из эффективных технических устройств локализации проливов нефти на водных поверхностях и болотах являются сорбирующие боны.

Результаты натурного исследования процесса сорбции ядовитых технических жидкостей при проливах на грунт полимерными сорбирующими материалами приведены на рисунке 3. По оси ординат приведено заполнение сорбционного поропласта, %



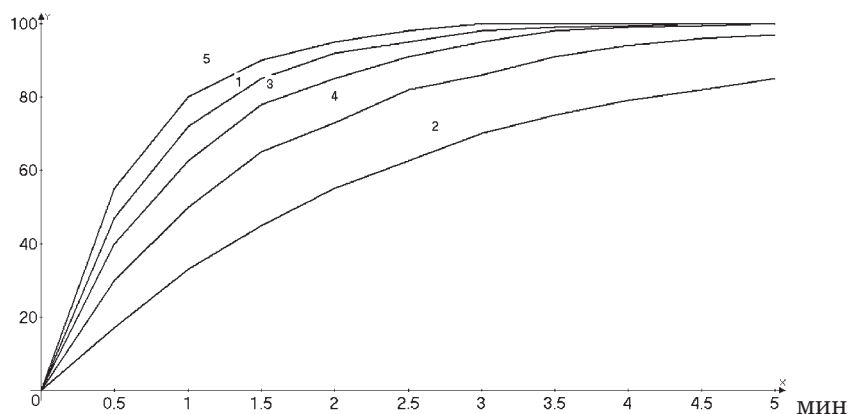


Рис. 3. Кинетика заполнения полимерной сорбирующей пены агрессивными жидкостями:  
1 – бензин; 2 – керосин; 3 – ацетон; 4 – толуол; 5 – хлороформ

Для повышения эффективности очистки гидросферы и предотвращения выноса эмульгированной нефти на нижнюю часть боны может устанавливаться волокнистые сорбирующие насадки различных модификаций, позволяющие также производить доочистку воды методом хемосорбции, тем самым повысить качество очистки и значительно снизить риск выноса нефти. Биоконвектор БК-М может быть использован как самостоятельно, так и в комплексе природоохранных профилактических мероприятий.

Биоконвектор предназначен для ограничения, локализации, поглощения, сбора и ускоренной очистки от нефтепродуктов различного происхождения акваторий малых рек, озер, ручьев, болот, лугов, лесных угодий, береговых полос, а также сточных ливневых технологических вод коммунальных и промышленных предприятий, в том числе промывных эмульгированных вод (пленок) танкерного флота, железнодорожного, автомобильного транспорта, военных баз и т.д. Технология предлагаемой очистки основана на применении комбинированного способа включающего в себя установку вдоль реки, ручья, берега нескольких мини-сорбирующих бон.

При увеличении удельного давления измельчения до 175 МПа происходит наиболее интенсивное изменение выходных показателей плотности, средневзвешенного размера частиц материала, коэффициента уплотнения и соответственно удельной поверхности. Дальнейшее увеличение давления измельчения до 250 МПа не приносит существенного изменения вышеперечисленных показателей, как видно из графика, функции выходят на насыщение. Это свидетельствует о том, что рациональные давления измельчения для кварцитопесчаника находятся в пределах до 175 МПа. Таким образом, на данном этапе исследований были установлены рациональная область значения давления измельчения, которая для кварцитопесчаника не должна превышать 115 МПа.

Большая величина коэффициента уплотнения на ранней стадии процесса измельчения (удельного давления) свидетельствует о наличии огромного количества пустот в насыпном слое кварцитопесчаника, что указывает на желательность его предварительного уплотнения перед измельчением.

Как показала практика «однобокое» прессование материала не всегда приводит к его разрушению при задаваемых оптимальных сдвигаемых нагрузках. Поэтому более рациональное разрушение (измельчение) материала при схожем способе лучше всего проводить с использованием агрегатов двухстороннего воздействия на измельчаемый материал. В зависимости от ландшафтных характеристик места загрязнения и от природно-климатических условий, давности сроков, степени загрязнения объектов (пахотные, засушливые поля, торфяники, луга, лесные угодья, болота и т. д.) сорбционно-агрохимическая обработка загрязненной нефтью почвы сильно влияет на динамику численности аборигенной микрофлоры.

Полимерный сорбент «Униполимер-М» является в настоящее время наиболее часто используемым при ликвидации аварийных проливов нефти, нефтепродуктов и других агрессивных продуктов производственной деятельности человека. Указанное явилось причиной исследования его сорбционной способности относительно к наиболее вероятным загрязнителям грунта и гидросферы, результаты исследования приведены в таблице 4.

Таблица 3

## Результаты исследования сорбционных свойств полимерного сорбента «Униполимер-М»

Сорбент Поглоща- емая жидкость	Физико-химические свойства жидкости				Поглощающая способность сорбентов				
	$d_4^{20}$ , г/см <sup>3</sup>	$\eta$ , м Па·С	$\sigma$ , дин/см	$\cos \theta$	$\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho^*$ , г/см <sup>3</sup>	$\frac{m}{m_{сорб}}$	«П», %	$\tau$ пропитки на высоту слоя 1 см, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Полимерный сорбент (высокократный)					0,0068				
Дизельное топливо летнее	0,8426	4,31	28,40	0,8832		0,0410	106,5	83,4	8,9
Бензин А-92	0,7992	8,62	24,76	0,9380		0,0716	109,7	90,5	4,8
Бензин А-76	0,7957	14,90	21,85	0,9816		0,0687	84,9	90,1	1,8
Нефть (Кириши)	0,8724	26,30	28,00	0,8900		0,0422	120,0	83,9	173
Полимерный сорбент (средней кратности)					0,0082				
Дизельное топливо летнее	0,8426	4,31	28,40	0,8835		0,0451	105,1	81,8	23,4
Бензин А-92	0,7992	8,62	24,76	0,9382		0,0569	82,9	85,6	23
Бензин А-76	0,7957	14,90	21,85	0,9818		0,0519	65,1	84,2	3,9
Нефть (Кириши)	0,8724	26,30	28,00	0,8906		0,0466	86	82,4	192

Таблица 4

## Значения коэффициентов сорбции сорбента «Униполимер-М»

Наименование вещества	Масса поглощенного вещества, кг на 1 кг сорбента	Коэффициент изменения поглощающей способности $K_{изм}$
Дизельное топливо	40	0,73
Керосин	40	0,73
Ксилолы	40	0,73
Легкие нефтяные фракции	30	0,55
Масляные красители	100	1,82
Машинное масло	50	0,91
Нефть сырая	55	1,00
Нефтяные осадки	50	0,91
Толуол	40	0,73
Этилбензол	35	0,70
Мазут	27	0,50

Объектом биосорбционной технологии глубокой очистки воды и промышленных стоков от нефтепродуктов могут быть также любые промышленные очистные сооружения, в том числе автоматические узлы и пропарочные станции, нефтебазы и ремонтные предприятия. Разработанная авторами новая технология применения полимикробного сорбента «Униполимер-Био» и агрохимиката «Меном» позволяет производить рекультивацию нефтезагрязненных земель и гидросферы со следующими физико-техническими и экономическими показателями:

- снизить содержание нефти, нефтепродуктов в почве в 17 раз за сезон;
- аборигенная нефтеусваивающая микрофлора обеспечивает в короткий срок полную детоксикацию почвы и высокую степень деструкции всех видов фракций нефти;
- эффективность разложения нефти и нефтепродуктов на 30% выше, чем у известных ранее способов;
- себестоимость сорбента в три раза меньше известных, так как не связана с выделением, культивированием и внесением коммерческих нефтеокисляющих биокультур и специальных дорогостоящих удобрений.

Используемые сорбенты имеют следующие экологические характеристики:

- являются нетоксичными и непатогенными сорбирующими материалами работают в широком диапазоне pH среды;
- обладают 100% плавучестью и нулевой степенью десорбции;
- не вызывают нарушения экологического равновесия в экосистемах и не оказывают отрицательного воздействия на биотипы различного трофического уровня, являются стимуляторами роста растений, структурообразователями субстратом и мелиорантом почвы с одновременным кондиционированием (аэрированием) кислорода в грунте;

Не высокая стоимость сорбента при большой нефтеемкости 70 г/г, простота технологии применения в сочетании с наличием отечественной сырьевой базы для производства многофункциональных полимерных сорбентов и типовых решений стационарных и мобильных пеногенерирующих установок должны открыть путь для широкого внедрения пены для очистки почвы и гидросферы от проливов нефтепродуктов, что обеспечить защиту экосистемы при неизбежных проливах нефти и нефтепродуктов при освоении и эксплуатации нефтяных месторождений Красноярского края.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность труда в нефтегазовом комплексе: справ. пособие/ сост.: Аржанов С. П., Васильев С. И., Горбунова Л. Н. Красноярск: ИПК СФУ, 2008, 519 с.
2. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование: справочник / авт.-сост.: М. Г. Мелкозеров, С. И. Васильев, В. М. Батутина и др.; ред. В. М. Мелкозеров. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Политехнический ин-т, 2007, 198 с.
3. Мелкозёров В. М., Мелкозёров М. Г. Сборник научных трудов «Перспективные материалы технологии конструкции экономика». г. Красноярск, 2005 г. с. 23–28.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРИРОДО-ОХРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*А.Я. Вельп, В.М. Мелкозеров, С.И. Васильев*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия

В целях стабилизации экологической обстановки, определения стратегических задач и экологической политики Красноярского края на 2007-2010 гг. разработана в рамках СУОС комплексная программа «Экология и охрана окружающей природной среды», включающая решение вопросов по устройствам, средствам и способам очистки нефтезагрязненных объектов в зоне действующих и проектируемых промысловых и магистральных нефтепроводов.

На первом этапе работы проведены предварительные исследования по оценке влияния составов композиций на сорбционные свойства (нефтеёмкость, кратность вспенивания и влажность) сорбентов, чтобы на основании этих результатов установить оптимальные составы рецептур полимерных композиций.

Подводя итоги лабораторных и натуральных исследований полимерных сорбентов следует отметить:

- на кратность вспенивания существенное влияние оказывает количество ПАВ в частности с увеличением его более чем 50,0 мас. ч кратность вспенивания растёт.
- с увеличением количества СПС кратность вспенивания снижается. При добавлении количества от 5 до 5,5 мас. ч. кратность вспенивания немного увеличивается, а от 5,5 до 9 мас. ч. – уменьшается до 3,8%.
- с ее увеличением количество СПС резко возрастает показатель нефтеемкости.
- зависимость нефтеемкости сорбента от доли ПАВ имеет параболический закон изменения. Добавление ПАВ от 31 до 41,5 мас. ч. увеличивает, а при дальнейшем увеличении до 51 мас. ч. уменьшает нефтеемкость.

По полученным результатам видно, что независимо от порядка внесения компонентов, сорбенты получались с более развитой поверхностной структурой и имели объемную массу от 6 до 14 кг/м<sup>3</sup>, у них в 1,5...2 раза увеличился объем переходных пор и в 5 раз увеличился объем микропор. При этом высокая развитость пористой структуры приводит к увеличению нефтеемкости. Однако, нефтеемкость сорбентов, зависит не только от его пористой структуры, но и от влажности, т.е. чем заполнены поры – водой или воздухом. Экспериментальные данные по влиянию технологических факторов на кратность вспенивания, нефтеемкость сорбентов и их зависимость представлены функциональной зависимостью на рисунке 1 и эмпирической формулой:

$$y = 1400K^{1,29}.$$

Таким образом, оптимизация технологического процесса получения полимерных сорбентов, их рецептур показали, что, изменяя способы и режим получения сорбентов и составляющих компонентов СПС, ПАВ, модифицирующих добавок и наполнителей, можно получить модифицированные, полимерные сорбенты с широким диапазоном многофункциональных технологических возможностей и перспективностью их применения в России и за рубежом.

Анализ многолетних проведенных исследований и апробирование технологии биоремедиации позволил разработать способ и внедрить в производство новую технологию биорекультивации с применением состава композиционного многофункционального препарата «Меном», выполняющего роль одновременно сорбента, мелиоранта-аэранта, структуропочвообразователя и агрохимиката – медленно действующего азотного удобрения.

При увеличении удельного давления измельчения сорбентов до 175 МПа происходит наиболее интенсивное изменение выходных показателей плотности, средневзвешенного размера частиц материала, коэффициента уплотнения и соответственно удельной поверхности.

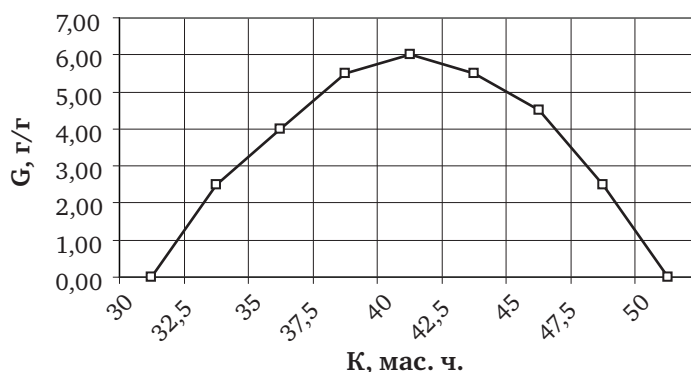


Рис. 1. Влияние поверхностно-активных веществ на нефтеемкость сорбента

Таким образом установлены рациональные параметры поверхностно-активных веществ и синтезированной полимерной смолы для получения полимерного сорбента наибольшей нефтеемкости, наибольшей кратности вспенивания при наименьших экономических затратах. На следующих этапах исследований, стоит задача оптимизации температурного режима отдельных частей производственного процесса изготовления полимерного сорбента и определения рационального значения давления измельчения готового сорбента перед его использованием.

## УТИЛИЗАЦИИ СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА В ОАО «АНПЗ ВНК»

И.В. Павлов<sup>1</sup>, Д.А. Мельчаков<sup>1</sup>, В.П. Твердохлебов<sup>2</sup>, Ф.А. Бурюкин<sup>2</sup>, Н.В. Гавголенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «АНПЗ ВНК», г. Ачинск, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Одна из важнейших задач комплексной переработки нефти – выделение и квалифицированное использование ее гетероатомных компонентов. Сера является важнейшим из гетероэлементов, присутствующих в нефти, концентрация ее изменяется от сотых долей до 6-8% масс., в редких случаях достигая 10-14% масс. Доля сернистых и высокосернистых нефтей России в общем балансе добычи составляет 2/3.

Сернистые соединения, присутствующие в нефтепродуктах, резко ухудшают эксплуатационные качества топлив и масел, вызывают коррозию аппаратуры, снижают активность антидетонаторов и антиокислительную стабильность, повышают склонность к смолообразованию крекингбензинов. Сероводород в большинстве случаев является ядом для катализаторов и живых организмов. В России только в виде сернистого газа в атмосферу выбрасывается около 16 млн т серы в год. Этого количества серы было бы достаточно для производства до 40 млн т серной кислоты [1].

Следует отметить, что большая часть платежей нефтеперерабатывающих предприятий за счет себестоимости продукции (например, в ОАО «АНПЗ ВНК» до 80%) за выброс вредных веществ от стационарных источников загрязнения приходится на оплату за выброс сернистого ангидрида.

Основным промышленным методом очистки природных газов и газов нефтепереработки от сероводорода до сих пор остается процесс Клауса, запатентованный в 1883. Однако, критический анализ современного состояния технологии переработки сернистых газов показывает, что на большинстве отечественных металлургических и нефтеперерабатывающих предприятий отсутствуют установки доочистки отходящих газов, а технологический режим не соблюдается должным образом.

Учитывая сложившуюся экологическую обстановку в регионе, а также проведение мероприятий по углублению гидроочистки дизельных фракций на секции С-300/1 установки ЛК-6Ус для получения дизельного топлива с содержанием серы 50-350 ppm, на Ачинском НПЗ выполнены работы по строительству установки утилизации сероводородсодержащего газа. Сырьем установки служит кислый газ с установки аминовой очистки газов и установки изомеризации, газ от установки отпарки кислых вод. Состав смешанного кислого газа, % об.: H<sub>2</sub>S 89,3-92,2; NH<sub>3</sub> 1,7-1,8; CO<sub>2</sub> 2,0-3,0; C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> 1,0-2,0; H<sub>2</sub>O 3,0-4,0.

Для достижения наибольшей эффективности при применении современных катализаторов процесса Клауса на Ачинском НПЗ обеспечиваются два важных условия. Первое условие – эффективная работа термической ступени, при которой конверсия сероводорода в серу составляет не менее 65%. Второе условие – процесс горения на термической ступени организован таким образом, чтобы остаточное содержание свободного кислорода в технологических газах не превышало значения 100 ppm. Для выполнения этих условий реализованы следующие технические решения:

- Применены камеры сгорания с объемом, обеспечивающим время пребывания технологических газов, получаемых при субстехиометрическом сжигании кислого газа с воздухом, в термической ступени ≈ 1,0 секунды, что позволяет обеспечить максимальную степень конверсии сероводорода в серу.

- В каталитических ступенях применен высокоэффективный титанооксидный катализатор марки CRS 31 фирма «Ахепс», который не подвержен сульфатации, обладает большей активностью (против алюмооксидных) и увеличивает степень конверсии сероводорода в серу, что позволяет снизить температуру технологического газа на входе в конвектор и, как следствие, снижаются затраты на его подогрев. В 1-ой каталитической ступени титанооксидный катализатор позволяет дополнительно к реакции Клауса провести гидролиз COS, CS<sub>2</sub> как побочных продуктов сгорания кислого газа.

- Камеры сгорания оснащены высокоэффективными горелочными устройствами фирмы «Duiker», которые полностью позволяют утилизировать углеводороды, содержащиеся в кислом

газе без образования сажи, а также за счет оптимального режима смешения газа с воздухом достичь практически полного отсутствия свободного кислорода в технологических газах.

- Установлено сепарационное оборудование на кислом газе амина, кислом газе с отпарки кислой воды и топливном газе для обеспечения безопасной работы газовых горелок.

- Установлен сероулавнитель с сетчатым отбойником эффективно снижающим потери капельной серы с технологическим газом.

- Печь дожига, работает при температуре 750-800 °С, оснащена двухпроводной горелкой, которая позволяет полностью утилизировать все примеси ( $H_2S$ ,  $S_8$ ,  $COS$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ) в отходящих газах.

- Смонтирован узел дегазации по воздушному способу фирмы «Shell» для ямы жидкой серы, что позволит уменьшить содержание  $H_2S$  в жидкой сере до 10 ppm.

- Установлены котлы утилизаторы, предназначенные для охлаждения технологического газа после термической ступени с выработкой пара 1,3 МПа и температурой 194 °С, который будет выводиться в общезаводскую сеть.

- Установлены горизонтальные конденсаторы серы. Двухступенчатый конденсатор предназначен для охлаждения технологического газа и конденсации серы после термической и 1-ой каталитической с выработкой пара 0,4 МПа и температурой 15 °С. Двухступенчатый конденсатор, установленный после 2-ой и 3-й каталитических ступеней, охлаждает технологический газ с конденсацией серы до температуры 130-135 °С, за счет выработки пара давлением 0,144 МПа и температурой 126 °С, что позволяет снизить потери элементарной серы в виде паров. Пар используется на собственные нужды установки (обогрев технологических трубопроводов и аппаратов).

В соответствии с законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими нормативными документами, регулирующими природоохранную деятельность в РФ, проектом также предусмотрен комплекс мероприятий направленных на предупреждение и уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в процессе функционирования установки.

На установке исключены предохранительные клапаны на аппаратах с сероводородной средой, работающих под давлением, за счет принятого расчетного давления основных аппаратов большим или равным давлению питающих источников, применены герметичные насосы, что исключает выброс вредных веществ в окружающую среду. Работа печей дожига при температуре ~750-800 °С позволяет за счет этой температуры достигать более полного сгорания сероводорода, окиси углерода, сероуглерода и сероокиси углерода. Установка утилизации сероводородного газа и производство гранулированной серы обеспечена аварийно-предупредительной сигнализацией.

Реализация всех вышеуказанных проектных и технических решений позволяет достигать гарантированную степень извлечения серы на установке не менее 98% при степени конверсии аммиака – 100%.

Строительство на Ачинском НПЗ установки утилизации сероводородсодержащего газа и производства гранулированной серы позволяет осуществлять природоохранные мероприятия, направленные на уменьшение техногенного воздействия на экологию региона, а также дополнительно производить новый тип товарной продукции предприятия в соответствии с ТУ У 24.1-255455611-001-2001 «Сера техническая гранулированная».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов В.С. Введение в газохимию – М.: Наука, 2005. –109 с.



## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОЗАСТЫВАЮЩИХ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

О.А. Дружинин<sup>1</sup>, В.П. Твердохлебов<sup>2</sup>, Ф.А. Бурюкин<sup>2</sup>, Н.В. Гавголенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «АНПЗ ВНК», г. Ачинск, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

В России доли производимых топлив различных видов распределяются следующим образом: 90% для применения в умеренной климатической зоне; менее 10% для использования в условиях холодного климата; около 1% для использования в условиях арктического климата. На сегодняшний день потребность российского автотранспортного комплекса в дизельном топливе для использования в условиях холодного климата обеспечивается, менее чем наполовину.

Указанное свидетельствует о том, что при организации современного производства низкозастывающих дизельных топлив нефтеперерабатывающим заводам (НПЗ) предстоит одновременно решать две сложные, взаимосвязанные задачи – улучшение низкотемпературных свойств и значительное углубление сероочистки дизельных топлив.

Рассматривая различные современные технологии углубления переработки нефти и получения высококачественных топлив в ОАО «Ачинский НПЗ ВНК», руководители и ведущие специалисты завода совместно с ОАО «ВНИИ НП» и ФГОУ ВПО «СФУ», основываясь на собственных инновационных разработках [1], пришли к выводу, что для рационального решения проблемы производства низкозастывающих сортов дизельных топлив целесообразно внедрение процесса гидродепарафинизации совмещенного с процессом гидроочистки [2].

Техническое перевооружение установки гидроочистки дизельного топлива секции 300/1, входящей в комбинированную установку по переработке нефти ЛК-6Ус, включало в себя введение в строй дополнительного реактора (Р-301а) последовательно к существующему реактору гидроочистки (Р-301) и, в последствие, реконструкцию отделений сепарации, очистки ВСГ и блока стабилизации, в связи с более высоким выходом газа и бензина (рис. 1).

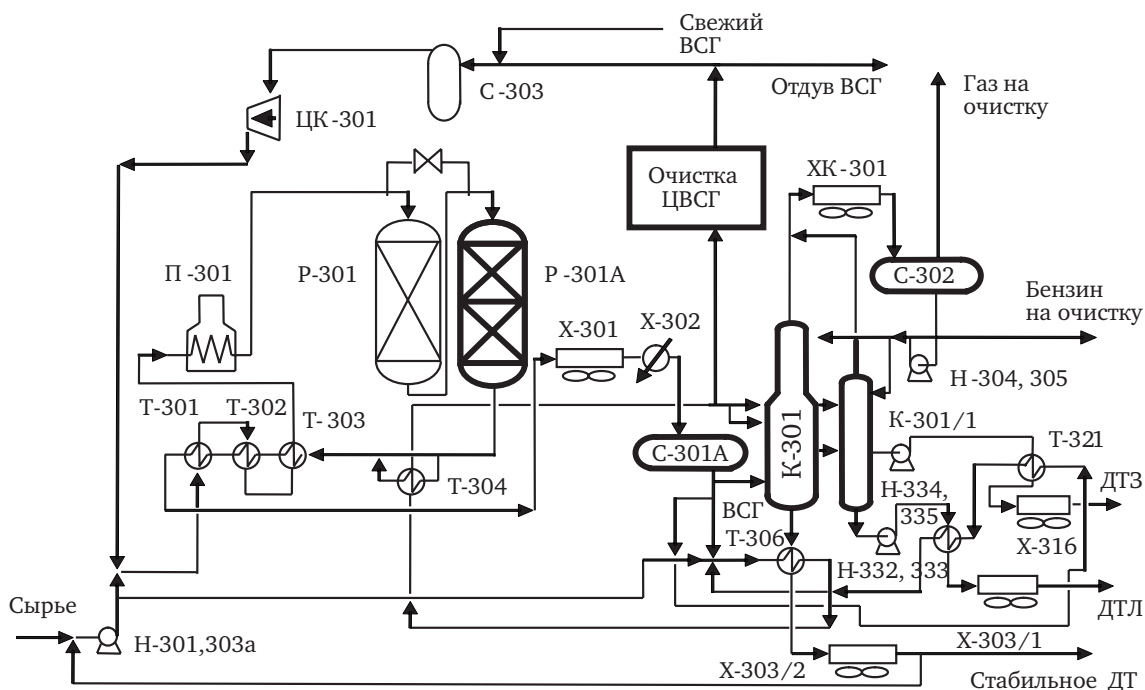


Рис. 1. Технологическая схема секции гидроочистки 300/1 установки ЛК-6Ус после реконструкции

Анализ материалов исследований [1-2], сочетающих современные инструментальные (хромато-масс-спектрометрия) и традиционные методы (анализ нефтепродуктов методами ASTM), позволяет сформулировать направление химических превращений, происходящих в двухстадийном процессе гидродепарафинизации и гидроочистки дизельного топлива в условиях производства в ОАО «Ачинский НПЗ ВНК»:

1. Наибольшим изменениям на стадии гидродепарафинизации подверглись парафиновые углеводороды нормального строения. Наличие в продуктах реакции парафинов нормального и изостроения меньшего молекулярного веса, чем исходные парафины, т.е. появление их в значительных количествах в газе и бензине, показывает, что парафины нормального строения подвергаются селективному гидрокрекингу, сопровождающемуся изомеризацией. Тот факт, что газы реакции состоят в основном из пропана и бутанов, говорит о том, что селективный крекинг парафиновых углеводородов протекает по карбоний-ионному механизму;

2. Селективному гидрокрекингу на катализаторе депарафинизации в небольшой степени подвергаются и слаборазветвлённые парафиновые углеводороды, о чём свидетельствуют данные сводного баланса продуктов превращения, из которых видно уменьшение доли их в целевом продукте по сравнению с сырьём;

3. На стадии гидроочистки частично протекают реакции гидрирования ароматических углеводородов, в особенности полициклических до нафтено-ароматических структур с последующим раскрытием нафтенового кольца;

4. В процессе гидроочистки раскрытию подвергаются нафтеновые циклы, о чём свидетельствует увеличение би- и моноциклических структур в продуктах реакции»

5. Гидрирование соединений серы на стадии гидроочистки.

Таким образом, проведенные исследования [1] показали, что при гидродепарафинизации дизельных дистиллятов нефти западно-сибирских месторождений наблюдается высокая селективность катализатора HYDEX-G в отношении гидрокрекинга нормальных парафиновых углеводородов. При этом другие соединения на этой стадии процесса, такие как изопарафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды претерпевают минимальные превращения. Протекание реакций селективного гидрокрекинга n-парафиновых углеводородов приводит к улучшению низкотемпературных и экологических свойств выпускаемых дизельных топлив. На стадии гидроочистки частичное гидрирование ароматических углеводородов, в особенности полициклических до нафтено-ароматических структур с последующим раскрытием нафтенового кольца способствует улучшению цетановых характеристик дизельного топлива. Установлено, что катализатор гидродепарафинизации не проявляет селективности по отношению к длине цепи нормального парафинового углеводорода. Поэтому для минимизации потерь и увеличения выхода конечного продукта гидродепарафинизации целесообразно подвергать более высококипящие дизельные дистилляты с последующим компаундированием с более низкокипящей фракцией.

Следствием всего вышеизложенного стала разработка и внедрение в ОАО «Ачинский НПЗ ВНК» технических решений по совершенствованию технологии и технологической схемы секции 300/1 комплекса ЛК-6Ус, обеспечивающие производство экологически чистых дизельных топлив. За счет вовлечения в сырьё утяжелённых дистиллятных фракций увеличена глубина переработки нефти и улучшены экономические показатели производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинин, О.А. Деструктивные гидрогенизационные процессы при получении низкотемпературных дизельных топлив [Текст]: Дис. ...канд.хим. наук / О.А. Дружинин – Красноярск, 2009. – 122 с.

3. Дружинин, О.А. Опыт модернизации производств дизельного топлива с улучшенными низкотемпературными свойствами [Текст] / О.А. Дружинин, Ю.М. Касюк, Д.А. Мельчаков, С.В. Хандархаев, В.П. Твердохлебов, Ф.А. Бурюкин // Технология нефти и газа. – 2009.–№ 3.

## КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева, Е.Г. Мальцева*  
ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Разработанный комплексный метод включает испытания смазочных масел на термоокислительную стабильность, температурную стойкость и противоизносные свойства термостатированных масел. Термоокислительная стабильность определялась по коэффициентам поглощения светового потока, характеризующего концентрацию продуктов окисления и летучести. Сумма этих параметров определяет термоокислительную стабильность исследуемого масла смазочного материала.

Температурная стойкость масла исследовалась в диапазоне температур от 80 до 300 °С в зависимости от назначения смазочного материала. Параметрами температурной стойкости выбраны коэффициенты поглощения светового потока, характеризующие концентрацию продуктов деструкции базовой основы и легирующих присадок, и летучести. Сумма этих показателей характеризует температурную стойкость смазочных материалов.

Вязкость термостатированных масел в основном зависит от концентрации продуктов окисления, деструкции и массы испарившегося масла. Предельным показателем вязкости принято ее увеличение на 30% по отношению к вязкости товарного масла, что позволяло определить предельные значения коэффициентов термоокислительной стабильности, температурной стойкости и потенциальный ресурс исследуемого смазочного материала.

Противоизносные свойства термостатированных смазочных материалов оценивались после их окисления и деструкции присадок на четырехшариковой машине трения. В качестве параметров противоизносных свойств выбраны диаметр пятна износа, продолжительность суммарных деформаций (пластической, упругопластической и упругой), а также склонности термостатированных масел и формированию защитных хемосорбционных слоев на поверхностях трения.

Разработанный комплексный метод является основой для идентификации и классификации смазочных материалов различного назначения. Исследованиями больших партий трансмиссионных и моторных масел установлено несоответствие классификации группами эксплуатационных свойств.

Применение комплексного метода апробировано при анализе отработанных моторных масел. Результаты испытания показали, что у 80% машин были слиты масла хорошего качества, т.е. существующая система контроля моторных масел по пробегу не обеспечивает эффективное их применение.

Комплексный метод контроля смазочных масел апробирован при исследовании влияния доливов масел на их ресурс, влияние смесей масел на термоокислительную стабильность и температурную стойкость. Результаты исследования показали, что доливы масел увеличивают ресурс минеральных масел до 20% и у синтетических масел его уменьшают.

Исследованиями смесей масел различной базовой основы установлено, что добавки синтетической основы к минеральным маслам повышает их термоокислительную стабильность, температурную стойкость, ресурс и улучшает вязкостную характеристику, повышает пусковые свойства в холодное время года. Кроме того, комплексный метод позволяет обосновать оптимальную концентрацию синтетической добавки при производстве частично синтетических масел.

Применение комплексного метода исследования смазочных материалов позволяет получить дополнительную информацию о эксплуатационных свойствах, включающую температуру начала окислительных процессов и деструкции базовой основы и присадок, критическую температуру работоспособности, параметр влияния продуктов окисления и деструкции на изменение вязкости и на этой основе.

Совершенствовать систему идентификации и классификации, а также обосновать ресурс масел по их противоизносным свойствам.

## ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

*Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Мальшева, Е.Г. Мальцева, О.Н. Петров*  
ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Проблема трения, смазочного действия и износа напрямую определяет надежность механических систем, закладываемая на стадии проектирования, обеспечиваемая при изготовлении и подтверждающаяся в период эксплуатации техники.

Одной из актуальных задач в этой области является расширение температурного диапазона работоспособности смазочных масел. На стадии изготовления машин и механизмов, при разработке технологий упрочнения деталей не учитываются фактические температуры в зоне фрикционного контакта, процессы, протекающие на поверхностях трения и в самом смазочном масле, влияющие на коррозионно-механическое изнашивание. В процессе эксплуатации не учитываются изменяющиеся свойства и качество смазочных масел.

Настоящие рекомендации предусматривают технологию определения параметров температурной стойкости товарных масел, представленную блок-схемой (рис. 1) с использованием прибора для определения температурной стойкости, фотометра, вискозиметра, центрифуги и электронных весов. Они разработаны с целью обоснованного осуществления выбора смазочных материалов для определенной степени нагруженности механизма и осуществления контроля за соответствием исследуемого масла группе эксплуатационных свойств. Для этого пробу товарного масла подвергают термостатированию на приборе для определения температурной стойкости в течение шести часов при каждой температуре в диапазоне от 140 до 300 °С с интервалом в 20 °С и ее заменой на новую. После чего фотометрированием определяют коэффициент поглощения светового потока  $K_n$  испытанной пробы масла и измеряют вязкость с последующим использованием этих параметров для определения скорости процесса деструкции  $V_{Kn}$  и комплексного критерия температурной стойкости  $K$ .

Полученная дополнительная информация о температурной стойкости смазочных материалов используется для построения графических зависимостей коэффициента поглощения светового потока  $K_n=f(T)$ , относительной вязкости  $K_\mu=f(T)$ , летучести  $G=f(T)$ , скорости процесса деструкции  $V_{Kn}=f(T)$  от температуры испытания масла и проведения регрессионного анализа, описывающего процессы деструкции исследуемых масел уравнением второго порядка.

Зависимость коэффициента поглощения светового потока от температуры испытания масла характеризует кинетику процессов деструкции масла и определяет температуру начала деструкции присадок.

Зависимостью вязкости от температуры испытания исследуемого масла определяется эффективность загущающих и депрессорных присадок при термостатировании масла, а также стабильность базовой основы и начальная температура ее деструкции.

Зависимостью скорости процесса деструкции масел от температуры испытания, определяется начальная температура деструкции масел, а также определяется комплексный критерий температурной стойкости  $K$ .

В комплексе эти показатели рекомендуется использовать для назначения группы эксплуатационных свойств.

Зависимость приращения коэффициента поглощения светового потока от температуры испытания количественно и качественно определяет механизм деструкции, температурную область образования начальных, промежуточных и конечных продуктов деструкции.

Количественный состав продуктов деструкции масел определяется центрифугированием пробы исследуемого масла с последующим ее фотометрированием, что позволяет установить концентрацию растворимых продуктов деструкции и начало образования нерастворимых. Зависимость летучести от температуры испытания, характеризует потери масла из-за уменьшения вязкости в связи с деструкцией молекул базовой основы масла.

Качественный состав масел определяется влиянием присадок на температурную стойкость их базовой основы и оценивается скоростью изменения концентрации нерастворимых продуктов деструкции.

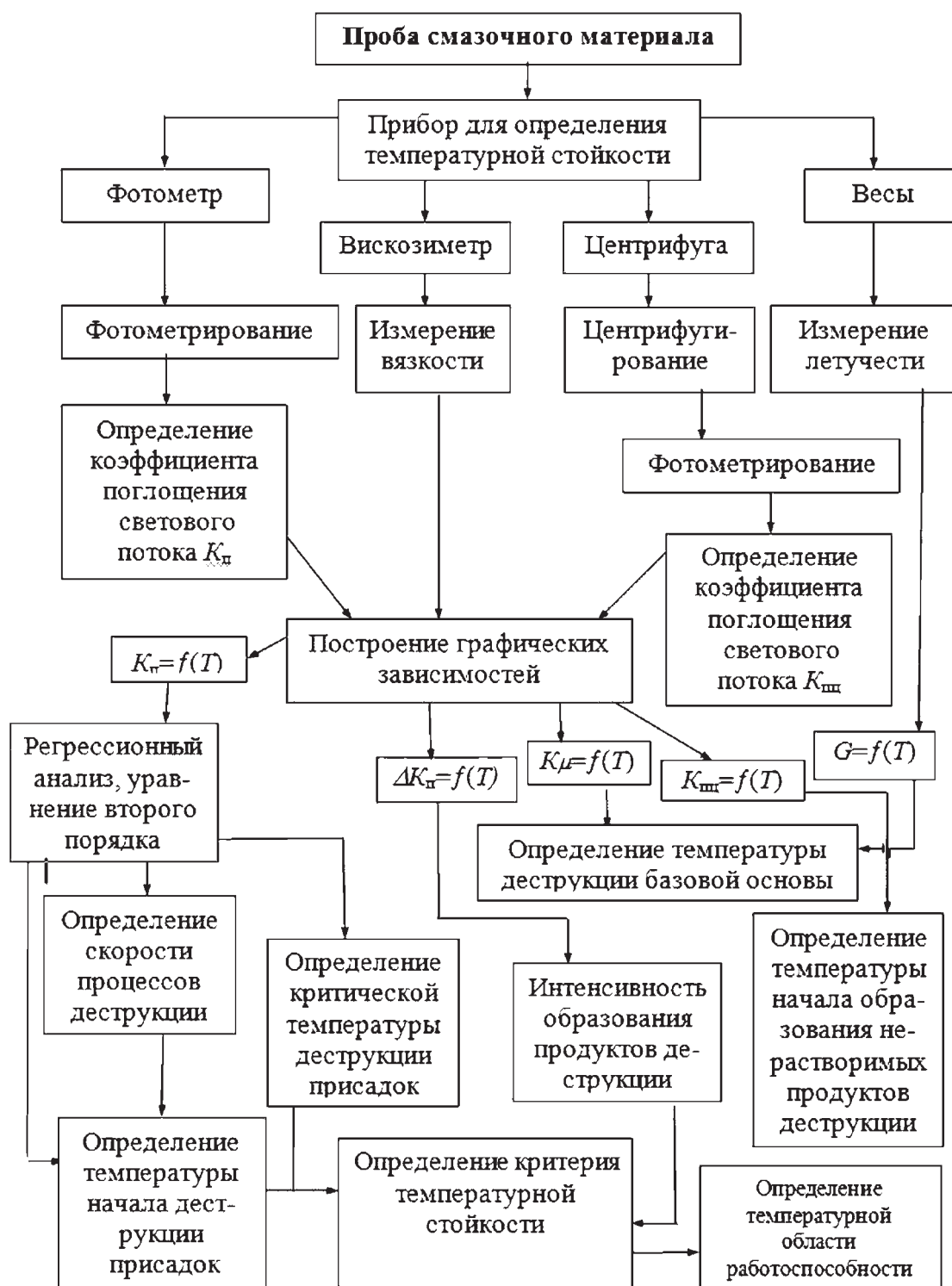


Рис. 1. Блок-схема технологии определения параметров температурной стойкости при идентификации и классификации масел

Таким образом, технология определения параметров температурной стойкости масел устанавливает основные критерии, позволяющие количественно и качественно охарактеризовать состояние исследуемых товарных масел, на основании которых они рекомендуются к применению в механических системах.

## ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАБОТАВШИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

*В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, Е.Г. Мальцева*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Предельным или неработоспособным состоянием моторных масел необходимо считать обоснованный параметр, при достижении которого оно подлежит смене. В качестве такого показателя рекомендованы противоизносные свойства, определяемые на трёхшариковой машине трения со схемой «шар-цилиндр» по величине диаметра пятна износа.

Исследованиями противоизносных свойств отработанных частично синтетических и синтетических моторных масел установлена связь между этим показателем и концентрацией нерастворимых продуктов старения.

Обоснованием этого показателя послужили исследования зависимостей противоизносных свойств от концентрации нерастворимых продуктов, а также комплексного критерия Кэ/п, определяемого отношением коэффициента электропроводности к приведённой плотности нерастворимых продуктов в отработанном моторном масле.

Комплексный критерий отражает плотность нерастворимых продуктов и их влияние на механохимические процессы измеряемые величиной тока, протекающего через фрикционный контакт.

Исследованиями показано, что как противоизносные свойства (диаметр пятна износа), так и комплексный критерий Кэ/п зависят от концентрации нерастворимых продуктов старения отработанных масел при эксплуатации двигателей. Поэтому для эксплуатационников более простым методом контроля за предельным состоянием работающих моторных масел является определение концентрации нерастворимых продуктов старения при условии обоснования предельного их значения, указываемого в инструкции по эксплуатации.

Для реализации предлагаемого метода достаточно оснастить предприятия средствами контроля, включающих: фотометр и центрифугу. При этом фотометр определяет общую загрязнённость моторных масел продуктами старения, а центрифуга – концентрацию растворимых продуктов.

Разность между показаниями фотометра до и после центрифугирования определяет концентрацию нерастворимых продуктов старения в работающем моторном масле, которую сравнивают с допустимой и оценивают отработанный ресурс.

Противоизносные свойства от концентрации нерастворимых продуктов старения изменяются по синусоидальной зависимости, поэтому для исследованных масел предельным показателем противоизносных свойств является диаметр пятна износа 0,55мм, а концентрация нерастворимых продуктов старения величиной 0,5 ед.

Кроме того предельный показатель концентрации нерастворимых продуктов старения характеризует состояние системы фильтрации, поэтому если при фотометрировании работающих масел до и после центрифугирования показатель концентрации нерастворимых продуктов составит значение 0,45 или 0,5 ед. данное масло необходимо слить из двигателя.

Разработанная технология определения предельного состояния работавших моторных масел с применением фотометра, вискозиметра, прибора для определения термоокислительной стабильности, трёхшариковой машины трения и электронных весов позволяет обосновать критерий предельного состояния, по которому осуществлять замену масел.

Принимая оптическую плотность в качестве критерия оценки работоспособности масел, по достижении ее предельного значения можно производить их замену, что обеспечит эффективное их использование.



## МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ СТАЛЕЙ СТ45 И ШХ15 НА ПРОЦЕССЫ ТЕРМООКИСЛЕНИЯ МАСЛА М10-Г<sub>2</sub>К

*Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, А.А. Метелица, А.Н. Сокольников, Е.Г. Мальцева*  
ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Надежность механической системы определяется процессами самоорганизации ее элементов, которые зависят от материалов трибосопряжений, смазочного материала и температур в зоне контакта. Смазочный материал, как элемент механической системы, существенно влияет на надежность всей системы, однако в процессе эксплуатации его свойства изменяются, поэтому установление критериев влияния продуктов окисления на формирование защитных граничных слоев на поверхностях твердых тел имеет научное и практическое значение. Износостойкость материалов пар трения характеризуется их физико-механическими свойствами и структурой. Но сведения о совместимости сталей различной термообработки с жидкими смазочными материалами, базовой основой и комплектом присадок, практически отсутствуют.

Обзор проведенных исследований выявил отсутствие научно-обоснованного критерия оценки процессов самоорганизации смазочных материалов, а также их влияние на образование комплексных соединений на поверхностях трения. Поэтому для оценки процессов самоорганизации предлагаются интегральные критерии оценки свойств смазочного масла и поверхности твердых тел. Термоокислительная стабильность оценивалась по таким показателям, как коэффициент поглощения светового потока, коэффициент относительной вязкости, коэффициент летучести и коэффициент тепловых преобразований. В результате температурной нагрузки происходит изменение физико-химических свойств моторного масла, изменяются оптические свойства и летучесть. Коэффициент тепловых преобразований является критерием термоокислительной стабильности.

Термоокислительная стабильность смазочных масел оценивалась на специально разработанном приборе, позволяющем исследовать процессы самоорганизации, протекающие отдельно в масле и на поверхности твердых тел.

В качестве вспомогательного оборудования использовались: спектрофотометр, вискозиметр и электронные весы. Через каждые пять часов испытания отбиралась проба масла для фотометрирования, измерения вязкости и летучести. Для определения различий в процессах самоорганизации, протекающих на поверхности твердого тела и в смазочной среде, сравнительные испытания проводились как для масляной среды, так и для масляной среды с твердым телом в выбранном диапазоне температур.

Сравнительная оценка изменения оптических свойств при окислении товарного минерального масла без сталей и со сталями проводилась по изменению коэффициента поглощения светового потока  $K_p$  от времени и температуры испытания. Установлено, что влияние стали на процессы самоорганизации не проявляется в начальный период времени испытания, при этом, с повышением температуры он уменьшается. Изменение периода времени влияния стали объясняется особенностью хемосорбционного слоя на поверхности стали, состоящего из двух слоев, поэтому процессы самоорганизации при термостатировании стали в среде масла заключаются в первоначальном формировании хемосорбционного слоя, который в дальнейшем отслаивается в виде ультрадисперсных фрагментов и переходит в масляную среду, а на освободившейся микроповерхности формируется новый слой. Изменение вязкости при окислении масла М10-Г<sub>2</sub>К без сталей и со сталями имеет общую тенденцию снижения в начальный период испытания, однако сталь оказывает большее влияние на снижение этого показателя, что может объясняться температурной деструкцией вязкостных присадок.

Разработанная методика исследования процессов самоорганизации трибосистем при термостатировании с применением средств измерения, включающих прибор для определения термоокислительной стабильности, спектрофотометр, вискозиметр и весы, позволяет разделить определить процессы, протекающие на поверхности твердых тел на примере стали 45 различной термообработки и в самом смазочном материале и определить количественные показатели этих процессов. Предложен альтернативный интегральный критерий оценки влияния стали на процессы окисления, учитывающий количество поглощенной тепловой энергии при образовании продуктов окисления, позволяющий определить совместимость стали и смазочной среды.

Разработаны практические рекомендации по совместимости элементов трибосистем, которые позволяют разработать организационно-технические мероприятия по эффективности использования моторных масел и обоснованному выбору в зависимости от условий эксплуатации и конструктивных особенностей сложных агрегатов.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, О.Н. Петров, Н.Н. Малышева  
ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

*Представлены результаты испытания моторного минерального масла Spectrol Super Universal 15W-40 SF/CC на противоизносные свойства. Определены: параметры износа пары трения, продолжительность суммарной деформации, определена связь между параметрами износа и суммарной продолжительностью деформаций.*

Основное требование, предъявляемым к смазочным материалам, – обеспечение износостойкости материалов пар трения в широком диапазоне нагрузок, скоростей и температур. В условиях граничной смазки на поверхностях трения могут формироваться: физически адсорбированные слои молекул смазочного материала, относительно слабо связанные с поверхностью твердого тела (А-слой), хемосорбционный слой, прочно связанный с поверхностью органических отложений, образующий преимущественно продуктами окисления и деструкции смазочного материала (D-слой), а также химически модифицированный слой на поверхности металла в случае прямых химических реакций металла с молекулами присадок (М-слой). Таким образом, от качества смазочного материала зависят процессы формирования защитных слоев на поверхностях трения.

Параметром оценки противоизносных свойств в данном методе является величина диаметра пятна износа, а критерием – суммарное время пластической и упругопластической деформации материалов пар трения.

Проба масла постоянной массы ( $13 \pm 0,1$  г) подвергалась испытанию на трехшариковой машине трения со схемой трения «шар-цилиндр» в течение двух часов. После испытания определялся параметр износа, как средний диаметр пятна износа шаров. При испытании пробы масла на машине трения через пару трения пропускается постоянный ток величиной 100 мкА от внешнего стабилизированного источника постоянного напряжения 3 В. Величина тока 100 мкА задавалась при неподвижной паре трения. В процессе трения, изменения тока через преобразователь записывались на компьютер в виде диаграмм. Параметры трения выбраны постоянными и составили: нагрузка на шары – 13Н; скорость скольжения – 0,68 м/с; температура масла – 80 °С; время испытания – 2 часа. Поскольку параметры трения приняты постоянными, то параметр износа будет зависеть от концентрации продуктов температурной деструкции и влияния их на сорбционные процессы, формирующие на поверхности трения защитные слои.

Продолжительность пластической и упругопластической деформаций  $t_{п.х.}$  определяется временем уменьшения тока, протекающего через пару трения от максимального (100 мкА) до его стабилизации.

Интенсивность упругой деформации зависит от механической прочности хемосорбционных слоев, образующихся на поверхности трения, скорости их образования и разрушения, поэтому ее продолжительность определялась с учетом величины тока, протекающего через пару трения.

Величина тока, протекающего через пару трения, определяется как сумма среднеарифметических его значений на участках стабилизации. Полученные значения тока суммируются и делятся на продолжительность упругой деформации, определяемой из диаграммы записи тока. Фактическая продолжительность упругой деформации  $t_{у.д.}$ , которая влияет на параметр износа, определяется как произведение продолжительности упругой деформации, вычисленной по диаграмме тисп на коэффициент электропроводности пары трения  $K_{\Sigma}$ .

$$t_{у.д.} = t_{исп} \cdot K_{\Sigma}, \quad (1)$$

где  $K_{\Sigma} = I_{\phi.к.}/I_3$ ;  $I_{\phi.к.}$  – ток, протекающий через пару трения (фрикционный контакт), мкА;  $I_3$  – заданная величина тока при неподвижной паре трения, мкА (100 мкА).

Далее определяют суммарную продолжительность пластической, упругопластической и упругой деформаций

$$t_{\Sigma} = t_{п.х.} + t_{у.д.}, \quad (2)$$

где  $t_{п.х.}$  – продолжительность пластической и упругопластической деформаций, мин;  $t_{у.д.}$  – продолжительности упругой деформации, взятой из диаграммы, мин.

Чем больше величина тока, протекающего через пару трения, тем хуже прочность связи хемосорбционного слоя с материалом твердого тела, а это увеличивает изнашивание, и наоборот, чем меньше величина тока – тем прочнее связь хемосорбционного слоя и тем меньше скорость изнашивания, т.к. поверхности трения разделены хемосорбционным слоем.

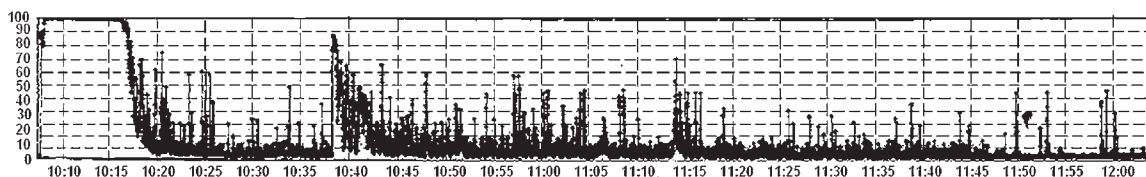


Рис. 1. Диаграмма записи тока при испытании на трехшариковой машине трения

Связь между параметром износа и суммарной продолжительностью деформаций представлена на рисунке 2., где показано, что для исследуемого масла с увеличением суммарной продолжительности деформацией износ увеличивается, что говорит о понижении смазывающей способности масел и понижении противоизносных свойств.

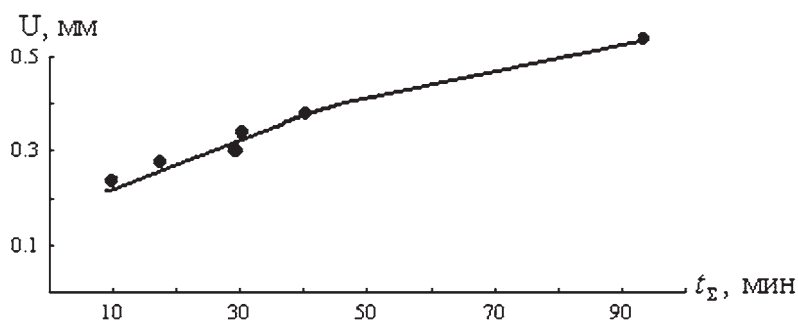


Рис. 2. Графическая зависимость параметра износа  $U$  от продолжительности суммарной деформации  $t_{\Sigma}$

Таким образом, предложенная методика позволяет получить дополнительную информацию, включающую определение противоизносных свойств, смазывающую способность масел, оценить периоды формирования фрикционного контакта и защитных граничных слоев на поверхностях трения период, скорости образования и разрушения хемосорбционных защитных слоев на поверхностях трения, их прочность и связь с основой твердого тела, исследовать механохимические процессы при граничном трении, определить предельное состояния работающих масел (ресурс).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. СССР N1054732, МПК G 01 N 3/56, опубл. 1983г.
2. Пат. РФ N2186386, МПК G 01 N°33/30, 3/56, опубл. 2002г.

## ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ В ПРИВОДАХ БУРОВЫХ МАШИН

*В.Н. Анферов, А.П. Ткачук, И.В. Галаюда, Ю.В. Корнеев*

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

В машинах различного назначения широкое применение нашли редукторы и приводы на основе передач зацеплением. От надежности, работоспособности и других эксплуатационных показателей привода существенно зависят одноименные показатели машин. По этой причине решение различных аспектов проблемы совершенствования привода машин чрезвычайно актуально.

В приводах машин используются различные передачи зацеплением: с параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями валов. Передача с перекрещивающимися осями позволяют уменьшить число звеньев в кинематических цепях трансмиссий и приводов, обеспечивая значительную редукцию в одной паре, одновременно осуществляя передачу движение между валами, оси которых расположены под углом в пространстве. Число передач данного класса достаточно велико, но наибольшее применение нашли червячные цилиндрические, глобоидные, гипоидные и спироидные передачи. Каждая из них имеет также большое число разновидностей, отличающихся видами зацепления, формой звеньев, профилем зубьев и др. Данное замечание относится также и к спироидным передачам.

В России наибольшее применение нашли спироидные передачи с цилиндрическим червяком (рис. 1) [1]. Передача может иметь различный профиль витков червяка, однако чаще применяют профиль, образуемый вращением прямой относительно оси червяка. Спироидные передачи с цилиндрическим червяком менее трудоемки в изготовлении и являются доступными по технологии производства для большинства машиностроительных предприятий России, в том числе для ремонтных цехов.

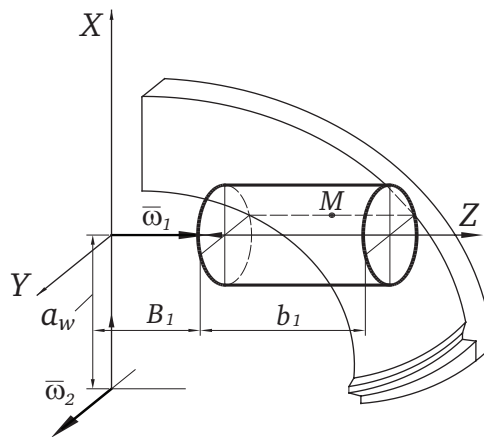


Рис. 1. Схема спироидной передачи с цилиндрическим червяком:  
 $a_w$  – межосевое расстояние;  $B_1$  – удаление ближнего торцевого сечения спирального червяка от межосевой линии передачи;  $b_1$  – длина зацепляющейся части червяка;  $M$  – расчетная точка;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости червяка и колеса

Выполненный нами сравнительный анализ наиболее распространенных в промышленности гипербоидных передач, показал перспективность применения спироидных передач в приводах машин. При сравнении использован ряд наиболее характерных показателей: предпочтительные значения передаточного числа в одной паре, характер контакта зубьев, типичное значение коэффициента перекрытия, нагрузочная способность, чувствительность к погрешностям, прирабатываемость в паре, а также возможность применения недорогих и недефицитных материалов (стали вместо бронзы для червячных передач).

Системный подход к проблеме внедрения спироидных передач позволил осуществить их применение в редукторах, мотор-редукторах, приводах запорной арматуры нефте- и газопроводов, в подъемно-транспортных устройствах, в атомной промышленности, в станкостроении и др.[2].

За рубежом спироидные передачи применяют в станкостроении, в военной технике, в судовых механизмах, в механизмах сельскохозяйственных машин, в приводах электроинструментов, в подъемно-транспортных машинах и в редукторах общего назначения. Компания Gilman Engineering (США), например, эффективно использовала спироидные передачи в приводах автоматической станочной линии. Фирма Vickers (США) применила спироидные передачи в подъемниках серийно выпускаемых вертолетов. Применение спироидных передач позволило повысить надежность подъемников и увеличить их грузоподъемность в полтора раза. Компания The Duuf Norton (США), применив спироидные передачи в талях, заменила одной спироидной парой многорядные цилиндрические передачи, резко снизив металлоемкость изделий и стоимость их изготовления.

В России координирующим научным и техническим центром по спироидным передачам является Институт механики Ижевского государственного технического университета (директор – д.т.н., профессор Гольдфарб В.И.). Здесь ведутся теоретические исследования, опытно-конструкторские работы и осуществляется производство спироидных редукторов и мотор-редукторов различного назначения.

Предпосылками к внедрению спироидных передач в различных областях техники является следующее:

- высокая нагрузочная способность спироидного зацепления;
- возможность осуществления передачи движения со значительными изменениями частоты вращения между валами, оси которых перекрещиваются;
- большие, в сравнении с червячными передачами, КПД и износостойкость;
- плавность хода и бесшумность в работе;
- возможность исключения обратного хода (самоторможение);
- высокая кинематическая точность;
- технологичность изготовления и сборки;
- применение для их изготовления не только бронз, латуней, а также стали и чугуна.

В заключении отметим, что, используя спироидные передачи в приводах и механизмах машин, можно существенно улучшить их технические характеристики, уменьшить габариты и массу изделий, увеличить ресурс, снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт, что позволит увеличить производительность труда обслуживающего персонала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдфарб В.И., Анферов В.Н. Перспективы применения спироидных редукторов в горном машиностроении. Труды международной конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» – Т.2, Новосибирск, 2007. С.113-116.

2. Pat.2954704 USA Skew-axis gearing/O.E.Saari.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА НЕФТЬ И ГАЗ ПРЕДЕЛЬНО МАЛЫМ ДИАМЕТРОМ В УСЛОВИЯХ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*В.Ф. Черныш, С.И. Васильев*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Объемы геолого-разведочных работ при выявлении и разведке месторождений ежегодно проводимых в нашей стране значительно уступают объемам необходимым для воспроизводства запасов углеводородов.

Мудрость геологической службы России в первые послевоенные десятилетия проявилась в том, что практически при нулевой изученности обширных территорий она полностью отказалась от метода заложения глубоких разведочных скважин на нефть типа «дикой кошки», чем многие занимались за рубежом, а при минимально возможном обосновании осуществила программу бурения опорных скважин. Программа после ее успешного завершения в последующем была переложена на бурение параметрических скважин. Теперь мы можем с удовлетворением подчеркнуть, что большинство, если не все более или менее крупные месторождения нефти, были открыты параметрическими скважинами. Нет сомнения в том, что и будущие открытия крупных месторождений нефти будут связаны с параметрическим бурением.

Опорные скважины стремились бурить с отбором керна во всех интервалах, так задача опорных скважин – изучение геологического строения и гидрогеологических условий, определения общих закономерностей распределения осадочных комплексов для выбора направления геологоразведочных работ.

На параметрические скважины возлагается задача минимум 25 % глубины проходить с отбором керна, сосредоточив основной объем на нижележащую и наименее изученную часть геологического разреза. Несмотря на появившиеся бесспорно революционные методы электрометрических методов исследования скважин, метод отбора и детального изучения керна остается наиболее информативным. Параметрическая скважина была и остается источником исчерпывающей информации, в отличие от других категорий скважин, которые так или иначе связаны с извлечением нефти или газа. Так, разведочные имеют конструкцию таковой, что они с наибольшей вероятностью тоже станут добывающими. И вот в этом проявился симбиоз средства для добычи полезного ископаемого со средством получения информации о геологическом разрезе. Параметрическая скважина предназначена для получения всесторонней геолого-геофизической информации. Намечившаяся тенденция конструировать параметрическую скважину не для получения информации, а как объект для добычи нефти или газа, на наш взгляд является стратегической ошибкой. Как только приходит осознание того, что параметрическая скважина является средством получения информации, так сразу становится понятным, что в ее конструкции явно преобладают излишества. Они состоят в отсутствии необходимости эксплуатационной колонны, которая может быть заменена исследовательской, если понадобятся детальные гидродинамические исследования скважины. Излишествами является большой конечный диаметр, обеспечивающий извлечение керна, электрометрические и гидродинамические исследования, а отнюдь не для спуска и цементирования эксплуатационной колонны с последующей эксплуатацией скважины через нее. Практике проведения геологоразведочных работ на нефть и газ только в Красноярском крае из более чем ста построенных здесь параметрических скважин только в семь были спущены эксплуатационные колонны для того, чтобы испытать скважину на приток под ее прикрытием. Но все сто скважин были закончены таким диаметром, в который можно было спустить полноразмерную эксплуатационную колонну, через которую можно извлекать до тысячи тонн нефти в сутки.

А можно было бы закончить эти скважины вдвое уменьшенным конечным диаметром и получить ту же геолого-геофизическую информацию, что и при большом конечном диаметре. Но в этом случае каждая скважина стоила бы в два раза дешевле.

С другой стороны, параметрические скважины всегда закладываются в наименее изученных горно-геологических условиях. Следовательно, в строительстве таких скважин заложены наибольшие риски, связанные с возможностью осложнений и аварий. Кроме того, параметри-



ческие скважины первыми проникают в этих наименее изученных условиях на наибольшие глубины, что еще больше повышает указанные выше риски. Оба этих фактора – повышение проектных глубин и меньшая априорная информация при проектировании естественно приводят к большой стоимости скважин.

Параметрические скважины – самые дорогие.

Вернемся опять к практике строительства параметрических скважин в Красноярском крае. Здесь в последние годы строилось пять параметрических скважин с проектной глубиной от 4 до 5 тысяч метров. Одна завершилась открытием месторождения, но три были ликвидированы, не достигнув проектной глубины, то есть, не выполнив геологические задачи.

Несмотря на то, что еще в 1993 году в Министерстве геологии были выполнены исследования и проведены соответствующие экспертные оценки, по которым рекомендовалось перейти на бурение параметрических скважин предельно малым диаметром, уменьшив конечный диаметр не менее чем в два раза, что приведет к уменьшению их стоимости не менее чем на 47%, до сего времени Министерство природных ресурсов продолжает прежнюю практику – проектирование параметрических скважины таким образом, чтобы их можно было в последующем эксплуатировать с огромными суточными дебитами.

Предлагаемая технология строительства параметрических скважин с заканчиванием их предельно малым диаметром строится не на пустом месте. В России наибольшие достижения в реализации этого предложения достигнуты не только собственно в глубоком бурении на нефть и газ, например в части бурения горизонтальных скважин и в области буровых растворов и крепления скважин, но и в геологоразведочном бурении на твердые полезные ископаемые. Здесь наиболее высокие результаты достигнуты в бурении с отбором керна, особенно алмазным и твердосплавным инструментом и бурении со съемными керноприемниками, например в Норильском районе. Совместное использование достижений в смежных областях, по нашему мнению, принесет наибольший успех в реализации предлагаемой технологии..

Вместо выводов и рекомендаций приведем сопоставительные данные анализа отечественных данных и зарубежных, характеризующих наибольший эффект от технологии бурения пионерных скважин на нефть и газ путем заканчивания их предельно малым диаметром, %.

Таблица 1

#### Сравнительный анализ показателей технологии бурения предельно малыми диаметрами

Показатели	Эффективность для Центральной Сибири	По зарубежным данным
Экономическая эффективность в целом	47	50
Экономия энергоресурсов	70	75
Экономия материалов	50	75
Уменьшение г/п буровой установки	66	75
Сокращение объема бурового раствора	73	86
Сокращение объема бурового раствора	73	86
Сокращение буровых отходов	60	75

Идея бурения скважин с заканчиванием их предельно малым диаметром не является новаторской. За рубежом уже несколько десятилетий практикуется эта технология. Существуют специализированные фирмы. Этой технологией занимаются крупнейшие интернациональные компании, такие как Бритиш Петролеум, Бейкер Хьюз, Халлибертон, Амоко продакшин, Французская нефтяная компания и т. д. Более того, там считают, что такие скважины могут быть вполне эксплуатационными, но диаметр эксплуатационных колонн в них тоже в два и более раза уменьшен. Но там преследуются более обширные задачи геофизических исследования, исследований геологического строения и гидрогеологических условий региона.

Фирма Statoil, дочерняя компания BP, специализирующаяся на бурении скважин малого диаметра, на вопрос почему Slimhole drilling technology так выгодна, отвечает (Training workshop.. Nigeria, 24-26 ноября 1993 г):

«вынужденные обстоятельства: нефтегазовая индустрия очень сильно нуждается в уменьшении затрат на разведку и эксплуатацию;

– давление со стороны окружающей среды к устранению и значительному уменьшению аварий и других проявлений вследствие бурения скважин;

– внутреннее осознание: главное осознание того, что малые диаметры уменьшают буровые

и эксплуатационные затраты; осознание того, что малые диаметры могут не только более экономично, но и более безопасно работать».

Таким образом, использование технологии бурения параметрических скважин на нефть и газ путем заканчивания их предельно малым диаметром в условиях разведки месторождений в Восточной Сибири, а также при поиске мелких месторождений и залежей сателлитов, характеризующихся наличием нефтяного коллектора под высоким пластовым давлением является безальтернативной в условиях разведки углеводородов в настоящее время.

## **О РАЗВИТИИ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

*В.В. Грицков*

ООО «Союз маркшейдеров России», г. Москва, Россия

В соответствии с Федеральным законом «О саморегулируемых организациях» от 01.12.2007 № 315-ФЗ под саморегулированием понимается самостоятельная и инициативная деятельность, которая осуществляется субъектами предпринимательской или профессиональной деятельности и содержанием которой являются разработка и установление стандартов и правил указанной деятельности, а также контроль за соблюдением требований указанных стандартов и правил.

На первый взгляд загадочно, зачем было создавать еще один механизм, если запад пользуется для этих целей сертификацией и аккредитацией, каковые существуют и у нас. Реформаторы в эпоху сокращения видов лицензируемой деятельности как раз и предлагали заменять их на сертификацию и аккредитацию. Но эта реформа технического регулирования зашла в тупик.

Отсутствие технических норм или их несовершенство можно восполнить только проектированием. Если есть типовые технические решения, то нужда в проектировании остается только в отношении специфических для конкретного горного предприятия проблем. Если типовые технические решения отсутствуют, то каждому горному предприятию приходится в одиночку решать и типовые проблемы.

Понимание губительности паралича нормотворчества для бурно развивающейся в техническом отношении маркшейдерии привело к запуску через правительственное решение механизма комплексного проектирования маркшейдерских работ. Это привело к увеличению проектных работ, но позволило создать гибкий механизм решения проблем, вызванных все возрастающим разрывом между существующими нормами и новыми технологиями.

Несмотря на отдельные имеющиеся недостатки, развитие систем саморегулирования в целом имеет положительное значение. Но оно может привести к катастрофическим для страны последствиям, если, прикрываясь им, уничтожат систему государственного контроля в тех отраслях промышленности, в которых производственный персонал и саморегулируемые организации без государственной поддержки не справятся.

В первую очередь это относится к горной промышленности. Поэтому очень важно очертить ту экологическую нишу, в которой саморегулирование сможет дополнить иные механизмы технического регулирования, существующие на горных предприятиях, в вертикально-интегрированных компаниях, у государственных контрольных органов.

Обязательное саморегулирование введено для стадии строительства промышленных предприятий. Сделано это под девизом обеспечения промышленной и экологической безопасности, потому что иных поводов для вмешательства государства в деятельность промышленности на базе Градостроительного кодекса нет. Но вопросы промышленной и экологической безопасности при эксплуатации промышленных производств более актуальны, нежели при их строительстве. Самые крупные техногенные аварии в промышленности связаны со стадией эксплуатации.

Сами по себе аварийность, травматизм и экологический ущерб на государственном уровне привлекательности не имеют. Но об них моментально вспомнят, когда очередь дойдет до формирования следующего финансового потока. И если уж если во время мирового кризиса и стаг-

нации строительных отраслей пошли на введение в них дополнительных финансовых поборов, то после завершения кризиса активности в этом направлении прибавится.

Эффективность подобной реформы для финансовых группировок очевидна, поэтому в лоббистских устремлениях недостатка не будет. Включение в сферу обязательного саморегулирования эксплуатации горных производств вполне реально. Чтобы быть готовыми к такому повороту событий, следует приступить к формированию в горном деле систем добровольного саморегулирования.

Для добровольного саморегулирования требования установлены менее жёсткие, нежели для обязательного. Нужно зарегистрировать некоммерческое партнёрство, с уставом, соответствующим требованиям законодательства по саморегулированию, набрать не менее 25 членов, которые обязаны внести в компенсационный фонд не менее чем по 3 тысячи рублей. Кроме того, следует разработать пакет стандартов и правил, регламентирующих предпринимательскую деятельность членов саморегулируемой организации. Далее, по усмотрению членов партнерства, устанавливается размер ежегодных членских взносов. Так что требования для горных предприятий не обременительные и позволяют формировать в рамках саморегулирования гибкую техническую и финансовую политику.

Формирование системы саморегулирования в минерально-сырьевом комплексе целесообразно осуществлять на базе уже существующих форм самоорганизации горного сообщества. Это и профессиональные общественные организации, и добровольные системы сертификации, и системы управления качеством работ на горных предприятиях и в вертикально-интегрированных компаниях. Специалисты соответствующих подразделений профессионально занимаются созданием технических норм в сфере недропользования и претворением их в жизнь.

Обязательное саморегулирование в строительном комплексе курируется Ростехнадзором, имеющем профессионалов, как в области строительства, так и в области горного дела. Добровольное саморегулирование курируется Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии, в которой отсутствуют специалисты горного профиля. Здесь профессиональной поддержки со стороны официального государственного куратора ожидать не приходится. Поэтому действовать следует в тесном взаимодействии с органами государственного горного надзора и государственного геологического контроля.

Инициаторами создания пилотных проектов добровольного саморегулирования в минерально-сырьевом комплексе могли бы стать такие наиболее организованные общественные структуры, как Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» и Российское геологическое общество.

Использование потенциала действующей Системы добровольной сертификации в сфере производства маркшейдерских работ позволило бы существенно облегчить организацию контроля качества, сохранить профессионализм в условиях формирования многофункциональной системы.

Формирование системы саморегулирования на инженерной основе на принципах добровольности позволило бы нацелить ее на решение конкретных задач, которые являются целью саморегулирования – поднимать качество работ в промышленности и снижать риски при работе предприятий. Но это возможно только в том случае, если само горное сообщество проявит инициативу, а не будет ждать навязывания рецептов извне.

Создание любой эффективной системы управления это очень трудная, долгая и кропотливая работа. Она невозможна без присутствия творческого начала. Поэтому очень важно привлечь к ней возможно большее число думающих горных инженеров, развернуть творческие дискуссии на страницах профессиональных горных журналов. Готовых рецептов нет. Но развитие самоорганизации, сокращение государственного участия в промышленном производстве – это долгосрочная мировая тенденция и нам от нее не уйти.

С отдельными недостатками нужно бороться, но в целом формирование систем саморегулирования соответствует задачам повышения эффективности минерально-сырьевого комплекса и его развития. От всех нас зависит сокращение периода их становления со всеми неизбежными трудностями и недочетами.

## УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ СЛИТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Р.М. Христинич, А.Р. Христинич

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

На качество алюминиевых слитков оказывают влияние такие факторы как температура расплава, скорость вытягивания слитка, интенсивность охлаждения кристаллизатора и слитка, наличие модифицирующих добавок и т. д. Совокупность означенных факторов, влияние их друг на друга, приводит к *неконтролируемому* протеканию процесса кристаллизации слитка и к образованию разнотекстурной структуры в слитке. Последнее влияет на физические и химические свойства алюминиевых полуфабрикатов. Кроме того, в процессе неконтролируемой кристаллизации, алюминиевый слиток может быть подвержен различным дефектам технического характера [1]: ликвационные наплывы, трещины, неслитины, поры и т.п.

При перемешивании расплава над фронтом кристаллизации растущие ветви дендритов смываются движущимся расплавом, твердые частицы становятся ядрами кристаллизации в объеме расплава и дальнейший рост частиц твердого раствора происходит не по дендритному типу. В результате такого механизма затвердевания структура твердого сплава состоит из частиц «вырожденных» дендритов, окруженных эвтектикой и называется тиксотропной структурой. При выдавливании сплава с такой структурой происходит проскальзывание частиц твердого раствора по жидкой эвтектике без разрушения частиц и не требует больших усилий, что повышает также надежность прессового оборудования и экономию энергоресурсов.

Цилиндрический слиток из алюминиевого сплава с содержанием кремния и тиксотропной структурой может быть получен литьем в кристаллизатор с электромагнитным перемешиванием затвердевающего расплава в литейной машине. Схема процесса полунепрерывного литья цилиндрических алюминиевых слитков с тиксотропной структурой для последующего прессования показана на рисунке 1.

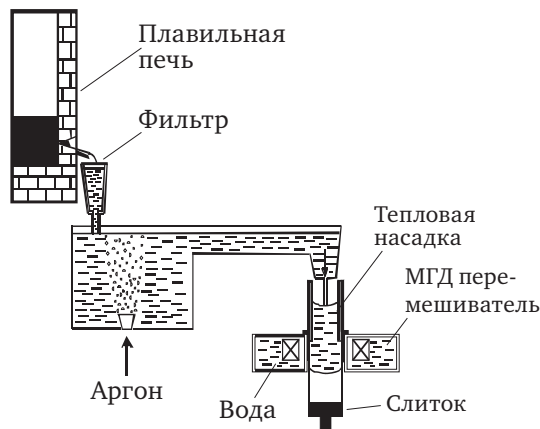


Рис. 1

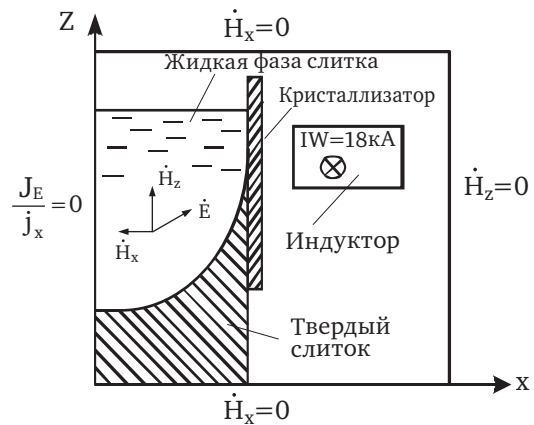


Рис. 2

Расчет электромагнитного поля в системе «индуктор – слиток» (рис. 2) сводится к решению уравнений Максвелла относительно напряженности электрического и магнитного полей при заданных краевых условиях. Расчет проводился при помощи программного комплекса ANSYS для осесимметричной задачи.

Наиболее эффективно индукционная машина будет работать при питании обмотки напряжением с частотой несколько герц. На рисунке 3 представлено распределение электромагнитных сил при питании индуктора напряжением с частотой 2,5 герца.



Рис. 3

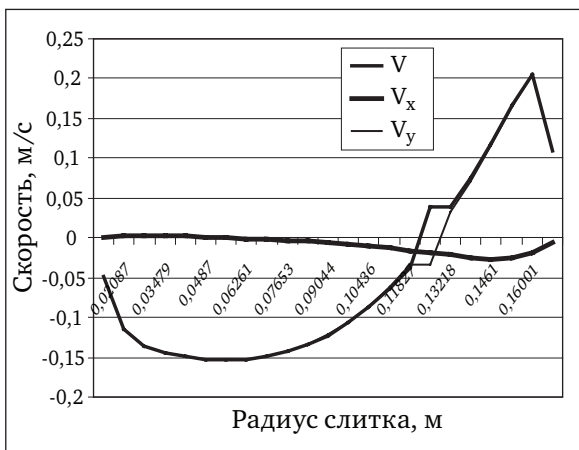


Рис. 4

На рисунке 4 представлено распределение скоростей в области жидкой фазы непрерывно отливаемого слитка диаметром 320 мм при  $IW = 18$  кА и частоте питающего индуктор напряжения равной 2,5 герца. Центр основного контура циркуляции расположен в нижней части жидкой фазы, а направление движения расплава осуществляется против часовой стрелки. С уменьшением частоты питающего напряжения область циркуляции расширяется и оказывает большее влияние на формирование структуры слитка [2].

Максимальных значений в сечении достигает скорость в вертикальном направлении  $V_y$ , что характеризует теплообмен между слоями расплава вдоль стенки кристаллизатора и осевыми слоями. Ниже и выше означенного сечения будут преобладать скорости  $V_x$ , которые определяются формой кристаллизатора и пограничным слоем жидкой фазы слитка.

Эффективность перемешивания на более низкой частоте является предпочтительней из-за большего количества расплава вовлеченного в энергообмен между осевой частью слитка и периферийными слоями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочвар, А. А. Металловедение / А. А. Бочвар. – М.: Metallurgizdat, 1956. – 495с.
2. Гецелев, З. Н. Непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор / З. Н. Гецелев, Г. А. Балахонцев, Ф. И. Квасов и др. – М.: Metallurgiya, 1983 – 152с.

# РЕГУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ГЛУБИНЫ ОТТАИВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ОСНОВАНИЙ ЗОЛОТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.А. Симакова

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Вечномерзлые грунты распространены на 65% территории России. На ней располагаются богатейшие месторождения различных полезных ископаемых, разработка которых сопровождается строительством предприятий, городов, дорог и, следовательно, строительство тепловых электрических станций, водохранилищ, золоотвалов и т.д. Любое строительство на вечномерзлых грунтах влечет за собой изменение их первоначального температурного режима.

Важной проблемой теплоэнергетики в условиях Крайнего Севера является строительство и эксплуатация золоотвалов. В результате их теплового воздействия может произойти оттаивание мерзлых оснований, разрушение сооружений и вытекание золошлаковых отходов и загрязненных вод. Отрицательная температура является основным фактором, определяющим прочностные и водонепроницаемые свойства мерзлых грунтов. Оттаивание мерзлых грунтов и горных пород сопровождается такими явлениями, как просадка, термокарст, термообразия и т.д. Кроме того, крупносkeletalные и тонкодисперстные грунты при оттаивании увеличивают свою фильтрационную способность. Если чаша оттаивания мерзлой геологической среды под накопителем доходит до трещиноватых горных пород, то происходит их оттаивание и заполнение трещин золой. Это приводит к нарушению безопасной эксплуатации накопителей, например, к разрушению ограждающих дамб и загрязнению окружающей среды.

Предлагается метод управления глубиной оттаивания мерзлого массива под мощным и постоянно действующим источником тепла, каким является любой накопитель с гидротранспортной системой удаления отходов от ТЭС, обогатительных фабрик и иных производств. Предлагается разделить одну глубокую чашу оттаивания на несколько малых с помощью разделительных дамб, образующих холодные пояса, ограничивающие глубину оттаивания. Эти дамбы включают в себя систему жидкостных термосифонов, образующих сплошную мерзлую стенку достаточной глубины. За период эксплуатации глубина локальных чаш оттаивания не должна выходить за пределы верхнего слоя основания, в мерзлом состоянии водонепроницаемого.

Для предварительной оценки эффективности данного метода выполнен анализ предельного оттаивания основания хвостохранилища Ирокиндинской обогатительной фабрики (респ. Бурятия), с разделительной дамбой мерзлого типа. Использована известная формула для расчета чаши оттаивания в мерзлом массиве, подвергающегося воздействию группы тепловых штампов, отделенных друг от друга холодными поясами:

$$t(x, y) = \frac{1}{\pi} \sum_1^n \left[ \frac{\lambda_T}{\lambda_M} (t_n - t_2) \left( \arctg \frac{\frac{B_n - x + l_n}{2}}{y + F_n \lambda_T} + \arctg \frac{\frac{B_n + x - l_n}{2}}{y + F_n \lambda_T} \right) \right] + t_2 + G_y,$$

где  $\sum_1^n$  – сумма факторов, определяемых взаимодействующими тепловыми штампами (от первого до n-го);

$t(x, y)$  – температура грунта в любой точке с координатами  $x$  и  $y$ , если центр координат поместить в центр крайнего штампа, °С;

$t_n$  – температура каждого штампа, °С;

$t_2$  – среднегодовая температура грунта вне штампа;

$G_y$  – геотермический градиент, °С/м;

$F_n$  – термическое сопротивление слоя отходов на дне штампа (накопителя), м<sup>2</sup>/°С·ч/ккал;

$B_n$  – ширина каждого штампа, м;

$l_n$  – расстояние от начала координат до центра каждого штампа, м;

$\lambda_T$  и  $\lambda_M$  – теплопроводность талого и мерзлого грунтов, ккал/м·ч·°С<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup> Примечание: размерности теплофизических характеристик приняты по СНиП 2.02.04-88 «Основание и фундаменты на вечномерзлых грунтах», М., 1990 г.



Графическая интерпретация расчета представлена на рисунках 1 и 2.

Внедрение предлагаемой терморегулирующей системы позволяет ограничить глубину локальных чаш оттаивания, разделенных холодными поясами. Тем самым обеспечивается экологическая безопасность и устойчивость накопителя при сохранении водонепроницаемого мерзлого основания в качестве противofильтрационного экрана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Томирдиаро, С.В. Природные процессы и освоение территорий зоны вечной мерзлоты / С.В. Томирдиаро – М.: Недра, 1978. – 144 с.
2. Хрусталеv, Л.Н. Основы геотехники в криолитозане: учеб. пособие / Л.Н. Хрусталеv – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 545 с.
3. Кузнецов, Г. И. Накопители промышленных отходов: учеб. пособие / Г.И. Кузнецов, Н.В. Балацкая, Д.А. Озерский – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 180 с.

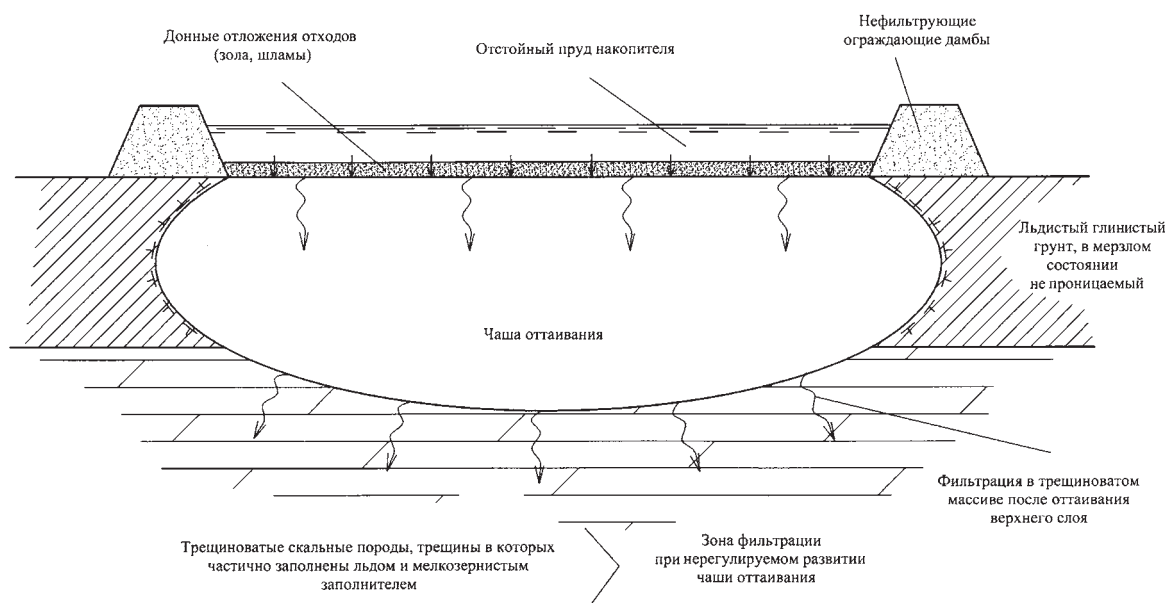


Рис. 1. Схема формирования глубокой чаши оттаивания под накопителем отходов (золоотвал, шламохранилище) на двухслойном мерзлом основании при значительной водопроницаемости нижнего слоя

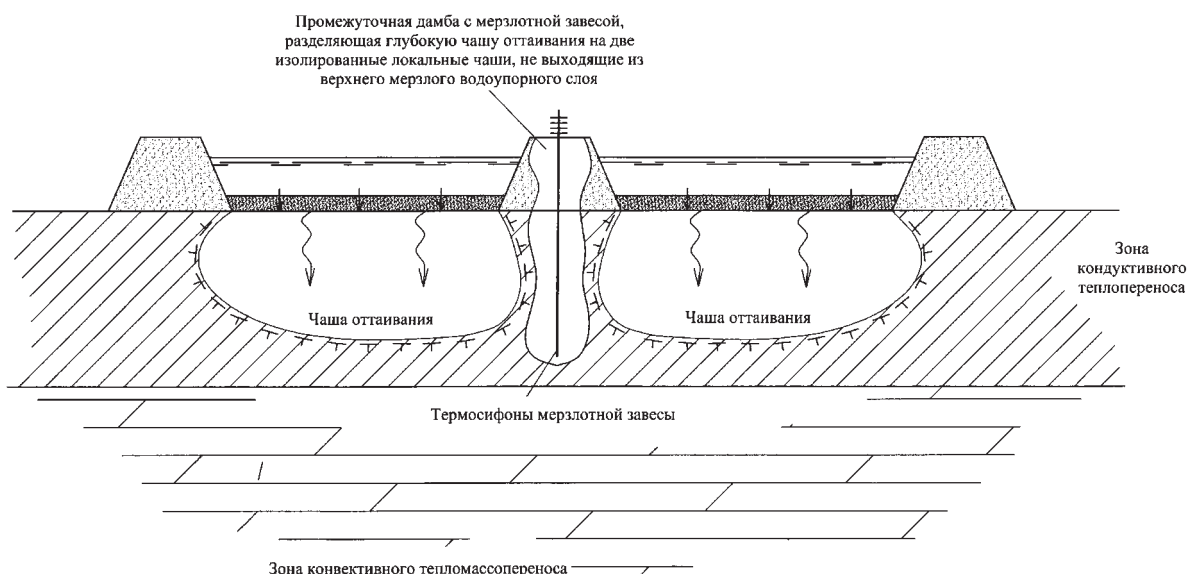


Рис. 2. Схема формирования двух локальных чаш оттаивания, исключающих фильтрацию промышленных стоков из накопителя

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ К РАЗРАБОТКЕ

С.И. Васильев, С.П. Ереско, В.Г. Жубрин, В.М. Мелкозеров

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Объемы земляных работ при выполнении подготовительных работ по обустройству нефтяного месторождения составляют в среднем от 300 до 1000 м<sup>3</sup>, при этом трудоемкость разработки сезонно-мерзлых грунтов в зимний период года по Красноярскому краю возрастает в 3-4 раза, что определяет и рост стоимости их разработки. В этой связи на первое место выдвигаются вопросы эффективной подготовки грунтов к разработке в зимний период года [1].

Для снижения трудоемкости разработки грунтов используется способ теплозащиты грунтов площадок промышленного освоения месторождений от сезонного промерзания с использованием пен новых полимерных композиций, обеспечивающих не только теплозащитные свойства, но и обладающих новыми физико-механическими свойствами. Приведенные удельные затраты на разработку подготовленных (утепленных) однородных грунтов траншейными экскаваторами снижаются на 10-15 %, а удельные затраты на разработку подготовленных грунтов с гравийно-каменистыми включениями в первую очередь зависящие от гранулометрического состава и процентного содержания фракций в разрабатываемых грунтах в отдельных случаях могут снижаться и на 20 %.

Новые физико-механические свойства полимерных пен [2] позволяют эффективно использовать полимерные композиции не только для утепления грунтов и строительных материалов, но для теплозащиты карьерно-складских хозяйств, буровых амбаров, сырьевых и топливных материалов, технологического оборудования от сезонного промерзания.

Статистическая вероятность разработки сезонно-мерзлых грунтов составляет 0,493, а вероятность разработки мерзлых грунтов под слоем талого – 0,042. Распределение отрицательных температур по каждому из расчетных режимов сезонного промерзания грунта описывается полиномами второго порядка.

Для северной зоны Красноярского края по второму и третьему температурному режиму промерзания грунтов характерны более низкие температуры на поверхности грунта и точка перехода температуры через нулевое значение находится ниже на 0,4 м чем в целом по Красноярскому краю. Анализ выполняемых объемов земляных работ на грунтах имеющих четвертый и пятый режим промерзания показывает, что эти грунты разрабатываются только в северной зоне Красноярского края, при этом относительное значение выполняемых работ по грунтам четвертого режима промерзания составляют 11,56%, что является существенной долей в общих объемах земляных работ. Как показали натурные эксперименты и промышленное использование пен-утеплителей [3], наиболее эффективна защита грунта от глубокого промерзания полимерными пенами, наносимыми на подготавливаемый грунт в осенний месяц до появления снега. Толщина слоя полимерной пеноутеплителя ( $h$ ), с учетом физико-механических свойств полимерной пены, не имеющей объемной усадки ( $K_n = 1$ ), обладающей гидрофобностью и учета влияния плотности снежного покрова ( $K_C$ ) на его термическое сопротивление, способная предотвратить грунт от глубокого промерзания зависит от режима промерзания грунта, предполагаемой глубины промерзания грунта ( $H$ ) и его термического сопротивления  $R_0$  [1]:

$$h_n = \lambda_n(K_Y K_t R_0 - K_C R_C),$$

где  $K_n$  – коэффициент усадки пены утеплителя;  
 $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности полимерной пены;  
 $K_Y, K_t, K_w$  – коэффициенты влияния плотности грунта, срока нанесения полимерной пены и влажности грунта;

$R_C$  – термическое сопротивление снежного покрова;

$K_C$  – коэффициент плотности снежного покрова.

Расход быстротвердеющей полимерной пены для утепления грунта для предотвращения от промерзания на каждые 200-300 мм предполагаемой глубины промерзания определяется по формуле:

$$Q_n = (F h_n Y) / K_n$$

где  $F$  – площадь утепления;

$h_n, Y, K_n$  – толщина, плотность слоя, кратность пеноутеплителя.

## **Выводы**

Использование пеноутеплителя позволяет существенно уменьшить понижение температуры утепленного грунта и уменьшить глубину его промерзания, что позволяет уменьшить эксплуатационные затраты на разработку сезонно-мерзлого грунта траншейными экскаваторами. На глубине 1,2 м в декабре месяце температура суглинка северной зоны Красноярского края, утепленного полимерной пеной, стабилизируется на уровне 1,6 С.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Филиппов, Г. С. Комбинированный способ подготовки сырьевых материалов к зимней разработке / Г. С. Филиппов, В. М. Мелкозеров, А. И. Заика // Цемент. – 1985. – № 7. – С. 9–10.
2. Васильев, С. И. Принципы классификации мерзлых грунтов на основе использования коэффициента трудности разработки / С. И. Васильев, В. Г. Жубрин, З. С. Ташпаева ; М., 1988. – Деп. ЦНИИТЭСтроймаш 16.05.1990, № 39 СД90.
3. Мелкозеров, В. М. Охрана окружающей среды и рациональное недропользование / В. М. Мелкозеров, С. И. Васильев; Сиб. федерал. ун-т. Красноярск: ИПК СФУ, 2007. – 197 с.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЕСУРСОВ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев, Е.Ю. Черткова*

ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия

Особое место в энергетике нашей страны занимают горючие полезные ископаемые, основными из которых являются газ, нефть и уголь, обеспечивающие топливом и сырьем для химической переработки потребности отечественной экономики, а также государства ближнего и дальнего зарубежья. В связи с определенным дефицитом на внутреннем рынке традиционных энергоносителей в последнее время появляются рекомендации о более широком энергетическом и коммунально-бытовом использовании местного сырья: торфа, горючих сланцев и различных видов биомассы.

Использование современных технологий добычи и переработки торфа в РФ, приводит к тому, что практически не добывается до 30...35% (а иногда и более) торфяного сырья, которое относят к потерям. Еще более остро стоит проблема использования других органических и минеральных ресурсов торфяных болот, а именно сапропелей различной степени минерализации, глин и глинистых мергелей, которые находятся под залежью торфа или на близлежащих территориях. Из-за неровностей дна приходится оставлять и слой торфа, имеющий повышенную зольность и несоответствующий требованиям современных стандартов.

По данным геологической разведки, в Тверской области находится около пятнадцати месторождений с выявленными запасами сапропеля и органоминеральных отложений, находящихся по слою торфяной залежи. Анализ имеющихся данных показывает, что потери ресурсов торфяных месторождений составляют от 18 до 52% за счет забалансовых запасов торфяного сырья, древесных остатков и недобываемых органоминеральных отложений (ОМО). Примерно такое же соотношение соблюдается и на других месторождениях Центрального экономического района РФ. Например, запасы сапропелей, находящихся под торфяной залежью, составляют около 14 млн т, а ОМО примерно 15,5 млн т.

При добыче торфа, из залежи извлекаются древесные остатки, которые хранятся в специальных штабелях на полевых складах. В зависимости от пнистости залежи с 1 гектара новой площади извлекают до 300 м<sup>3</sup> пней, а во время ремонта производственных полей – примерно 100...150 м<sup>3</sup>/га. Объем отдельных складочных единиц пней может достигать более 1000 м<sup>3</sup>. Система утилизации практически отсутствует, в связи со сравнительно небольшим набором экологически сбалансированных технологий переработки. В лучшем случае древесные отходы фракционируются, производится их разделка (распиливание) и сжигание на предприятиях коммунально-бытового сектора. Поэтому объемы потребления древесины пней пока существенно ниже объемов их извлечения из залежи. Понятно, что такое количество сухой древесины является дополнительным (вместе с торфом) запасом органического вещества на поверхности полей добычи, и представляет тем самым большую пожарную опасность на торфяном месторождении и прилегающих к нему территориях. Но основным горючим материалом на торфяных месторождениях является добытый торф. Потенциальная опасность торфа как горючего материала зависит от его влажности и возрастает по мере снижения влагосодержания, определяющего его готовность к возгоранию.

Перспективным направлением использования ресурсов торфяных месторождений является их переработка с применением предварительного формования, как в «чистом» виде, так и в виде двух- или многокомпонентных органоминеральных композиций. Предпочтение отдается формованию методом окатывания или экструзии предварительно увлажненных композиций, с последующей сушкой до равновесного влагосодержания. Комбинирование современных методов модификации исходного сырья и технологического оборудования нового поколения позволяет снижать начальную влажность формования на 20...25%. Это уменьшает количество удаляемой при сушке влаги с 4...5 кг до 0,8...1,2 кг на единицу массы готовой продукции. Назвать в: энергетике, сельском хозяйстве, охране окружающей среды и производстве строительных материалов.

Энергетическое использование предполагает получение композиционного формованного твердого топлива и сырья для пиролиза (газификации). Добавки из большинства видов ОМО обладают структурообразующим эффектом и каталитической активностью. В их присутствии, при низко- и среднетемпературном термохимическом разложении органического вещества торфа происходит увеличение объема получаемого горючего газа в 1,1...1,4 раза. В некоторых случаях для

усиления эффективности действия природных глинистых материалов предлагается увеличивать их концентрацию до 20 % и более (при использовании твердого остатка в качестве сорбционного материала). Это позволяет достигать двукратного увеличения объема пиролизных газов. Глинистые минералы, вносимые в состав смеси, кроме объема пиролизных газов заметно увеличивают количество выделяющихся углеводородов. Их значения более чем в 2 раза превышают величины, полученные при пиролизе образцов торфа, не содержащих природных катализаторов.

При проведении мероприятий по охране окружающей среды предлагается использовать гранулированные композиционные сорбенты. Наилучшие показатели водопоглощения соответствуют образцам с наименьшей степенью разложения, что обусловлено большим значением объема порового пространства. Первичное регулирование сорбционных свойств торфяных и композиционных систем реализуется путем выбора материала с наибольшим содержанием растительных остатков (в том числе и отходов производства – очесный слой, включения пушицы, мхов и древесных остатков). Торфяные сорбенты для сбора нефтепродуктов могут успешно конкурировать с прочими видами материалов, имея средние значения емкости поглощения и преимущества по экономическим и экологическим показателям. Они отличаются высокой степенью очистки, простотой утилизации и возможностью производства селективных сорбентов, а также способностью длительного нахождения на поверхности воды. После селективной сорбции жидких углеводородов, материал образует устойчивый плавучий конгломерат, который можно легко удалить с поверхности и отправить на переработку.

В производстве строительных материалов разработаны научные основы использования кондиционного сырья, а также отходов его добычи и переработки для получения гидрофобно-модифицирующих добавок и пустотелого заполнителя для легких бетонов. Для улучшения физико-химических характеристик составов, содержащих минеральные вяжущие компоненты, перспективно использование специальных добавок, извлекаемых из органического сырья, в том числе и из торфа, подвергавшегося процессам саморазогревания, а также древесины пней. Особого внимания заслуживает факт увеличения выхода группы веществ, извлекаемых органическими растворителями при саморазогревании торфа. Торф, подвергшийся процессу саморазогревания, обладает лучшими характеристиками в качестве исходного сырья для получения гидрофобизирующих добавок по сравнению с кондиционными органическими материалами.

Пустотелый заполнитель из торфа и минеральных ресурсов полностью удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к искусственным пористым заполнителям. Он обладает сравнительно низкой насыпной плотностью, правильной формой и достаточной прочностью для изготовления на его основе легких бетонов.

Таким образом, результаты научных исследований позволили систематизировать основные направления переработки органических и органоминеральных ресурсов торфяных месторождений, а также промышленных отходов, образующихся при добыче и переработке торфа с дифференциацией по видам, что существенно увеличивает эффективность их дополнительного использования.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА, ОКРУЖАЮЩЕГО ЛОПАСТЬ ВЕТРОКОЛЕСА, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОФИЛЯ ЛОПАСТИ

*В.З. Манусов, С.Н. Удалов, Н.В. Зубова*

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

Использование ветровой энергии это быстро растущий сектор энергетики на сегодняшний день. Для многих коммунальных предприятий ветровая энергия становится не только возобновляемым источником энергии, но и дешёвой энергией. В связи с глобальным потеплением, нехваткой энергии и повышением цен на топливо ветроэнергетическая индустрия сохранит ежегодные темпы роста установленной мощности более 25%. Однако, очень важно улучшать используемые технологии, для того, чтобы сохранить энергию ветра экономически сопоставимой с традиционными и другими возобновляемыми источниками энергии. Это достигается снижением стоимости энергии, что может быть сделано разными путями:

- создание более надежных турбин, что снижает затраты на техническое обслуживание;
- уменьшение количества материалов или улучшение производственного оборудования;
- увеличение диаметра ротора и размеров турбин, т.к. большие турбины могут захватывать больше энергии в течение их срока службы [1].

### Методы регулирования мощности ротора и нагрузок турбин

Различные технические устройства могут быть применены для изменения профиля лопасти, что в свою очередь приведет к изменению потока, окружающего лопасть и, соответственно, к изменению выработки мощности турбиной. Рассмотрим некоторые устройства:

1. Микровыступы. Данная идея включает в себя выдвижение маленьких выступов, расположенных около задней кромки крыла. Выступы выдвигаются практически перпендикулярно к поверхности крыла на высоту толщины пограничного слоя (1-2% хорды). Это легкое изменение воздействует на аэродинамический профиль, смещая точку разделения потока (рис. 1). Привлекательными свойствами данного устройства являются малые размеры, быстродействие, механически простое исполнение, требование малой мощности для реализации и небольшое расстояние, на которое выдвигается микровыступ [1].

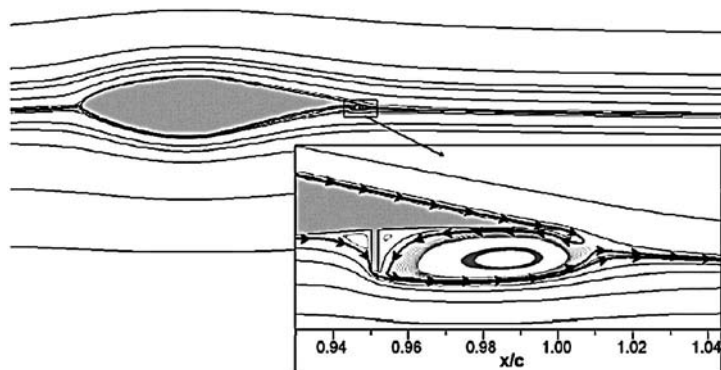


Рис. 1. Поток при применении микровыступов

2. Миниатюрные эффекторы хвостового края. Это устройство представляет собой маленький перемещающийся клапан, достигающий размера 1-5% хорды и располагающийся в хвостовой части лопасти (рис. 2). Идея применения эффекторов подобна микровыступам, разница лишь в расположении. Эффектор имеет три возможные позиции – верхнюю, нижнюю и нейтральную. Их преимущества – малый размер, требуют малую мощность для реализации и быстродействие [1].





Рис. 2. Клапан Гурни (а), эффлектор (b)

3. Микроклапаны. Принцип применения данного устройства подобен предыдущим двум. Микроклапан – вращающееся устройство. Оно принимает положение хвостовой части и может поворачиваться на  $90^\circ$  в обоих направлениях (рис. 3). Оптимальный размер клапана на 1-2% хорды. Первоначальное действие клапана несколько быстрее, чем микровыступов из-за расположения в хвостовой части лопасти. Ограниченные исследования, проведенные в данной области, не позволяют выявить все достоинства и недостатки устройства [1].

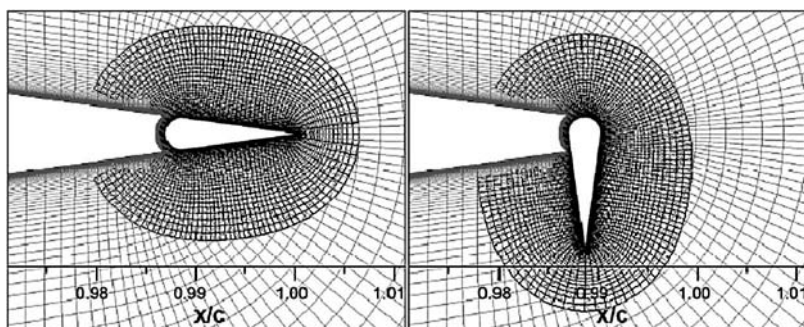


Рис. 3. Микроклапан

4. Раздвижные лопасти. В конструкции раздвижных лопастей ветроколеса используется принцип изменения длины лопасти при снижении скорости ветра ниже номинального уровня. Таким образом, увеличивается ометаемая площадь ветроколеса и, соответственно, поддерживается высокая выходная мощность. Проведенные расчеты показали, что за счет изменения длины лопасти поток энергии увеличивается на 30% и такие лопасти эффективно применять при низких скоростях ветра [2].

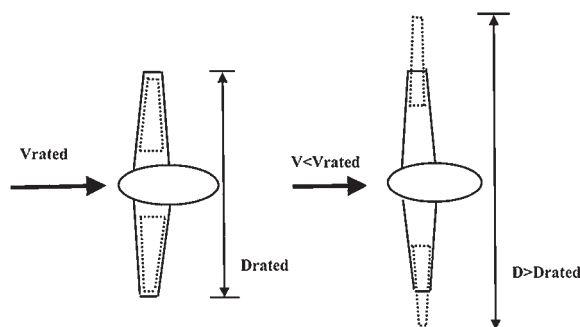


Рис. 4. Принцип действия раздвижных лопастей

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Scott J. Johnson, C.P. «Case» van Dam and Dale E. Berg, «Active Load Control Techniques for Wind Turbines», Sandia report, Sandia National Laboratories, Sandia Contract No. 360473, pp. 1 – 124, August 2008.]
2. R.N. Sharma, U. Madawala, «The Concept of a Smart Wind Turbine System». 16th Australasian Fluid Mechanics Conference, Crown Plaza, Gold Coast, Australia, pp. 481-486, December 2-7, 2007.

## ДВИЖЕНИЕ ПЕСЧИНКИ В ЛОВИЛЬНОЙ КАМЕРЕ СЕПАРАТОРА

П.М. Кондрашов, Н.Д. Булчаев

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Износ скважинных центробежных насосов зависит от концентрации песчинок в жидкости [1]. Чем больше частиц окажется не в насосе, а в ловильной камере песчаного сепаратора, тем меньше износ насоса [2]. Каждая песчинка перемещается из продуктивной зоны пласта в скважину в потоке жидкости. Плотность песчинки  $\rho_s$  выше плотности жидкости  $\rho_f$ . Поэтому скорость песчинки меньше скорости жидкости. Песчинка движется с жидкостью в направлении устьевого оборудования и, одновременно, движется в направлении дна скважины под действием гравитации. Если эти две скорости равны между собой, то песчинка неподвижна относительно эксплуатационной колонны. Такая скорость  $U_0$  для песчинки диаметром  $d$ , находящейся в ловильной камере или на вертикальном участке скважины, известна из работ А.Д. Альгшуля и П.Г. Киселёва как скорость витания частицы [3]:

$$U_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot g \cdot \frac{d \cdot (\rho_s - \rho_f)}{C_D \cdot \rho_f}}, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, можно принять  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $C_D$  – коэффициент сопротивления пластовой жидкости перемещению песчинки.

С помощью этой формулы можно, например, построить зависимость минимального диаметра осаждаемых частиц от скорости потока жидкости. Однако размеры песчаного сепаратора и другие его параметры в данной формуле отсутствуют.

Эмпирические формулы, описывающие скорость витания частицы, известные из работ В.Д. Архангельского, С.Н. Святкова, О.М. Тодеса и других исследователей, предназначены для решения конкретных задач в строго определённых условиях. Для описания процесса осаждения частиц, находящихся в ловильной камере скважинного песчаного сепаратора, эти формулы не пригодны.

Поэтому для решения конструкторских задач представляет интерес получение формулы, описывающей зависимость времени осаждения частиц от скорости движения жидкости и параметров сепаратора.

Для решения задачи получения формулы, нужной конструкторам, составляем расчётную схему, описывающую силы, действующие на песчинку, находящуюся в жидкости (рис. 1). Песчинка движется под действием силы тяжести  $F_1$ , силы сопротивления движению  $F_2$ , силы Архимеда  $F_3$  и силы инерции  $F_4$ . Для установившегося процесса сумма всех сил равна нулю [3, 4]:

$$\sum_{i=1}^{n=4} F_i = 0 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4, \quad (2)$$

где  $n$  – количество сил, действующих на песчинку.

Если ловильная камера песчаного сепаратора установлена под насосом на вертикальном участке скважины, то по законам физики [3, 4]:

$$m \cdot (g - a) - C_D \cdot S \cdot \frac{\rho_f \cdot U^2}{2} - \rho_f \cdot g \cdot V = 0; \quad (3)$$

где  $m$  – масса песчинки;  $a$  – ускорение песчинки;  $S$  – площадь поперечного сечения песчинки, перпендикулярная направлению её движения;  $U$  – скорость движения частицы относительно потока жидкости;  $V$  – объём песчинки.

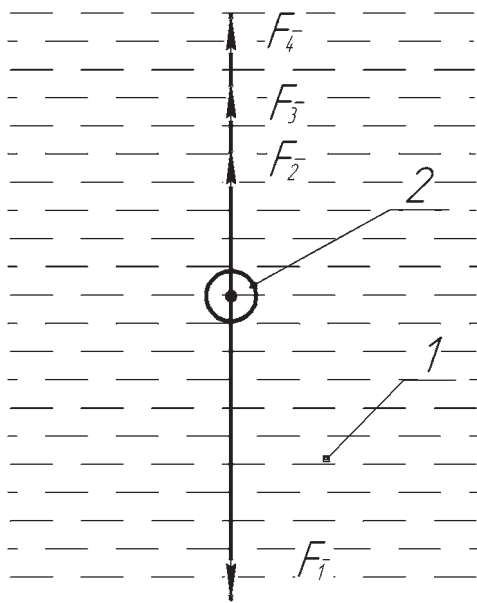


Рис. 1. Песчинка в жидкости: 1 – пластовая жидкость; 2 – песчинка;  $F_1$  – сила тяжести;  $F_2$  – сила сопротивления;  $F_3$  – сила Архимеда;  $F_4$  – сила инерции

Предположим, что песчинка может рассматриваться как шар диаметром  $d$ . Предположим также, что коэффициент сопротивления  $C_D$  обратно пропорционален числу Рейнольдса  $Re$  и движение частицы с достаточной для практики точностью описывается гипотезой Стокса [3]:

$$C_D = \frac{24}{Re}. \quad (4)$$

Число Рейнольдса обратно пропорционально вязкости жидкости  $\mu$  (динамической вязкости жидкости) [3, 4]:

$$Re = \frac{\rho_{ж} \cdot U \cdot d}{\mu}. \quad (5)$$

После математических преобразований получаем формулу, в соответствии с которой, время  $t$ , за которое песчинка достигнет дна ловильной камеры сепаратора, зависит от расстояния  $h$  между песчинкой и дном и других факторов:

$$\left(\rho_{п} \cdot \frac{d^2}{2} \cdot g - \rho_{ж} \cdot \frac{d^2}{2} \cdot g\right) \cdot t^2 - \mu \cdot h \cdot t - \rho_{п} \cdot \frac{d^2}{2} \cdot 2 \cdot h = 0. \quad (6)$$

Оптимальная длина  $h$  и минимальный диаметр  $d$  осаждаемой песчинки могут быть определены с помощью этой формулы. Если известна концентрация песчинок в потоке, время наполнения ловильной камеры сепаратора также может быть определено.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семёнов А.А., Зимин С.В. Системный подход к заканчиванию горизонтальных скважин Ванкорского месторождения. Научно-технический вестник Роснефти. № 2, 2009.
2. Скважинный песочный сепаратор. Патент RU 2191261, МПК<sup>7</sup> кл. E 21B43/38, опубликовано 20.10.2002.
3. Альтшуль А. Д., Киселёв П. Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Издательство литературы по строительству. М. 1965, 274 с.
4. Яворский Б. М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Издание седьмое, исправленное М., «Наука», 1977, 942 с.

Раздел VI

---

ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ,  
ПОДГОТОВКИ  
И ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ  
НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ

## **ВОЗМОЖНОЕ РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОЯВЛЕНИЙ В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ**

*В.И. Графутин, О.В. Илюхина, Г.Г. Мясичева, Е.П. Прокопьев, Ю.В. Фунтиков*

ФГУП ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики  
им. А.И. Алиханова, г. Москва, Россия

Как утверждается в [1-3] к нефтегазовым нанотехнологиям относятся технологии управления теми наноявлениями, которые определяют извлечение углеводородов из недр. Это, прежде всего физико-химические наноявления в геологических средах (телах), пластовых флюидах и промышленном оборудовании при разработке и эксплуатации нефтегазовых залежей. Известно, что эффективность нефтеизвлечения характеризуется коэффициентом извлечения нефти (КИН) от находящейся в пласте ее количества (запасов) [1, 2]. При современных технологиях методов закачки воды в пласт для вытеснения нефти (А.П. Крылов и др.) КИН для ряда месторождений достигает величин 0,4-0,5. В настоящее время структура запасов нефти значительно ухудшилась (около 65% оставшихся запасов являются трудноизвлекаемыми). В России значения КИН в них при заводнении составляют 0,1-0,3.

В то же время развитие с использованием современных технологий и нанотехнологий для трудноизвлекаемых запасов КИН нефти достигли значений 0,4. Исследования динамики изменений значений КИН показали, что для микроструктуры нефтегазовых месторождений (пород) важными показателями являются общая пористость и проницаемость. Прямой связи общей пористости с проницаемостью нет, но существует корреляционная связь между пористостью и проницаемостью. С повышением общей пористости повышается проницаемость породы, за счет увеличения эффективной пористости и увеличения количества крупных пор. Это приводит к резкому увеличению величин КИН при закачке воды и других специальных растворов для вытеснения нефти из пластов пород. Особая роль развития нанотехнологий становится необходимой при освоения нанорезервуаров – например, нефтяных пластов баженовской свиты Сибири и газовых пластов с наноразмерными поровыми каналами. Говорится [1], что в баженовской свите (основной кладовой российских углеводородов) средний радиус пор равен 1-10 нм, что всего в несколько раз больше размеров молекул.

Таким образом, структура порового пространства нефтегазоносных пород определяется в первую очередь его геометрическими характеристиками, такими как размеры нанопор и нанокапилляров и распределениями площадей и объемов пор по их радиусам. Одним из методов определения параметров порового пространства горных пород, особенно для размеров в нанометровом диапазоне, может служить метод позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС).

Позитроника, включающая так же в свой состав и позитронную аннигиляционную спектроскопию (ПАС) (см., например, [4-7]), позволяет определять как электронную структуру совершенных кристаллов, так и различные несовершенства особо малых размеров в твердых телах и пористых системах, таких как вакансии, вакансионные кластеры и свободные объемы до одного кубического нанометра (нанообъекты пустоты). Она включает в себя в основном три метода: изучение временного распределения аннигиляционных фотонов (ВРАФ), углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ) и доплеровского уширения аннигиляционной линии с энергией 0,511 МэВ (ДУАЛ) [4].

Ниже рассматриваются методы определения размеров нанообъектов, их концентраций и химического состава среды, окружающей нанообъекты, по экспериментально измеряемым параметрам спектров ВРАФ и УРАФ для позитронов, аннигилирующих в пористых системах и дефектных твердых телах на примере пористого кремния и пластин кремния, облученных протонами, на основе теоретических представлений, развитых в [4].

Показано, что одним из эффективных методов определения размеров нанообъектов (вакансий, вакансионных кластеров), свободных объемов пор, полостей, пустот, цилиндрических каналов и капилляров, их концентраций и химического состава в месте аннигиляции в горных породах (пористых системах, некоторых дефектных породах и особенно в породах с нанопорами)

является метод позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС). В качестве примера дан краткий обзор экспериментальных исследований нанодефектов в кварце, порошках кварца, пористом кремнии, кремнии, облученных протонами [5-7].

Согласно этим данным для пористого кремния можно полагать, что эффективными свободными центрами (областями захвата позитронов и позитрония) являются скорее всего сферические и цилиндрические ультрамикropоры и микropоры с размерами порядка 2 нм, находящимися в пористом слое кремния. Зная общую пористость (45%) и средний объем поры, можем оценить концентрацию пор из простых геометрических соображений и, сравнив ее с рассчитанной  $N_{tr}$ , проверить достоверность принятых приближений. Определенному нами среднему размеру цилиндрических пор  $R_{tr} \approx 2$  нм соответствует ее средний объем  $V_{tr} = \pi R_{tr}^2 \cdot h = 1,26 \cdot 10^{-16}$  см<sup>3</sup>. Здесь  $h$  – толщина слоя пористого кремния. Для случая «плотной упаковки» таких пор их концентрация исходя из величины общей пористости 0,45 могла бы быть равной  $N_{tr}^G \sim 0,45 / V_{tr} = 3,6 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Расхождения величины  $N_{tr}^G$  с нами определенными концентрациями  $N_{tr} = 3,31 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup> [5-7] не очень велики, что говорит о правильности предложенной модели. Таким образом, изученные методом позитронной аннигиляционной спектроскопии характеристики образца пористого кремния говорят о том, что здесь имеют место микropористые цилиндрические объекты с размерами порядка 2 нм и концентрацией порядка  $10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Полученные результаты позволяют надеяться, что дальнейшие исследования дадут возможность связать параметры аннигиляционных спектров с размерами пор и их топологией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хавкин А.Я. Наноявления в нефтегазодобыче. Вестник РАН. 2009. Т.79. №6. С. 519-522.
2. Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Нефтегазовые нанотехнологии для разработки и эксплуатации месторождений. Учебное пособие для РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. М.: РГУ, 2007.
3. Лаверов Н.П. Топливо-энергетические ресурсы. Вестник РАН. 2006. Т.76. №5.
4. Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Графутин В.И. и др. Позитроника ионных кристаллов, полупроводников и металлов. – М.: МИЭТ, 1999. – 176 с.
5. Графутин В.И., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Фунтиков // Нанотехника. – 2008. – №4(16). – С. 33-42.
6. Прокопьев Е.П., Графутин В.И., Тимошенко С.П., Фунтиков Ю.В. Возможности исследования пористых систем и наноматериалов методом позитронной аннигиляционной спектроскопии. Дефектоскопия. 2008. №10. С.55-70.
7. Графутин В.И., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Фунтиков Ю.В., Позитроника и нанотехнологии: Определение размеров нанобъектов в пористых системах, наноматериалах и некоторых дефектных материалах методом позитронной аннигиляционной спектроскопии (обзор). Заводская лаборатория. 2009. Т.75. №6. С.27-36.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИИ ПО ГРАНУЛИРОВАНИЮ ТОРФА С МЕСТОРОЖДЕНИЯ «БАЛАШОВ ЛОГ»

К.В. Епифанцев

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет)», г. Санкт-Петербург, Россия

С каждым годом в России увеличивается производство биотоплива. Наши ближайшие соседи – финны, в частности известная фирма VAPO уже в течение многих лет занимается производством торфяного топлива на специализированных заводах в городах Juvaskyla и Hankasalmi.

Были проведены исследования пилотной линии ЗАО «Селигер-Холдинг» по производству коммунально-бытового топлива (КБТ – цилиндры сечением 25-40 мм и длиной 60-80 мм). Добыча торфа на предприятии производится экскаваторным способом с месторождения Балашов Лог [2]. Взяты образцы торфа из последовательных элементов линии (рис. 1): склад торфяного сырья; сброс отходов грохочения (поз. 4), смешивающий бункер (поз. 7); торф, сформованный на установке брикетирования торфа [4] (поз. 9). Также для сравнения была взята готовая продукция с добавлением модификаторов (опилки) этого же предприятия и готовая продукция Института обогащения твёрдого топлива (г. Люберцы) [4].

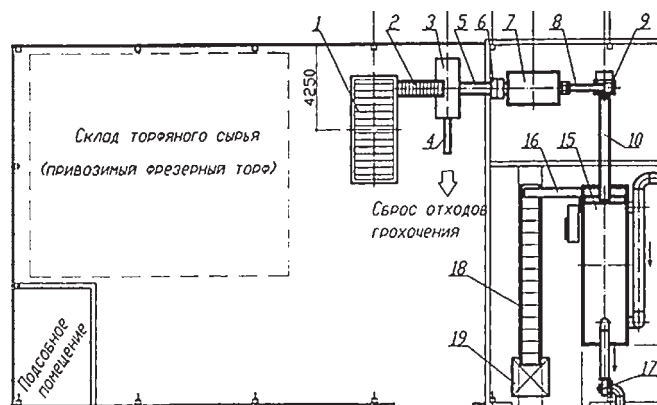


Рис. 1. Схема работы оборудования в цехе по производству КБТ

Все отобранные образцы были сожжены в муфельной печи МИМП-3У в течение 90 мин. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Результаты опыта по сжиганию различных проб торфа

№	Название образца	Начальн. вес, гр.	Вес после сжигания, гр.	t, мин.	T, С°	Уровень
1	Склад торфяного сырья	15 гр.	1,01	90	400	IV
2	Отходы грохочения	15 гр.	0,14	90	400	I
3	Смешивающий бункер	15 гр.	0,92	90	400	III
4	Торф сформованный	15 гр.	2,59	90	400	V
5	Разработка ИОТТ	15 гр.	0,75	90	400	II
6	Добавление опилок	15 гр.	3,63	90	400	VI

Таким образом, возможно определит зольность  $A$  полученных образцов при учёте влажности 75%. Определим зольность образца, имеющего минимальный зольный остаток (отходы грохочения)

$$A = \frac{100 \cdot m_1}{m(100 - w)} = 3,73 \%$$

где  $m_1$  – масса зольного остатка после прокаливания навески торфа в муфельной печи, г;  
 $m$  – масса навески торфа, г;  $w$  – влажность пробы торфа, %.

В результате проведённого опыта возможно говорить об использовании отходов грохочения также при производстве биотоплива, которое, однако уже будет иметь другие требования при производстве в отличие от торфяного.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гревцев Н.В., Гревцева И.Н. Эффективность использования торфяных композиционных материалов. Торф и бизнес, №1(7) 2007. – С. 36-38
2. Е.Т. Базин, И.И. Лиштван, М.В. Попов. Курс физики торфа. Часть II. Калинин, КГУ, 1978. – С. 5-6
3. Чистый И.Н. Производство гранулированного торфа. – Мн.: Наука и техника, 1980. 144 с. С. 21-22
4. <http://www.teko-makiz.ru/products/granul/>, от 01.12.2009, 23:30

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОСТИ РЕГИОНОВ ВНЕДРЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА**

*Д.О. Нагорнов, А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев*

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова  
(технический университет)», г. Санкт-Петербург, Россия

Непрерывный рост цен на традиционные виды топлива повышает интерес малых и средних предприятий теплоэнергетики к альтернативным и экологически безопасным видам топлива, в частности, к топливу на основе торфа. Сегмент рынка такого сырья не подвержен серьезной конкуренции, прежде всего, по цене.

Торф, являясь горючим полезным ископаемым, образовавшимся в условиях болот из не полностью разложившихся остатков растений содержит до 60% углерода и относится к возобновляемым ресурсам. Ежегодно в мире образуется почти 3,0 млрд м<sup>3</sup> торфа, что примерно в 120 раз больше, чем используется. В Российской Федерации сосредоточено более трети мировых запасов торфяных ресурсов [1].

В структуре энергетики регионов торф, как топливо, фактически не представлен, тому существует ряд причин: фактическое уничтожение отрасли в 90-е годы, из-за недофинансирования, ориентация регионов на привозное топливо. Стоит отметить, что многие регионы обладают огромными запасами топливного торфа: Костромская, Курганская Свердловская, Ленинградская, Смоленская, Тверская, Брянская, Вологодская, Тюменская, Томская и Амурская. В то же время регионы фактически вынуждены покупать энергоносители по высоким ценам, хотя могли бы обеспечить свои потребности на 15-30%, используя свой потенциал.

Развитие современного производства сопряжено с географическим смещением разрабатываемых торфяных месторождений в сторону Западной Сибири и Северо-запада страны. Современное развитие технологии добычи и переработки торфа должно базироваться на внедрении принципиально новых способов добычи, снижающих зависимость результативности производства от неблагоприятных природно-климатических условий. Основная цель производства топливной торфяной продукции – это создать технологию, минимально зависящую от метеорологических условий, позволяющую перейти к круглогодичному производству качественного топливного торфа.

По нашему мнению, сегодня наиболее перспективным направлением решения основной задачи, стоящей перед торфодобывающим производством, представляется создание технологического процесса круглогодичной добычи торфа на принципиально новой технической основе с использованием последних достижений научно-технического прогресса.

Зная несовершенство применяемой технологии, необходимо переходить на новые способы добычи топливного торфа. Которые должны развиваться по двум основным направлениям: увеличение продолжительности сезона добычи торфа; экскавация торфа из залежи с последующим искусственным обезвоживанием в заводских условиях [5].

Особенности карьерной добычи торфа-сырца: добыча торфяного сырья при натуральной влажности 85-89 % с промежуточной выдержкой в расстиле и в штабеле для частичного обезвоживания; сепарация и вывозка торфа на завод; сравнительно высокие энергозатраты; практически нет зависимости от погодных условий; потери при добыче торфа – 5 %; потребность в торфяных полях в 10-15 раз меньше, что сказывается на налогооблагаемой базе; отсутствует комплекс ремонтно-подготовительных работ; продолжительность сезона – практически круглый год; пожарные и природоохранные риски – минимальны [2]; не требуется рекультивация выработанных карьеров, начинается естественный процесс повторного заболачивания карьера.

Согласно комплексным полевым исследованиям, торфяники с высоким уровнем грунтовых вод характеризуются эмиссией метана превышающей количество поглощаемого углекислого газа.

Как известно, парниковый потенциал метана превышает потенциал углекислого газа в 23 раза. Поэтому, экскавация торфа на месторождениях с высокой эмиссией метана приводит к почти полному сокращению эмиссии парниковых газов.

Торфяные месторождения после экскавации торфа на всю глубину могут быть легко и быстро восстановлены как функционирующие заболоченные места. Экскавация натурального торфа разрешает прогрессивное восстановление области производства так, чтобы только на относительно малую область торфяника воздействовали в определенное время. Это минимизирует проблемы пыли и путем осторожного гидрологического мониторинга и водного менеджмента позволяет уменьшать отрицательные эффекты на местные водные системы.

Мониторинг воздушной среды подтвердил, что в их естественном залегании торфяные месторождения являются поглотителями CO<sub>2</sub> при высокой эмиссии метана. После добычи торфа и восстановления, новые заболоченные места становятся потребителями углерода из-за более активно восстанавливающейся поверхностной растительности. Процесс добычи/восстановления приводит к сокращению эмиссии парниковых газов [3].

Экскаваторный способ позволяет осуществлять практически круглогодичное производство различной продукции на основе торфа (9-10 месяцев добыча и переработка, 1 – профилактика и ремонт, 1 – перерыв на отпуск). Это снижает общие затраты и повышает эффективность производства.

Преимущества и недостатки нового производства торфа: уменьшение воздействий на окружающую среду (пылевые выбросы, шумовые и водные воздействия, снижение эмиссии парниковых газов); расширение сезона производства; оптимальное использование погодных условий; экономическая эффективность производства в 20 раз выше, чем текущее производство; увеличивается количество годных для использования торфяных ресурсов; быстрое восстановление производственных площадей поглощающих углерод; метод все еще дорог [4].

Предприятия-комбинаты с круглогодичным производством торфяной продукции на основе искусственного обезвоживания торфа могут заменить предприятия по добыче фрезерного и кускового топливного торфа с полевой сушкой продукции. Такие предприятия будут обладать рядом существенных преимуществ: выполнение годового объема производства торфяного топлива при постоянном качестве вне зависимости от метеорологических условий; расширение районов добычи и увеличение использования торфяных ресурсов; круглогодичная занятость работающих, повышение престижности профессии, улучшение условий труда и жизни.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Селеннов В.Г., Михайлов А.В. Торф в малой энергетике // Академия энергетики.- № 1(27). 2009.- С. 48-56.
2. Цветков Р.Е. Автоматизированная система управления пожарной безопасностью производства фрезерного торфа/ Тверь: ТГТУ, 2008. 16с.
3. Kuznetsov N., Mikhailov A. Evaluation of the Energy Potential during Peat Production. Proc. of the 11th International Peat Congress. Quebec, Canada August 6-12, 2000. IPS.Vol. 1. P.321-328.
4. Михайлов А.В., Селеннов В.Г., Торфяная промышленность России.// Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 9. С. 22-28.

## ТОПЛИВНЫЕ БРИКЕТЫ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

*В.Б. Кусков, Я.В. Кускова, Н.В. Николаева*

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет)», г. Санкт-Петербург, Россия

Многие виды органических веществ и их отходы можно использовать как энергоносители. Важнейшим из них является уголь, запасы которого на земле весьма велики, а при добыче, транспортировке, обогащении, складировании и переработке угля образуется большое количество всевозможных отходов (отсевы, просыпы, шламы и т.п.) которые, как правило, не используются и существенно загрязняют окружающую среду. В настоящее время накоплены огромные запасы таких отходов. Между тем по своим качественным характеристикам они не уступают добываемым углям.

Самым доступным, изученным и технически изученным методом использования отходов угледобычи и углепереработки является их брикетирование со связующими веществами. Очевидно, что при необходимости, топливные брикеты могут изготавливаться и из более крупных классов угля.

Особым видом топливных брикетов являются брикеты с низкой температурой воспламенения (зажигаемые от низкоэнергетических источников, например спички). Получение таких брикетов из угля возможно, например, путем добавления к горючей массе брикета легко воспламеняемых компонентов (например, гексаметилентетрамина). Недостаток этого пути в том, что такие компоненты надо добавлять в значительном количестве, что существенно удорожает брикет.

Но, пожалуй, наилучший путь – изготовление многослойных брикетов [1]. Такие брикеты состоят как минимум из двух слоев – один зажигательный, который содержит, например, окислитель и соответственно легко воспламеняется от спички, и другой основной слой на который горение передается от зажигательного слоя. Обычно в таком брикете в основной слой, в небольшом количестве, добавляются компоненты (такие как, древесные опилки, древесный уголь и т.п.), облегчающие его воспламенение от зажигательного слоя.

Также возможно изготовление брикетов с большим количеством слоев, например: зажигательный, промежуточный и основной слой. Зажигательный слой воспламеняется от спички, передает горение промежуточному слою, который в свою очередь передает горение основному слою. Это позволяет не добавлять в основной слой, компоненты, облегчающие его воспламенение. При этом необходимое количество активных компонентов в зажигательном слое и его размеры уменьшаются.

Зажигательный слой может создаваться на основе смесей различных веществ, например гексаметилентетрамина, перманганат калия, металлический магний, алюминий и т.д. в смеси с древесным углем, опилками, торфом. Кроме того, можно изготавливать часть брикетов с зажигательными слоями, а часть без. В этом случае первые будут воспламенять вторые [2].

Брикеты изготавливаются с применением различных связующих, при относительно невысоких давлениях прессования

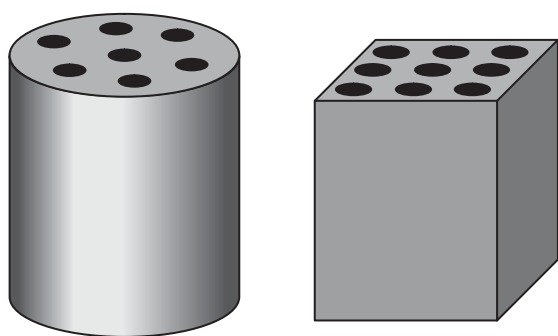


Рис. 1. Внешний вид топливных брикетов с низкой температурой воспламенения

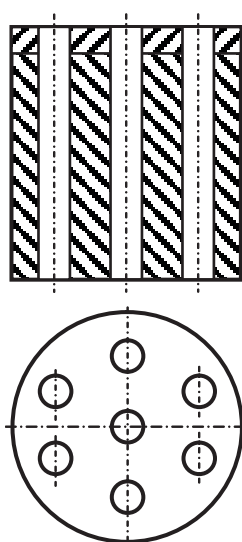


Рис.2. Разрез и план двухслойного топливного брикета с низкой температурой воспламенения:

- 1 – зажигательный слой;
- 2 – основной слой;
- 3 – продольные отверстия

с использованием различных видов прессов или экструдеров.

Кроме того, весьма положительно на горение брикетов и на снижение выбросов в атмосферу влияет перфорация брикетов.

Рассматриваются два варианта расположения зажигательного слоя в прессованном брикете: снизу и сверху. Расположение слоя снизу позволяет уменьшить его массу необходимую для зажигания основного слоя, т.к. пламя распространяется «снизу – вверх».

Но, тем не менее, расположение зажигательного слоя сверху выглядит предпочтительным, т.к. при этом горение происходит «сверху – вниз» и находящиеся под зоной горения слои брикета сначала нагреваются, затем начинают возгоняться и летучие вещества проходят сквозь высокотемпературную зону. При этом происходит практически полное сжигание горючих веществ, и минимизируются выбросы вредных веществ в атмосферу.

Бытовые топливные брикеты с низкой температурой воспламенения могут применяться как эффективное и удобное в использовании топливо в сельской местности, на небольших предприятиях общественного питания, в экспедициях, походах и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кусков В.Б., Кускова Е.Н. Слоистый топливный брикет. Патент № 17559857. Оpubл. 07.09.1992, бюл. № 33.

2. Шувалов Ю.В., Маковский А.Н., Маковский С.А. Легковоспламеняющийся топливный брикет. Патент № 2208044. Оpubл. 10.07.2003, бюл. № 19.

# МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ КАК ВАРИАНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ

Е.В. Волоскова<sup>1</sup>, В.А. Полубояров<sup>1</sup>, А.А. Жданок<sup>1</sup>, В.Н. Меленевский<sup>2</sup>, О.В. Андриюшкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

## Введение

В настоящее время основная часть добываемого органического сырья используется для удовлетворения нужд энергетики [1]. Для угольной энергетики переход с прямого сжигания угля в различных топочных устройствах на водоугольное топливо может стать принципиально важным решением [2]. Водоугольное топливо может изготавливаться из углей различных качеств, в том числе и из отходов углеобогащения, что, в свою очередь, благоприятно для экологии. Водоугольные суспензии (ВУС) обладают рядом преимуществ: характеризуются практически полным отсутствием окисляемости при их транспортировке и хранении. При сгорании ВУС понижается образование оксидов азота и серы, образуются зольные агломераты, что минимизирует выбросы золы в атмосферу. Избыток влаги в зоне сгорания приводит к изменению качественного и гранулометрического состава золошлаковых отходов, упрощающему их утилизацию [3]. По сравнению с пылеугольным сжиганием водоугольное топливо позволяет снизить эксплуатационные расходы, а также существенно снизить требования на предприятии по взрыво- и пожаробезопасности [4].

Цель настоящей работы – исследование возможности механохимического получения водоугольных суспензий с использованием различных химических добавок и без них; определение динамики осаждения частиц в суспензии.

## Экспериментальная часть

Механохимическую обработку (МО) углей осуществляли в центробежно-планетарной мельнице АГО-2 [5]. Продолжительность измельчения 3, 5 и 10 мин.

В качестве пластифицирующих добавок использовали лаурилсульфат натрия (ЛС), гидроксид натрия и суперпластификатор С-1, который представляет собой смесь натриевой соли 1-нафталиносulфоокислоты, полиметиленафталинсульфоокислот различной молекулярной массы и сульфата натрия.

Удельную поверхность исходных, механохимически активированных и фракций, взятых из суспензий, углей определяли методом тепловой десорбции аргона [6].

Пиролитический анализ проводили на приборе *Rock Eval (Hamblerinstr)*. Образцы находились в среде газа гелия.

В ходе эксперимента определяли осаждаемость частиц (массовую долю осевших частиц) в водоугольной суспензии через концентрацию твердой фазы [7]; удельную поверхность образцов, полученных при сушке ВУС [6]. Стабильность суспензий сравнивали по показателям осаждаемости (Ос) через 24 ч.

В качестве основных материалов исследования были выбраны следующие угли Кузнецкого угольного бассейна: каменные угли марок Д (длиннопламенный) и КС (коксовый слабоспекающийся), а также антрацит (А). Характеристики используемых углей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики используемых углей

Марка	Содержание, %					
	C <sup>daf</sup>	H <sup>daf</sup>	A <sup>d</sup>	W <sup>a</sup>	V <sup>daf</sup>	H/C
А	94,6	1,4	6,3	3,7	3	0,189
КС	89,6	4,8	19,0	7	20,1	0,552
Д	77,4	5,5	12,4	3,5	45,2	0,832



## Результаты и их обсуждение

В работе определили осаждаемость каждой суспензии и построили кривые осаждаемости (седиментации). На рис. 1 представлены некоторые кривые, построены по статистически обработанным экспериментальным данным. Кривые осаждаемости других ВУС в большинстве случаев по форме подобны.

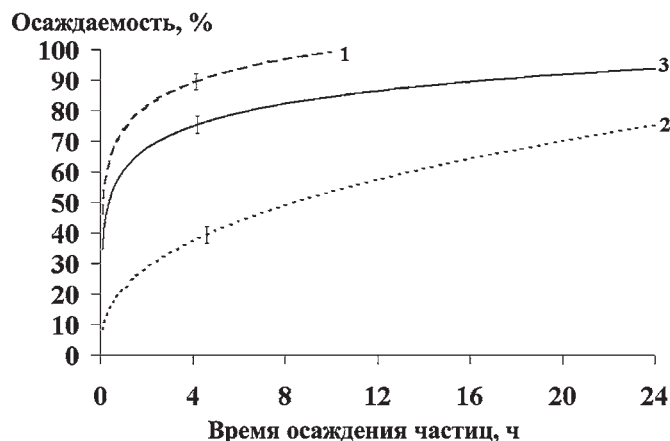


Рис. 1. Динамика осаждения угольных частиц из ВУС: 1 – уголь КС 5 мин МО с добавлением 5% натрийлаурилсульфата; 2 – антрацит, 5 мин МО, 5% С-1 добавлено при суспензировании; 3 – уголь Д, 3 мин МО, 5% С-1 добавлено при суспензировании

Анализируя данные по зависимости осаждаемости частиц от времени, установили, что наиболее устойчивые водные суспензии без добавления ПАВ образует антрацит после 5 мин механохимической обработки – через 24 ч его осаждаемость (т.е. количество осевших угольных частиц) составляет 85-95%; для угля марки Д – около 95%. Уголь марки КС осаждается из суспензии на 99% в течение 5-10 мин. При использовании в качестве ПАВ лаурилсульфата натрия процент осаждения частиц в дисперсии (за 24 ч) практически такой же, как и без его добавления. Но промежуточные пробы показали, что при добавлении ПАВ частицы в суспензиях осаждаются медленнее для всех использованных углей. Также обеспечивает стабильность суспензий и такой ПАВ, как С-1 [8]: наименьший процент осажденной твердой фазы у антрацита (за 24 ч осаждается 72% частиц для разного времени мехактивации), частицы в ВУС из углей марок Д и КС за 24 ч составляет 89-93%. При добавлении в суспензию гидроксида натрия наиболее устойчивая ВУС получается из угля марки Д, а частицы антрацита и угля марки КС сразу осаждаются. Не смотря на то что все ПАВ являются щелочными реагентами, а частицы ведут себя по-разному, т.к. природа ПАВ разная: С-1 является высокомолекулярным ПАВ и поэтому способен образовывать «сетку» для угольных частиц в воде, лаурил сульфат натрия традиционно используется как стабилизатор, но имеет более короткую гидрофобную цепь, а гидроксид натрия являясь НМВ и щелочью способен растворять гуминовые вещества, которых нет в антраците и угле марки КС. А уголь марки Д обладает одинаковой устойчивостью как без ПАВ так и с ними, т.к. он наиболее низкометаморфизированный и в нем по литературным данным присутствуют как водорастворимые вещества, так и гуминовые кислоты – растворимые в слабых щелочных растворах [2, 9], которые и стабилизируют суспензию. Также стабильность суспензий зависит от размера частиц и свойств поверхности частицы, а также стадии метаморфизма и химического состава углей. На стабильность частиц в суспензии влияет их размер. Как видно из рис. 2 частицы в ВУС из антрацита имеют самые маленькие размеры, а частицы в ВУС из углей марок КС и Д примерно одинаковые между собой. Но при этом стабильность их суспензий не одинакова. Было установлено, что для каждой марки угля есть определенное оптимальное время МО, после которого стабильность суспензий падает. Видно, что наибольшая скорость осаждения наблюдается первые 0,5 ч, затем происходит замедление, а после 4-8 ч от начала осаждения остается практически неизменной. В суспензии во взвешенном состоянии к 24 ч остаются наиболее мелкие частицы удельная поверхность которых может достигать 80 м<sup>2</sup>/г (рис. 3).

На основе изменения удельной поверхности фракций (рис. 3) можно сделать следующие предположения о механизме осаждения частиц: 1) увеличение удельной поверхности по пря-

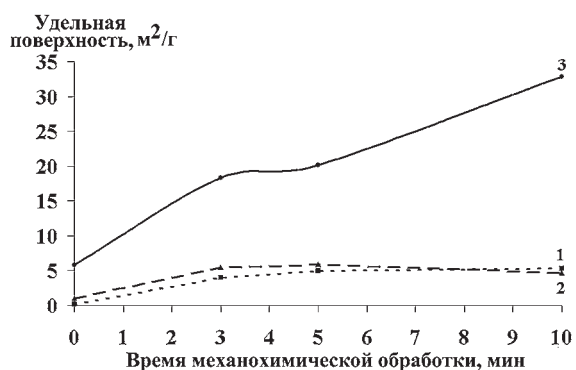


Рис. 2. Удельная поверхность углей разной стадии метаморфизма после механической обработки в АГО-2: 1 – уголь Д; 2 – уголь КС; 3 – А

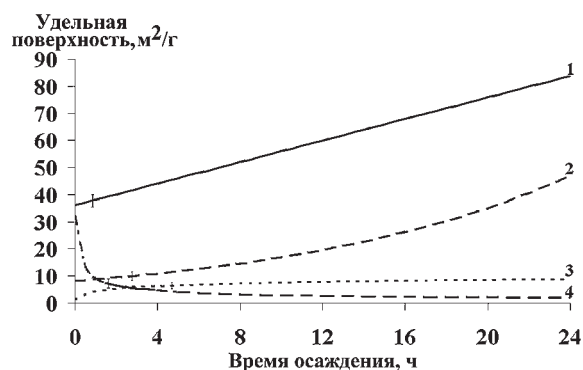


Рис. 3. Удельная поверхность фракций углей: 1 – А, 5 мин МО; 2 – уголь Д, +5%ЛС, 3 мин МО; 3 – уголь Д, 3 мин МО, +5% NaOH; 4 – А, 10 мин МО, +5% NaOH

мой линии может быть связано с равномерным осаждением сначала крупных частиц с меньшей удельной поверхностью, а затем более мелких частиц с большей удельной поверхностью под действием силы тяжести; 2) увеличение удельной поверхности по параболе имеет примерно тот же механизм, что и в первом случае: крупные частицы осаждаются быстро, а более мелкие под действием силы тяжести; во взвешенном состоянии (за счет броуновского движения) остаются мелкие частицы с развитой удельной поверхностью; 3) уменьшение удельной поверхности по кривой является следствием осаждения частиц за счет их агрегации, которая, уменьшает удельную поверхность частиц, а оставшиеся частицы имеют гидрофильную поверхность; 4) уменьшение удельной поверхности по прямой объясняется постепенной агрегацией угольных частиц и выпадением их в осадок; 5) если удельная поверхность практически не изменяется, это говорит о том, что в растворе остались гидрофильные частицы, которые не осадилась и не агрегируют друг с другом, а гидрофобные частицы осадилась за счет собственной силы тяжести. Не всегда вид кривой изменения удельной поверхности говорит о механизме осаждения частиц, т.к. удельная поверхность фракций измерялась после сушки, то могла произойти агрегация частиц. Поэтому для подтверждения механизма необходимо сравнивать кривые седиментации и изменения удельной поверхности.

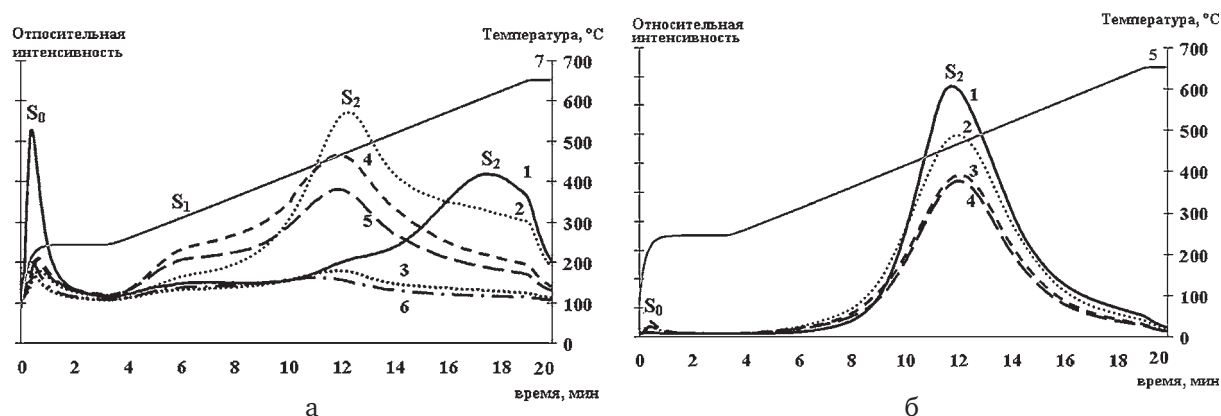


Рис. 4. Пирограммы исходных и мехактивированных углей, а также их фракций после осаждения: а – антрацит: 1 – исходный уголь; 2 – уголь 10 мин МО; 3 – фракция, взятая через 0.5 ч при осаждении (фракции из углей 10 мин МО); 4 – фракция, взятая через 1.5 ч; 5 – фракция, взятая через 4 ч; 6 – фракция, взятая через 24 ч; 7 – кривая изменения температуры; б – уголь марки Д: 1 – исходный уголь; 2 – уголь 10 мин МО; 3 – фракция, взятая через 0.5 ч при осаждении (фракции из углей 10 мин МО); 4 – фракция, взятая через 4 ч; 5 – кривая изменения температуры. S<sub>0</sub> [11] – пик фиксируемый ПИД до температуры порядка 150°С и площадь его пропорциональна количеству адсорбированных углеводородов. S<sub>1</sub> – пик, фиксируемый ПИД до температуры порядка 300°С и площадь его пропорциональна количеству УВ и подобных им соединений. S<sub>2</sub> – пик фиксируемый ПИД при нагревании выше 400°С и определяет количество УВ, выделившихся при крекинге не-растворимой части ОВ

В работе были проведены пиролитические испытания [10, 11] исходных, механоактивированных углей и их фракций, взятых во время осаждения. Пирограммы (графическая интерпретация данных пиролиза) представлены на рисунке 4. Они подтверждают гипотезу о том, что при механохимической обработке происходит одновременное образование частиц с большей и меньшей степенью метаморфизма, за счет выделения низкомолекулярных жидких и газообразных продуктов [12.]. Причем это более заметно на примере углей со средней и высокой степенью метаморфизма. Такое разделение по степени метаморфизма хорошо соотносится со стабильностью суспензий. Так, например, при механодеструкции антрацита (рис. 4, а) происходит образование более низкомолекулярных и одновременно более углефицированных структур. Более метаморфизированные частицы в суспензии осаждаются, а частицы с меньшей степенью метаморфизма остаются во взвешенном состоянии. А для углей меньшей стадии метаморфизма (рис. 4, б) смещение температуры максимального выхода углеводородов в область меньших значений (снижение степени метаморфизма) незначительное.

### Выводы

1. Динамика осаждения углей из ВУС зависит от степени метаморфизма углей, времени механоактивации и присутствия ПАВ. Найдены оптимальные условия механохимической обработки углей для получения наиболее устойчивой суспензии: антрацит – 5 мин МО без ПАВ и 10 мин МО с добавкой С-1; уголь марки Д – 3 мин МО с гидроксидом натрия; уголь марки КС проявил наибольшую устойчивость с применением С-1.

2. Изменение удельной поверхности зависит от времени механической обработки и присутствия ПАВ. При увеличении времени механохимической обработки происходит агрегация частиц угля с меньшей степени метаморфизма.

3. По виду кривой изменения удельной поверхности можно предположить механизм осаждения угольных частиц (осаждение под собственной силой тяжести, если они больше 0,1 мкм или достигают этого размера за счет агрегации более мелких частиц).

4. При механохимической обработке происходит одновременное образование частиц с большей и меньшей степенью метаморфизма, которые в процессе суспензирования разделяются на соответствующие фракции. А также увеличивается выход углеводородов из угля после механохимической обработки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Липович В.Г. Химия и переработка угля. / В.Г. Липович, Г.А. Калабин., И.В. Калечиц и др. – М.: Химия, 1988. – 336 с.
2. Карпов Е. // Газета «Энергетика и промышленность России». 2007. №5 (81).
3. Баранова М.П. // Тр. КГТУ. Энергетика и электротехника. 2006. № 2,3. С. 143.
4. <http://www.vodougol.ru/ru/home>
5. Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И. Пат. РФ №975068. Планетарная мельница.
6. Буянова Н.Е.. Определение удельной поверхности дисперсных и пористых материалов. / Н.Е. Буянова, А.П.Карнаухов, Ю.А.Алабужев – Новосибирск: Институт катализа СО АН СССР, 1978. – 74 с.
7. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1988. 464 с.
8. ТУ 5870-34-00369171-02. Суперпластификатор С-3. Пластифицирующая добавка в бетоны и растворы. – 27 с.
9. D.W.Van Krevelen, J.Schuyer. Coal Science (aspects of Coal Constitution). – Amsterdam, London, New York, Princeton: Elsevier publishing company, 1957. – 303 p.
10. Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Методические рекомендации по применению пиролитического метода в органической геохимии. – Новосибирск: СНИИГТиМС, 1985. – 42 с.
11. Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. – М.: Наука, 1987. – 232 с
12. Хренкова Т.М. Механическая активация углей. – М.: Недра. 1993. – 176 с.

# РАСТВОРЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ УГЛЕЙ РАЗНОЙ СТАДИИ МЕТАМОРФИЗМА

*Е.В. Волоскова<sup>1</sup>, В.А. Полубояров<sup>1</sup>, А.А. Жданок<sup>1</sup>, Т.П. Милошенко<sup>2</sup>,  
О.Ю. Фетисова<sup>2</sup>, В.Н. Меленевский<sup>3</sup>, О.В. Андрюшкова<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука, г. Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

## Введение

В настоящее время основная часть добываемого органического сырья используется для удовлетворения нужд энергетики. Основными процессами, с помощью которых уголь может быть превращен в ценные компоненты для химической промышленности, являются экстракция, окисление, полукоксование и коксование, газификация, терморастворение и гидрогенизация. Также находят широкое применение отходы его добычи и переработки [1]. Истощение ресурсов нефти в ближайшие десятилетия неизбежно приведет к широкому использованию угля. Поэтому в последнее время особое внимание уделяется модернизации традиционных процессов переработки угля.

Одним из определяющих направлений научного поиска в области переработки угля является проблема снижения его химической и термической устойчивости, что будет способствовать возможности его переработки в жидкие продукты в более мягких условиях [2]. При интенсивном механическом воздействии наряду с диспергированием угольных частиц происходит и активация угольной массы, сопровождающаяся значительными структурными изменениями. Механохимическую обработку углей можно использовать, в частности, как подготовительный этап перед переработкой углей [3].

Целью работы является изучение влияния механохимической обработки на процесс растворения в кислотном меланже углей разных стадий метаморфизма, а также рассмотрение изменений происходящих во время обработки углей кислотным меланжем.

## Экспериментальная часть

В качестве основных материалов исследования были выбраны следующие угли Кузнецкого угольного бассейна: каменные угли марок Д (длиннопламенный) и КС (коксовый слабоспекающийся), а также антрацит (А). Характеристики углей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики используемых углей

Марка	Содержание, %					
	C <sup>daf</sup>	H <sup>daf</sup>	A <sup>d</sup>	W <sup>a</sup>	V <sup>daf</sup>	H/C
Д	77,4	5,5	12,4	3,5	45,2	0,832
КС	89,6	4,8	19,0	7	20,1	0,552
А	94,6	1,4	6,3	3,7	3	0,189

Механохимическую обработку (МО) углей осуществляли в центробежно-планетарной мельнице АГО-2 [4]. Продолжительность измельчения 3, 5 и 10 мин.

Растворение исходных и мехактивированных углей проводили в кислотном растворителе – меланж [5] (смесь азотной кислоты и серной кислоты в соотношении 9:1).

В ходе эксперимента подбирали гидромодуль (ГМ) – это соотношение объема растворителя к объему угля, при котором происходит их растворение. Наличие не растворившихся частиц углей оценивали визуально. Установление момента «растворения» углей является сложной задачей. Это можно сделать визуально, по изменению цвета и плотности, а также РФА и ДТА.

Методика эксперимента заключается в том, что смешивали 1 мл угля и 1-5 мл меланжа, определяли время реакции по выделению бурого газа  $\text{NO}_2$ , затем получившийся раствор суспензировали дистиллированной водой и фильтровали, а фильтр с углем после сушки взвешивали. Если не удавалось растворить уголь, при каком-либо ГМ при комнатной температуре, то процесс проводили при нагревании ( $87^\circ\text{C}$ ). У получившегося сухого угля определяли удельную поверхность, плотность, а также проводили такие анализы как рентгенофазовый, дифференциальный термический и пиролитический анализ.

Удельную поверхность исходных, механохимически активированных и химически обработанных (ХО) углей определяли методом тепловой десорбции аргона [6].

РФА осуществляли на дифрактометре ДРОН-4 при  $\text{CuK}\alpha$ -излучении.

ДТА проводили на приборе для термоанализа STA 499 S «Jupiter» (NETZSCH). Нагревание образцов осуществляли в среде аргона.

Пиролитический анализ проводили на приборе Rock Eval (Hamblerinstr). Образцы находились в среде газа гелия.

### Результаты и их обсуждение

Во время реакции углей с кислотным меланжем происходило выделение  $\text{NO}_2$ , что свидетельствует о прохождении химической реакции или окисления углей. Продолжительность времени реакции исходных и МО углей с меланжем отличается незначительно (табл. 2) и варьируется от 1 до 10 мин. Непродолжительное время реакции угля с меланжем может быть связано с объемом взятого угля. А также меланж является сильным окислителем [5] и поэтому дисперсность углей на время их реакции с меланжем не влияет. Реакция меланжа с антрацитом происходила только при нагревании, поэтому время реакции зависит от времени испарения растворителя – чем больше растворителя, тем дольше идет реакция.

Таблица 2

Время растворения исходных и МО углей, минут

Название	Гидро модуль				
	1	2	3	4	5
Д исходный	2	2	4*	5	2
Д, 3 мин МО	1	4	2*	2	2
Д, 5 мин МО	2	2	4*	4	2
Д, 10 мин МО	2	2	2	2*	1
КС, исходный	2	4*	4	4	3
КС, 3 мин МО	2*	2	1	1	1
КС, 5 мин МО	2*	1	2	2	1
КС, 10 мин МО	1*	2	1	1	1
А, исходный**	5	6	6	5	7
А, 3 мин МО**	3	6	6	7	7
А, 5 мин МО**	3	5	5	6	8
А, 10 мин МО**	3	4	6*	6	10

\*Произошло растворение при данном и следующих за ним ГМ.

\*\*Растворение антрацита проводили при нагревании  $t = 87^\circ\text{C}$ .

Таким образом, предварительная МО углей практически не влияет на продолжительность реакции углей с меланжем. При этой реакции меланж может взаимодействовать как с органической массой вещества, так и с минеральными компонентами угля. В зависимости от наличия минеральных примесей, скорее всего и происходит увеличение удельной поверхности обработанных углей. И тем больше это увеличение, чем дольше была МО. На рис. 1 представлены кривые изменения удельной поверхности в зависимости от величины ГМ только для исходных и МО в течение 10 минут углей, а кривые изменения удельной поверхности углей 3-х и 5-ти мин МО, а затем обработанных меланжем лежат между ними, что говорит о влиянии предварительной МО. На которых видно, что увеличение удельной поверхности зависит от времени МО, объема меланжа, а также прослеживается ее связь с зольностью углей. Резкое увеличение удельной поверхности для углей марок КС и Д, обработанных меланжем, можно объяснить химической деструкцией этих углей, а также эти угли содержат большее количество минеральных примесей в своем составе (табл. 1). Антрацит содержит меньшее количество золы, а также является довольно инертным углем, но



концентрированные минеральные кислоты разлагают органическую массу даже антрацитов [7], поэтому диспергированные меланжем частицы после сушки могли снова ассоциировать с уменьшением удельной поверхности. У механоактивированного антрацита, также как и у исходного, обработанного меланжем, удельная поверхность невелика (рис. 1), хотя после 10 мин МО удельная поверхность антрацита составляет около  $35 \text{ м}^2/\text{г}$ . Такое низкое значение удельной поверхности можно объяснить тем, что после отмытки от меланжа и сушки частицы антрацита снова ассоциируются и удельная поверхность уменьшается. А во время обработки в АГО-2 образовавшиеся частицы еще не подвергаются агрегации.

При сравнении данных табл. 1 и рис. 1 видно, что в момент растворения углей на графике не наблюдается резкого увеличения удельной поверхности. Время растворения углей зависит от времени реакции (выделения  $\text{NO}_2$ ) углей с меланжем, поэтому четкой закономерности между временем растворения и растворимостью углей провести нельзя.

После обработки углей меланжем наблюдали изменение их массы, в зависимости от степени метаморфизма, времени МО и величины ГМ. Можно предположить, что потери массы углей увеличиваются при увеличении ГМ, а также и при увеличении времени их МО за счет выделения низкомолекулярных компонентов во время окисления и промывки углей. Но как показал опыт изменения массы в углях, после их обработки меланжем происходит по-другому. Например, для угля марки КС происходит увеличение массы на 20-45%; для антрацита – 13-15%; для угля марки Д – до 15%. Увеличение массы углей можно объяснить химическим связыванием меланжа на поверхности и в объеме углей, что приводит к увеличению их массы.

Сопоставляя данные ДТА (рис. 2) и изменением удельной поверхности углей (рис. 1) после обработки меланжем можно сказать, что увеличение удельной поверхности антрацита произошло за счет разделения его структурных элементов (рис.2, а). Поскольку на рисунке видно уменьшение массы исходных, МО и ХО углей, так же как и увеличение тепловыделения. Вид кривой тепловыделения не изменяется, не появляется новых пиков, только усиливается интенсивность, что и говорит о том, что структура осталась незатронутой.

Изменения удельной поверхности у углей КС и Д после обработки меланжем (рис.1) связаны с химической деструкцией, образованием низкомолекулярных соединений. По данным ДТА (рис. 2, б и в) видно, что температура начала разложения органической массы угля (ОМУ) после обработки меланжем лежит в области  $200\text{-}300^\circ\text{C}$ . Для углей КС и Д в этом интервале температур наблюдается пик тепловыделения и уменьшения массы образцов угля, которого не было в исходных, необработанных меланжем, углях. Это говорит об образовании низкомолекулярных веществ, которые начинают высвобождаться при нагревании до более низких температур.

На рис. 2 заметно, что чем меньше степень метаморфизма угля, тем больше уменьшается масса углей при нагреве (даже для исходных углей), а после обработки их меланжем разница между потерей массы исходных и МО углей становится незначительной.

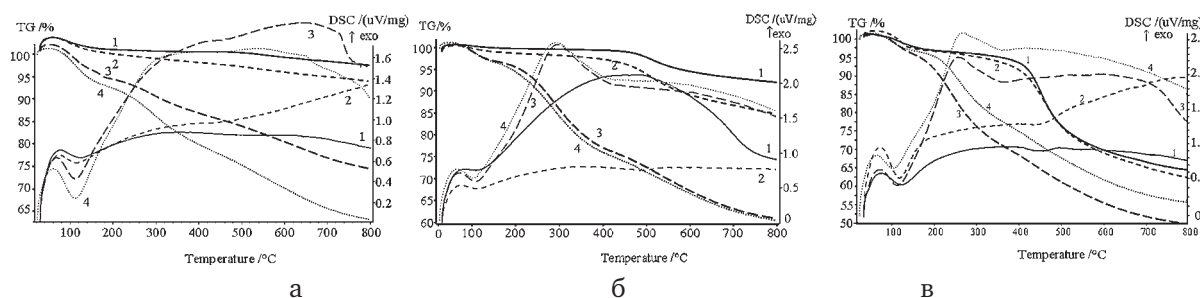


Рис. 1. Удельная поверхность углей, обработанных меланжем: 1 – уголь Д исходный; 2 – уголь Д, 10 мин МО; 3 – уголь КС исходный; 4 – уголь КС, 10 мин МО; 5 – антрацит исходный; 6 – антрацит, 10 мин МО

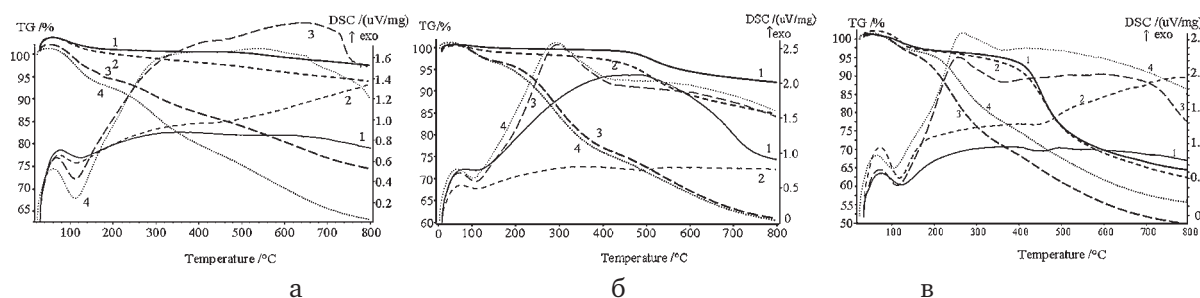


Рис. 2. ДТА углей: а – антрацит; б – уголь КС; в – уголь Д; 1 – уголь исходный; 2 – уголь 10 мин МО; 3 – уголь исходный обработанный меланжем; 4 – уголь 10 мин МО, обработанный меланжем



Таким образом, после обработки меланжем исходных и механоактивированных углей наблюдается ослабление связей между элементами, что приводит к интенсивной потере массы угля при нагреве. Причем интенсивность потери массы, иногда одинаковая как для МО, так и для исходных углей.

Пиролитический анализ [8], позволил определить количество углеводородов (УВ) выделяющихся при разных температурах. При температуре 300-350 °С в процессе термодесорбции улетучиваются УВ, уже имеющиеся в породе в свободном или адсорбированном состоянии. Количество этих УВ, пропорциональное площади пика, замеряется детектором и соответствует  $S_1$ . При дальнейшем повышении температуры образца начинается пиролиз керогена и фиксируется второй пик, площадь которого пропорциональна количеству УВ и подобных им соединений, образующихся при деструкции керогена ( $S_2$ ). Температура  $T_m$ , соответствующая максимуму генерации УВ, используется для оценки степени зрелости ОБ [8].

В табл. 3 количественно показано количество выхода УВ во время пиролиза углей, обработанных меланжем. Как видно из табл. 3 количество УВ ( $S_1$ ,  $S_2$ ) резко уменьшается после обработки углей меланжем. Сопоставляя данные ДТА (рис.2) и пиролиза (табл. 3), можно сказать, что в углях под действием меланжа происходит химическая деструкция и УВ должны выделяться в свободном виде и их (по данным ДТА) должно быть гораздо больше по количеству, чем представлено в табл. 3. Но т.к. меланж является сильным окислителем, то все образующиеся УВ являются окисленными и модифицированные кислотами. Поэтому фиксирование «чистых» и неокисленных УВ затруднено и поэтому их количество резко уменьшается после ХО (табл. 3).

Таким образом, пиролитический анализ не совсем адекватно оценивает количественные изменения, происходящие в углях после их обработки меланжем, но этот анализ показывает, что поверхность углей модифицируется после обработки меланжем.

Таблица 3

## Выход углеводородов во время пиролиза

Образец	$T_{max}$	Выход УВ, мг УВ/г угля	
		до 350 °С ( $S_1$ )	после 350 °С ( $S_2$ )
А исходный	576	0,5	1,5
А, 10 мин МО	435	5,0	3,0
А, 10 мин МО, ХО	261	0,7	0,7
КС исходный	486	0,3	69,0
КС, 10 мин МО	490	1,4	72,0
КС исходный, ХО	–	1,7	2,1
КС, 3 мин МО, ХО	–	2,0	1,1
КС, 5 мин МО, ХО	253	1,5	0,8
КС, 10 мин МО, ХО	259	1,6	0,6
Д исходный	421	1,0	125,0
Д, 10 мин МО	428	2,1	133,0
Д, исходный, ХО	–	4,6	14,9
Д, 3 мин МО, ХО	426	4,1	12,9
Д, 10 мин МО, ХО	421	4,5	14,2

После обработки меланжем свойства углей меняются – это можно проследить на примере насыпной плотности, которая определяется как масса вещества, занимаемая определенным объемом [1].

В кривых изменения плотности присутствует пик, который по мере увеличения времени предварительной механохимической обработки смещается в сторону меньшего объема добавляемого меланжа относительно исходного угля. Возможно в этих точках, которые соответствуют пику, происходит наибольшее изменение структуры углей и его возможно перевести в раствор. На данных РФА (рис. 5) видно значительное уширение пиков углей при увеличении количества меланжа, добавляемого к ним. Уширение пиков говорит об уменьшении кристаллитов угля [9]. Оно происходит пропорционально увеличению ГМ. Разрушение кристаллитов угля и приводит к уменьшению его плотности. Наиболее заметное изменение углей (10 мин МО) и химически обработанных происходит при ГМ=3, что на рисунке соответствует максимуму или минимуму плотности.

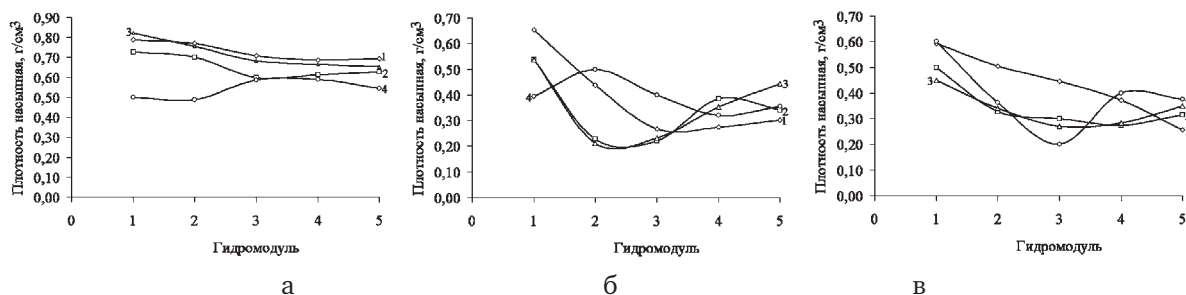


Рис. 4. Насыпная плотность углей, обработанных меланжем: а – антрацит; б – уголь марки КС; в – уголь марки Д; 1 – исходный уголь; 2- 3 мин МО; 3 – 5 мин МО; 4 – 10 мин МО.

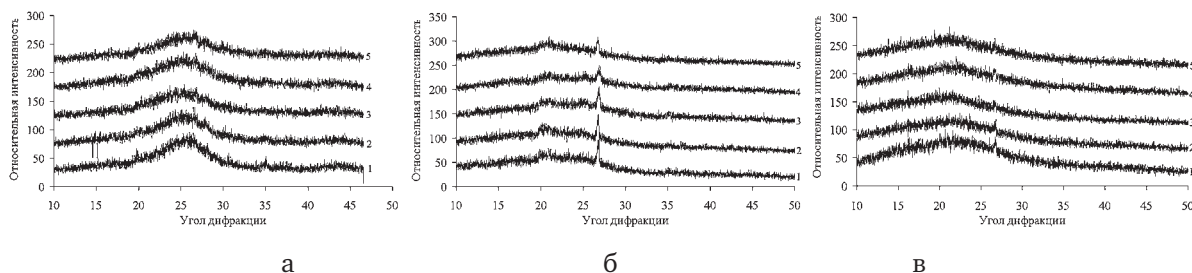


Рис. 5. РФА углей: а – антрацит, 10 мин МО, б – уголь марки КС, 10 мин МО, в – уголь марки Д, 10 мин МО; 1- ГМ=1; 2 – ГМ=2; 3 – ГМ=3; 4 – ГМ=4; 5 – ГМ=5

## Выводы

1. Установлено, что объем добавляемого растворителя влияет на выход конечных продуктов и удельную поверхность. При увеличении объема растворителя происходит увеличение удельной поверхности для всех углей, а изменение массы зависит от степени метаморфизма углей.

2. Показано, что при химической обработке углей достигается высокая удельная поверхность, которая не достигается при механохимической активации. За счет химической деструкции образуются устойчивые суспензии даже из исходных углей. Такую последовательность обработки углей можно использовать для получения устойчивых водоугольных суспензий, в качестве сорбентов.

3. Рассмотрено, что меланж действует на угли разной степени метаморфизма по-разному: антрацит – меланж не изменяет структуру угля, а лишь ослабляет связи между структурными элементами; для углей КС и Д – растворитель проникает внутрь и связывается химически.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Липович В.Г. Химия и переработка угля. / В.Г. Липович, Г.А. Калабин., И.В. Калечиц и др. – М.: Химия, 1988. – 336 с.
2. Патраков Ю.Ф., Федорова Н.И., Федяева О.Н. Химия в интересах устойчивого развития, 13 (2005). – с. 299-303.
3. Хренкова Т.М. Механическая активация углей. – М.: Недра. 1993. – 176 с.
4. Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И. Патент РФ N975068. Планетарная мельница.
5. ГОСТ 1500-78. Меланж кислотный. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 22 с.
6. Буянова Н.Е.. Определение удельной поверхности дисперсных и пористых материалов./ Н.Е. Буянова, А.П.Карнаухов, Ю.А.Алабужев – Новосибирск: Институт катализа СО АН СССР, 1978. – 74 с.
7. Нестеренко Л.Л. Основы химии и физики горючих ископаемых/Л.Л.Нестеренко, Ю.В.Бирюков, В.А.Лебедев. – Киев: Вища школа, 1987. – 359 с
8. Конторович А.Э., Меленевский В.Н. Методические рекомендации по применению пиролитического метода в органической геохимии. – Новосибирск: СНИИГТиМС, 1985. – 42 с.
9. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Физматлит, 1961. – 864 с.

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ И СЖИГАНИЮ СУСПЕНЗИОННОГО УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

*В.И. Мурко*

ЗАО НПП «Сибэкотехника», г. Новокузнецк, Россия

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2020 года» основную часть электроэнергии планируется по-прежнему получать за счет выработки ее на тепловых электростанциях. Их удельный вес в общей установленной мощности отрасли практически останется на уровне 2000 г. – 68-69%.

По данным НИИ экономики энергетики РАО «ЕЭС России» в балансе топлива при производстве электроэнергии в нашей стране в 2002 году доля природного газа составила 51%, а угля – около 18,6%. Для сравнения доля выработки электроэнергии на угле в США достигает 52%, в Германии – 54%, Китае – 72%, Польше – 94%. При этом доля природного газа в общем мировом потреблении первичных энергоресурсов за последние годы существенно возросла и, в первую очередь, за счет использования его на тепловых электростанциях.

Растянувшаяся по времени дешевая «газовая пауза» в отечественной энергетике привела к нарушению сложившегося за последние 50 лет топливно-энергетического баланса, существенному снижению развития технологий эффективного использования и потребления таких ресурсов, как уголь, торф, биомасса и др.

Основные проблемы в сдерживании использования угля сложились из-за политики формирования цен на топливные ресурсы, удержания высоких железнодорожных тарифов на его перевозку и повышенных затрат на приготовление и экологическую безопасность угля как топлива. В мировой практике соотношение цен на уголь, газ и мазут в пересчете на теплотворную способность топлива сложилось в отношении в среднем 1:1,2:1,3, а в России – 1:0,65:2,4.

При ожидаемой выработке основных месторождений нефти и газа, запасы которых в десятки раз меньше запасов угля, структура потребления энергоресурсов будет неотвратимо изменяться в сторону увеличения потребления угольного топлива. Это потребует перевода электростанций и коммунальных котельных, работающих на природном газе и мазуте, на угольное топливо. Для их реконструкции понадобятся большие капиталовложения и придется надолго останавливать котлы, что приведет к нарушениям графиков производства и поставок энергии. Следует учитывать еще одно обстоятельство: в ближайшие три года рост тарифов естественных монополий будет жестко привязан к индексу инфляции.

Это безусловно скажется на инвестиционной составляющей энергопроизводящих предприятий, что также диктует необходимость совершенствования технологий в использовании топлив.

В Энергетической стратегии указанные проблемы отражены, и даже определены основные пути их решения. Однако для их реализации в настоящее время отсутствуют соответствующие механизмы и стимулы. Отсутствуют и соответствующие государственные программы, применимые к современным экономическим условиям, что негативно сказывается на выявлении технических и технологических приоритетов и инвестиционной политике производственных компаний.

Примером может служить внедрение водоугольного топлива в энергетике, имеющее длинную историю.

Еще в конце 1970-х годов в СССР возникла острая проблема с перевозкой угля из восточных районов в Европейскую часть страны. Уже в то время основная добыча угля велась за Уралом, а большая часть потребителей находилась в Центральных районах СССР. Тогда приняли решение о строительстве опытно-промышленного углепровода от шахты «Инская» (г. Белово Кемеровской обл.) до вновь строящейся ТЭЦ-5 в Новосибирске протяженностью 262 км и мощностью 3,0 млн т в год. Он должен был явиться полигоном для отработки строительства углепроводов Кузбасс – Центр и далее до портов Черного моря, мощностью 25-30 млн т.

В 1989 году первая очередь пускового комплекса углепровода мощностью 1,2 млн т в год была сдана в опытную эксплуатацию. Эксплуатируемые в США гидротранспортные комплексы «Кадис Ист Лэйк» (протяженность трубопровода 173 км., мощность – 1,25 млн т в год) и «Блэк Мэса» (439 км., мощность – 4,6 млн т в год) работают по следующей технологии: измельченный

уголь смешивается с водой ( содержание твердой фазы 46-48%, средняя зольность 9,8%) и в турбулентном режиме со скоростью 1,5-1,7 м/сек. подается на конечный терминал – потребителю. Там он обезвоживается, осушается и поступает в котлы для сжигания.

Принципиальное отличие решений принятых при создании углепровода Белово – Новосибирск состояло в том, что подготовленное на головных сооружениях комплекса у шахты «Инской» водоугольное топливо после транспортировки на терминал ТЭЦ-5 не подвергалось обезвоживанию и осушению, а поступало напрямую в котлы для сжигания. Достигалось это новыми подходами к подготовке и сжиганию водоугольного топлива. Уголь с зольностью 12-18% при мокром помоле измельчался в частицы примерно в 200 микрон и с добавлением реагента-стабилизирующей добавки (пластификатора), препятствующей выпадению твердых частиц в будущей смеси, смешивался с водой в соотношении частиц угля к воде равным 55-60%, образуя суспензию. Далее суспензия от шахты «Инской» с помощью головной и двух перекачных насосных станций транспортировалась в хранилища-баки ТЭЦ-5, а из них подавалась для прямого сжигания к форсункам котлов [1, 2].

Принятая в отечественном проекте углепровода технология по приготовлению, транспорту и сжиганию водоугольной суспензии базировалась на большом объеме ранее проведенных научно-исследовательских работ, как у нас, так и за рубежом. Еще в 50-е годы прошлого столетия в СССР начались интенсивные исследования по созданию водоугольных суспензий. Поиски технологии их приготовления и использования диктовались обострением необходимости утилизации тонких угольных шламов, появившихся в больших количествах при интенсивном развитии гидродобычи и гидротранспорта угля, а также при обогащении углей мокрым способом. К решению проблемы были подключены ведущие научно-исследовательские угольные институты страны. Для исследования процессов приготовления и горения суспензий было построено несколько экспериментальных установок. Аналогичные работы проводились тогда в США, ФРГ и других странах.

Из-за последовавших позднее открытий крупных месторождений нефти и газа в мире и у нас в стране, и увеличения их поступления на рынки энергоресурсов по доступным ценам, работы по внедрению водоугольных суспензий замедлились. Для конкуренции с высокоуглеродистыми видами топлива водоугольные суспензии не имели достаточно высокой доли угольных частиц и для эффективности сжигания требовали «подсветки» другим, высокореакционным топливом. Кроме того, по надежности горелочные устройства с форсунками тонкого распыления суспензии уступали мазутным, а также имелись технические недоработки во вспомогательном оборудовании.

Интерес к водоугольному топливу возобновился в связи с мировым нефтяным кризисом в середине 70-х годов. Рост исследований вызывался необходимостью снижения зависимости крупных потребителей от нефтяных поставщиков. Наибольшее количество научных организаций, производственных фирм и корпораций к проблеме было привлечено в период 1979-1984 годов. По имеющимся сведениям более 100 организаций в США, Швеции, Великобритании, Китае, Японии, Канаде, Италии и ряде других стран занимались изучением и внедрением водоугольного топлива. На базе их были созданы крупные международные корпорации «Carbogel», «Fluidgarbon» – Швеция, Co-Al – США, «Densecoal» – ФРГ и другие, создавшие многочисленные составы и технологии приготовления и использования водоугольных суспензий.

Проект строительства углепровода «Белово – Новосибирск» учитывал достижения в этой области, и впервые в мире объединил в едином технологическом комплексе операции по приготовлению, транспортированию, хранению и сжиганию водоугольного топлива.

Кроме внедрения новых технологических решений на комплексе ставилась задача испытать надежность соответствующего отечественного оборудования. Проектом предусматривалось параллельно задействовать по всему циклу две технологические цепочки, составленные из импортного и отечественного оборудования.

За 1989-1997 годы на оборудовании и сооружениях углепровода было приготовлено, транспортировано и сожжено на теплоэлектростанции около 400 тыс.т водоугольного топлива с долей твердых частиц 53,7% при зольности исходного угля 16,5% (таблица 1).

В связи с частыми перерывами в эксплуатации углепровода (аварийные остановки шахты «Инская», вывод ТЭЦ-5 до 7-ми месяцев в резерв, крупная авария в котельной головных сооружений – из-за чего были разморожены все сооружения в пункте приготовления топлива и др.), а также снижением внимания к углепроводу со стороны Правительства России, прекратившего финансирование не оконченных работ, не удалось достичь стабильных проектных показателей. Без постоянной загрузки и должного финансирования уникальнейший комплекс начал разрушаться, а оборудование его растаскивали. Решением Межведомственной комиссии Минэнерго

России в конце 2003 года было признано, что восстанавливать его нерационально, и в результате технологический комплекс прекратил свое существование.

Таблица 1

**Проектная характеристика и результаты работы опытно-промышленного углепровода**

Наименование показателя	Числовое значение						
	по проекту	при комплексном опробовании в 1989 г.	1991 г.	1992 г.	1993 г.	1997 г.	итого, среднее значение
Произведено ВУТ, тыс. т/год	1920	94	183	98	77	22	474
Массовая доля твердой фазы, %	62,0	57,4	57,2	56,9	57,8	52,0	57,3*
Зольность угля, %	14,0	11,0	16,3	17,1	16,2	17,6	16,5
Средний диаметр, мкм	25	29	25	27	25,6	27,1	25,5*
Эффективная вязкость при скорости сдвига $11,7 \text{ с}^{-1}$ , Па·с	0,800	0,462	0,822	0,750	0,800	0,502	0,810*

\*Без учета данных за 1997 г.

Вместе с тем, полученные при испытаниях и эксплуатации первого российского углепровода результаты в целом доказывают правильность заложенных в него решений, работоспособность всех его технологических цепочек и узлов, а также рациональность и эффективность прямой подачи и сжигания водоугольной суспензии в котлах. В заключении Межведомственной комиссии Минэнерго говорится, что решения, реализованные в указанном комплексе по всем технологическим процессам, можно рассматривать как базовые для перевода тепловых электростанций и коммунальных котельных на конкурентоспособное водоугольное топливо.

Строительство и опытно-промышленная эксплуатация углепровода Белово – Новосибирск вызвали большой интерес у широкого круга специалистов за рубежом, в частности, КНР. Недостаток собственных месторождений нефти и природного газа вынуждают китайцев ориентировать развитие своей энергетики на угольное топливо. В то же время ужесточающиеся требования к охране окружающей среды усложняют правила его использования. По имеющимся данным в крупных мегаполисах Китая запрещено строительство и эксплуатация котельных, работающих на твердом угле.

Государственной программой Правительства Китая на 10-ю пятилетку (2001-2005 гг.) был предусмотрен поэтапный перевод предприятий с нефтегазового на водоугольное топливо. Это позволило сократить импорт нефти более чем на 70 млн т, а мазута – на 20 млн т в год, что уменьшило зависимость топливно-энергетического комплекса страны от внешнего рынка. Для технического руководства по внедрению водоугольного топлива в КНР создан Государственный центр водоугольных суспензий угольной промышленности. В 2001 г. в Китае таких суспензий производилось и потреблялось более 2,0 млн т в год. Топливоприготовление велось на 8 заводах мощностью до 600 тыс. т в год. Потребителями стали ТЭЦ, ранее работавшие на мазуте. Используются водоугольные суспензии также предприятиями химической, металлургической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности. В настоящее время в КНР производится более 25 млн т, а в ближайшие годы планируется довести производство ВУТ – до 100 млн т в год.

В мировой практике вопрос об использовании водоугольного топлива не потерял своей актуальности. Из официальной печати известно: работы по его совершенствованию и внедрению не прекращаются в Японии, Италии, США, Канаде и других странах. В США реализуется программа использования угля в промышленной и бытовой энергетике («Чистый уголь») с общим объемом финансирования в 6 млрд долларов на ближайшие 6-10 лет. Около 20% этой суммы предполагается направить на решение проблем связанных с созданием, транспортированием и использованием водоугольного топлива. По данным американских источников его широкое внедрение сдерживается относительно высокой стоимостью углеобогащения и противодействием прокладке магистральных углепроводов со стороны железнодорожных компаний и Конгресса США. При росте цены на нефть до 35 долларов за баррель и снятии ограничений на строительство углепроводов прогнозируется начало интенсивного применения водоугольного топлива в различных



областях промышленности. Большой интерес к технологии водоугольного топлива проявляется в Украине, Монголии, Казахстане, Вьетнаме. В настоящее время ЗАО НПП «Сибэкотехника» выполнило и реализует пилотные проекты по приготовлению и сжиганию ВУТ на основе угольных шламов (г. Темиртау, Казахстан, г. Ханой, Вьетнам).

При отсутствии у нас общей скоординированной программы разработка водоугольных топлив и проектирование установок для их использования сосредоточены в нескольких не связанных между собой организациях – ЗАО НПП «Сибэкотехника» (г. Новокузнецк), ФГУП «Институт горючих ископаемых», ЗАО «Компомаш-ТЭК», ГУП НПО «Гидротрубопровод» (все в Москве) и др. В течение последних лет улучшены характеристики водоугольных суспензий, практически создана новая технология приготовления и сжигания суспензии на основе угольных шламов.

В качестве примера можно привести данные о работе технологических комплексов по приготовлению и сжиганию ВУТ на основе угольных шламов, разработанных ЗАО НПП «Сибэкотехника» (таблица 2)

Таблица 2

**Результаты работы технологических комплексов по приготовлению и сжиганию ВУТ на основе угольных шламов**

Наименование показателя	Ед. измерения	Комплекс на ш. Заречная, г. Польшаево	Комплекс в г. Темиртау
Характеристика ВУТ:			
– крупность частиц	мкм	0-500	0-350
– массовая доля твердой фазы	%	58-62	58-62
– зольность	%	25-34	22-46
– эффективная вязкость	мПас	не более 800	не более 800
– низшая теплота сгорания	ккал/кг	3100-3300	не менее 3000
– выход летучих (на твердую массу)	%	42,9	20,1
Производительность установки по приготовлению ВУТ	т/ч	3,0	6,2
Теплопроизводительность котла	Гкал/ч	0,54	0,6
Расход топлива	л/ч	125-195	110-120
КПД работы котла	%	75-85	75-85
Выбросы вредных веществ в атмосферу:			
– окись углерода	мг/м <sup>3</sup>	164*	нет данных
– оксиды азота		303**	

\* ПДК = 375 мг/м<sup>3</sup>; \*\* ПДК = 750 мг/м<sup>3</sup>.

Ведутся интенсивные работы по получению водоугольных суспензий на основе деминерализованных углей. На производственной базе ЗАО НПП «Сибэкотехника» создан испытательный стенд, позволяющий подобрать и сертифицировать желаемый сорт водоугольного топлива по заявке заказчика.

К сожалению, использование водоугольного топлива пока не нашло себе места в большой энергетике. Несмотря на то, что затраты на производство 1 МВт.ч электроэнергии, по данным ЦНИИУголь, с использованием такого топлива при транспортировке его углепроводами, ниже расходов чем при пылевидном сжигании угля, доставленного железнодорожным транспортом, особенно на дальние расстояния (при дальности доставки на 100 км до 12 %, на 1000 км – 22-32 %, 4000 км. – 47-65 %), углепроводы не строятся и водоугольное топливо на действующих тепловых электростанциях не используется. Дело в том, что использование ВУТ вместо прямого сжигания угля, газа, мазута требует крупных первоначальных капиталовложений, особенно на первом этапе внедрения его в промышленное использование. Частные угольные компании и акционерные общества энергетиков не в состоянии самостоятельно решить эту задачу и не проявляют заинтересованности в объединении своих ресурсов. Поэтому при определении базовых электростанций для их перевода на альтернативные виды топлива за счет применения новых технологий из 12 рассмотренных ГРЭС и ТЭЦ лишь четырем из них – Беловская ГРЭС, Томь-Усинская ГРЭС, Новосибирская ТЭЦ-5 и Интинская ТЭЦ – были выданы рекомендации о переводе их на ВУТ.



Практика показывает, что такая задача без государственного и регионального участия решена не будет. Государственное внимание требуется и самой угольной отрасли. Несмотря на то, что Энергетической стратегией предусмотрено сохранить за газом положение основного источника первичных энергоресурсов, перед угольной промышленностью поставлена задача значительного увеличения объемов добычи. Использование новых технологий сжигания угля с привлечением его запасов в хвостохранилищах и отходах углеобогатительных фабрик и трубопроводной транспортной являются одними из путей увеличения эффективности использования угольного топлива.

Считаем, что достижение установленных Энергетической стратегией России на период до 2020 года показателей по производству всех видов энергии, а также по структурно сбалансированной добыче и поставке энергоресурсов, может быть осуществлена только при реализации детально проработанных и сбалансированных программ развития и технического перевооружения отраслей ТЭК, прежде всего угольной промышленности и энергетики. Программы должны содержать анализ и оценку научно-обоснованных перспектив, направлений и приоритетов их развития, предусматривать внедрение средств технологического и технического оснащения предприятий, а также условия привлечения инвестиций как внутри страны, так и зарубежных. Назревшая проблема по частичной замене природного газа, нефти и угля на водоугольное топливо в том числе должна решаться при государственной поддержке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зайденварг, В. Е. Производство и использование водоугольного топлива [Текст] / В. Е. Зайденварг, К.Н.Трубецкой, В. И. Мурко. – М.: Изд-во Акад. горных наук, 2001. – 176 с.
2. Мурко, В.И.. Физико-технические основы водоугольного топлива/ В.И. Мурко, В.И. Федяев, В.А. Хямяляйнен; под общ. ред. В.И. Мурко; РАЕН; ГУ КузГТУ. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2009. – 195с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

*И.И. Демченко, С.Б. Васильев*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Повышение эффективности использования твердого топлива в энергетической отрасли связано в значительной степени с его подготовкой. Основная масса добываемых в Красноярском крае углей, сжигается в пылеугольных котлах большой мощности. Пылевой способ позволяет эффективно сжигать угли широкого диапазона качества, что очень удобно, так как угли разных разрезов заметно отличаются друг от друга. Однако эффективность сжигания достигается при условии, что оборудование потребителя и технология подготовки и сжигания топлива разработаны с учетом характеристик угля. Поэтому существующие ТЭС спроектированы на сжигание угля определенного разреза с заявленными средними значениями показателей качества. При этом отношения между потребителем и поставщиком угля лишены рыночного характера, так как потребитель не имеет возможности выбора поставщика. Более того, колебания качества угля относительно заявленных средних значений, на которые и рассчитано оборудование потребителя, выводят процесс сжигания из оптимального режима, снижают КПД котлов, повышают износ оборудования. Однако эти колебания носят объективный характер, так как показатели качества угля могут заметно меняться не только по различным разрезам, но и по разным пластам одного разреза и даже по простиранию одного пласта. Разрезы применяют усреднение угля для уменьшения колебаний его качества до допустимого и тоже заявленного уровня. Оставшиеся колебания хоть и в меньшей степени все-таки снижают эффективность использования твердого топлива.

Одним из способов уменьшения колебаний качества топлива является создание угольных смесей. Колебания качества составляющих смесь углей приводят к меньшим колебаниям свойств смеси, поэтому смесь обладает большей стабильностью. К сожалению, угольные смеси не являются проектным топливом котлов. Исследования, проведенные в Сибирском федеральном университете Е.А. Бойко, показали не только возможность, но и перспективность замены проектных топлив, используемых энергопроизводящими предприятиями ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)», на угольные смеси. Характеристики смеси рассчитывались в зависимости от марки котла, используемого им проектного топлива и характеристик углей, которые целесообразно использовать в составе смеси и к которым относятся как угли разрезов Красноярского края, так и других регионов. Во многих случаях использование смесей вместо проектных топлив оказалось технологически целесообразным. Экономическая целесообразность использования смесей опиралась на стоимость смеси и эксплуатационные расходы. Ряд предлагаемых смесей оказались экономически не обоснованными, так как стоимости многих смесей несколько выше соответствующих проектных топлив, и экономия в эксплуатационных расходах не покрывает эту разность. Однако в расчетах не учитывалась дополнительная экономия в эксплуатационных расходах от уменьшения колебаний качества топлива. Использование в смесях углей из соседних регионов также оказывается экономически выгодным, так как часто разрезы разных регионов принадлежат одному собственнику, например, СУЭК и там, в соседних регионах, находятся потребители, в частности, бородинского угля (СУЭК) Красноярского края. Вагоны, доставившие туда уголь, обратно возвращаются порожними, а могут быть загружены местным углем, также принадлежащим СУЭК, для сжигания его энергопроизводящими предприятиями Красноярского края.

Угольные смеси целесообразно готовить у потребителя. Во-первых; каждая смесь готовится для конкретного потребителя. Во-вторых; математические расчеты показывают, что при таком размещении усреднительного оборудования оптимизируются транспортные расходы на доставку составляющих смесь углей. Для создания угольных смесей предлагаются разработанные в СФУ усреднительные бункеры и специализированные усреднительные склады [1-3]. Усреднительный бункер позволяет соединять в заданной пропорции несколько потоков угля, тщательно их перемешивая. Кроме этого имеется возможность оперативного изменения пропорции, которая может быть использована для уменьшения колебаний качества смеси. Бункер может быть размещен в

тракте топливоподачи в месте пересечения (соединения) угольных потоков или перегрузки угля с одного конвейера на другой. Усреднительный склад также может быть использован для соединения угольных потоков (для создания смеси). Кроме этого он осуществляет усреднение угля в некотором усреднительном объеме. Площадь склада зависит от требуемого усреднительного объема и технологии усреднения. Усреднительный объем в свою очередь связан с диапазоном частот, на которых будут уменьшаться колебания качества: чем больше объем, тем шире этот диапазон. Предлагаемый склад реализует технологию усреднения, рационально использующую площадь склада.

Применение тщательно подобранных угольных смесей повышает эффективность использования твердого топлива и КПД котельно-топочного оборудования, расширяет возможность применения рыночных рычагов в отношениях потребителя с поставщиками угля, а для добывающих предприятий – расширяет рынок сбыта продукции. Кроме этого появляется возможность для большей сбалансированности угольных перевозок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2268219 РФ, МПК В65G 3/04. Бункер загрузки и усреднения углей / Демченко И. И., Тарских А. А., Васильев С. Б., Нехорошев Д. Б., Демченко А. И., Мурашева О. М. – № 2004114945; заявл. 17.05.04; опубл. 20.01.06, Бюл. № 2.

2. Пат. 2271975 РФ, МПК В65G 3/04. Бункер усреднения и загрузки углей / Демченко И. И., Буткин В. Д., Чесноков В. Т., Васильев С. Б., Тарских А. А., Демченко А. И., Мурашева О. М. – № 2004119993; заявл. 30.06.04; опубл. 20.03.2006, Бюл. № 8.

3. Пат. 2312050 РФ, МПК В65G 3/02, 65/28. Способ усреднения сыпучих материалов на складе с торцевой разгрузкой / Васильев С. Б. – № 2006117166; заявл. 18.05.2006; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 34.

## ВОДОУГОЛЬНОЕ СУСПЕНЗИОННОЕ ТОПЛИВО ИЗ МОНГОЛЬСКИХ БУРЫХ УГЛЕЙ

В.И. Мурко<sup>1</sup>, В.И. Федяев<sup>1</sup>, М.П. Баранова<sup>2</sup>, С. Батмунх<sup>3</sup>,  
Д. Балдандорж<sup>3</sup>, Б. Сухбаатар<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ЗАО НПП «Экотехника», г. Новокузнецк, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> ИТПЭ МГУНТ, г. Улан-Батор, Монголия

Водоугольные суспензии (ВУС) – новый вид энергетического топлива, позволяющий повысить экологические показатели сжигания натуральных топлив в энергетических установках. ВУС уже применяются ведущими фирмами ФРГ, Италии и других стран. В основе процесса их приготовления лежит механохимическая активация, в ходе которой разрушается структура угля. Уголь распадается на отдельные органические и минеральные составляющие, но уже с активной поверхностью частиц твердой фазы. Исходная вода также претерпевает ряд превращений, в результате чего образуется химически активная дисперсная среда, насыщенная компонентами ионного и катионного вида [1].

Целью работы было исследование возможности получения топливных ВУС из бурых углей Монголии.

Для изучения возможности приготовления и сжигания водоугольного топлива были представлены две пробы угля с Багануурского и Шивээ-Овооского (Shivee Ovoo) месторождений Монголии. Используя бассейновую классификацию углей, принятую в РФ, и исходя из значений рабочей влажности исследуемых углей можно сказать что Багануурский уголь соответствует углю марки БЗ, Шивээ-Овооский уголь – углю марки Б1.

Процесс получения ВУС включал в себя предварительное дробление исходного угля в лотковой дробилке до кл. 0-3 мм. Далее уголь совместно с водной фазой и пластифицирующими добавками поступал на вибростенд СВУ-2.

При получении ВУС использовались четыре типа комплексных добавок: ЖМС, ЛСН, С-1, ДЩ. Количество добавки изменялось от 0,1 до 1,0% на массу сухого угля. Состав добавок разработан в ЗАО НПП «Сибэкотехника» и представляет собой композиции высокомолекулярных соединений и щелочных реагентов.

В ходе экспериментальных работ установлено, что оптимальным вариантом реагента – пластификатора для Баганууровского угля является добавка ДЩ в количестве 0,3-1,0% от массы сухого угля. Массовая доля твердой фазы в топливе с использованием этой добавки составляет 45,0-47,0% при эффективной вязкости 504-948 мПа·с при скорости сдвига  $81 \text{ с}^{-1}$ . Для Шивээ-Овооского угля лучшим пластификатором является добавка типа С-1 в количестве 0,1% от массы сухого угля. При этом массовая доля твердой фазы ВУТ составляет 35,4%, а эффективная вязкость 1348 мПа·с при скорости сдвига  $81 \text{ с}^{-1}$ .

Приготовление опытных партий ВУТ осуществлялось на демонстрационной стендовой опытно-промышленной установке ФГУП «НПП «Экотехника» и ЗАО НПП «Сибэкотехника». На рисунке 1 представлена технологическая схема приготовления ВУТ.

Установка по приготовлению ВУТ включала в себя: 1 – аккумулярующий бункер; 2 – шнековый питатель-дозатор; 3 – вибромельницу ВМ-60; 4 – сито для улавливания в готовом продукте частиц угля > 3 мм; 5 – зумпф для приема готового ВУТ из мельницы; 6 – расходную емкость водного раствора реагента; 7 – трубопровод дозированной подачи раствора реагента с расходомером МР-400; 8 – роторно-пульсационный аппарат (насос-активатор); 9 – аккумуляющую емкость готового продукта.

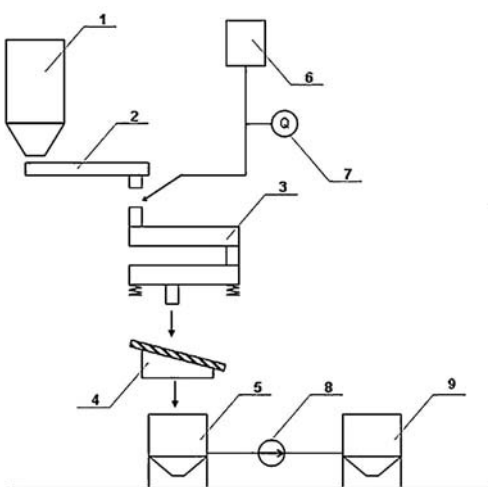


Рис. 1. Технологическая схема приготовления ВУТ

Установка по приготовлению ВУТ включала в себя: 1 – аккумулярующий бункер; 2 – шнековый питатель-дозатор; 3 – вибромельницу ВМ-60; 4 – сито для улавливания в готовом продукте частиц угля > 3 мм; 5 – зумпф для приема готового ВУТ из мельницы; 6 – расходную емкость водного раствора реагента; 7 – трубопровод дозированной подачи раствора реагента с расходомером МР-400; 8 – роторно-пульсационный аппарат (насос-активатор); 9 – аккумуляющую емкость готового продукта.

Полученная суспензия пропусклась через роторно-пульсационный аппарат, что позволяло улучшить реологические характеристики и стабильность готового водоугольного топлива. Принцип действия диспергатора основан на гидро-механо-акустическом эффекте.

После роторно-пульсационного аппарата водоугольное топливо направлялось в аккумуляющую емкость готового продукта.

Для проведения испытаний по сжиганию композиционного топлива на основе монгольских углей была использована демонстрационная стендовая опытно-промышленная установка. Технологическая схема установки приведена на рисунке 2.

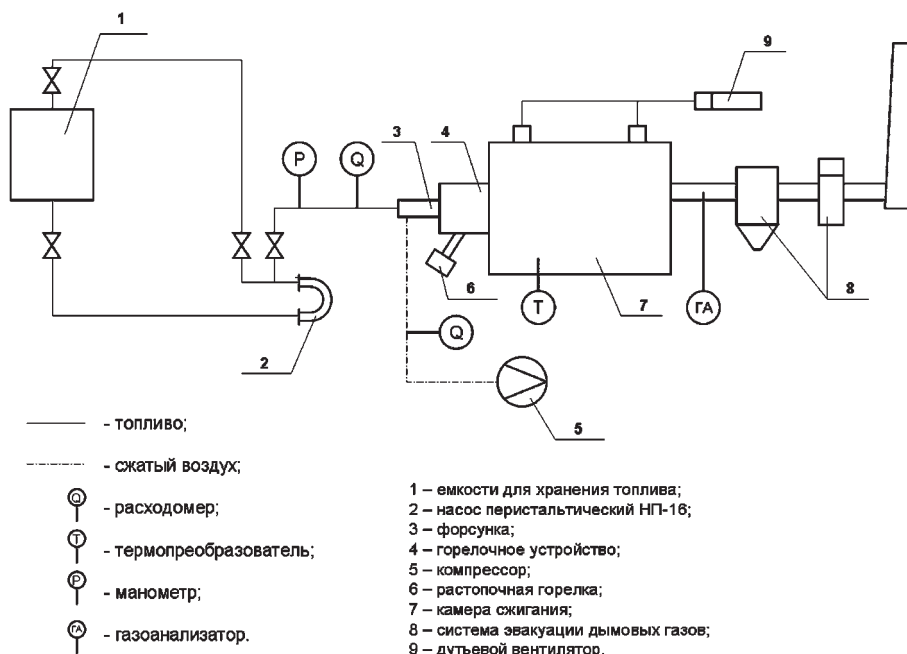


Рис. 2. Схема опытно-промышленной установки

Сжигание композиционного топлива из монгольских углей осуществлялось в специальной камере сжигания, оборудованной горелочным устройством и системой эвакуации газов. Топливо из расходного бака (1) с помощью перистальтического насоса НП-16 (2) с производительностью  $0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  по системе трубопроводов подавалось к форсунке (3) горелочного устройства (4). Регулирование объема подачи осуществлялось с помощью инвертора «Hitachi» J 100 путем изменения частоты вращения двигателя насоса НП-16. Первоначально осуществлялся разогрев камеры сжигания (7) до  $600^\circ\text{C}$  с помощью солярной горелки в течение 40 минут. Затем производилась подача топлива в камеру через форсунку. По системе эвакуации дымовых газов (8) продукты сжигания выводились из зоны горения. Транспорт окислителя в камеру сжигания обеспечивался дутьевым вентилятором (9).

Всего в ходе эксперимента сожжено  $1,2 \text{ м}^3$  ВУТ. Как показали полученные данные, при сжигании углей в виде ВУТ, происходит значительное снижение оксидов углерода, азота и серы в отходящих газах.

Таким образом, проведенные исследования показали, что из Шивээ-Овооского и из Багануурского бурых углей Монголии можно получить водоугольные топливные суспензии, которые пригодны для использования в теплоэнергетических процессах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мурко В.И. Физико-технические основы водоугольного топлива/В.И. Мурко, В.И. Федяев, В.А. Хямяляйнен//Кузбассвуиздат.–Кемерово.–2009.–195с.

# ОСОБЕННОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТРУБОПРОВОДОВ

М.П. Баранова

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Основная задача инженерных методов расчета гидротранспортных систем – определение их гидравлических и технологических параметров. Необходимой составной частью расчета трубопровода является гидравлический расчет, который заключается в определении критической скорости транспортирования, минимальной скорости, обеспечивающей взвешенность и перемещение по трубе твердого материала (в случае нестабильных гидросмесей) и гидравлического уклона, перепада давлений, необходимого для перемещения пульпы на единицу длины трубопровода. При выполнении гидравлических расчетов важно иметь данные о содержании в транспортируемом материале фракций менее 0,075 мм; 0,075-0,2 мм; 0,2-3 мм; более 3 мм, а также кусков с максимальными размерами [1]. В большинстве инженерных методов гидравлического расчета используются средневзвешенный размер фракции 0,2–3 мм, для определения которого целесообразно иметь данные о пяти-шести фракциях внутри этого класса [1–3]. Высококонцентрированные водоугольные, нефтеугольные и многие другие суспензии, мазуты и нефти проявляют неньютоновские свойства. Их реограммы течения имеют, как правило, два, резко отличающихся друг от друга участка: нелинейный при малых скоростях сдвига ( $j < 10 \div 20 \text{ с}^{-1}$ ) и линейный при скоростях сдвига, превышающих указанные значения (рис. 1). Характерным для реограмм течения является наличие линейного участка при очень малых скоростях сдвига, когда напряжение сдвига еще не достаточно для разрушения агрегатов. Такое сложное поведение реограмм течения служит причиной того, что модели Оствальда и Бингама, применяемые для описания таких суспензий, дают большие ошибки при описании течения в широкой области скоростей сдвига.

В работе предложена составная модель, учитывающая особенности поведения реограмм течения в различных областях скоростей сдвига. Начальный участок реограмм ( $\tau \leq q$ ) описывается моделью переменной текучести:

$$\varphi = \sum_{i=0} L_i \tau^{2i}, \quad (1)$$

где  $L_i$  – коэффициент.

С помощью этой модели можно с какой угодно точностью описать область малых скоростей сдвига – очень широкого класса неньютоновских жидкостей – от суспензий с едва выраженным псевдовязким поведением (и даже обладающих дилатантными свойствами) до суспензий или жидкостей, обладающих начальным напряжением сдвига, т.е. с сильно выраженными вязкопластичными свойствами. Линейный участок реограмм будем описывать моделью Бингама –  $\tau = dg + \mu j$ .

Если применить предлагаемую модель для расчета гидравлических характеристик течения суспензий по трубам, то при течении суспензии с полностью разрушенными агрегатами частиц ( $\tau < Q$ ) для скорости течения получим следующее выражение:

$$U_{(\tau_2)} = \frac{1}{4} d \tau_{\omega} \sum_{i=0} \frac{L_i}{i+1} + 1(1 - \tau_1^{2(i+1)}) \tau_{\omega}^{2i} \quad (2)$$

где  $\tau_{\omega}$  – напряжение сдвига на стенке,  $d$  – диаметр,  $\tau_1 = \tau / \tau_{\omega}$ .

Тогда расход суспензии:

$$W = \frac{\pi d^3}{16} \tau_{\omega} \sum a_i D_1^{2i}, \quad (3)$$

где  $D_1 = \tau_{\omega} / \theta$ ;  $a_i = \tau \frac{L_i}{i+2} \theta^{2i}$ .

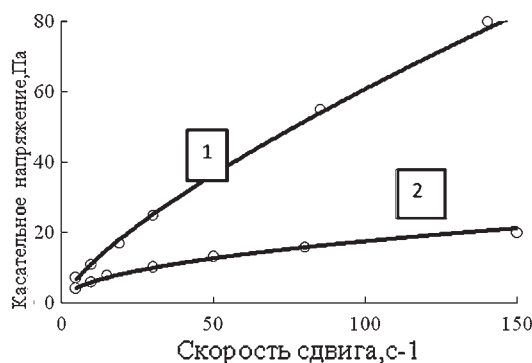


Рис. 1. Реограммы течения ВУС:  
1 –  $C_T = 40,5\%$ , 2 –  $C_T = 37\%$



Учитывая тот факт, что модель Бингама сама дает для  $W$  нелинейность, для соединения решений в обеих областях достаточно в формуле 3 ограничиться двумя или тремя первыми членами. Во втором случае эта формула имеет приближенное решение относительно  $\Delta P$ , которое можно записать следующим образом:

$$\Delta P = \frac{4\theta}{d} L (a + \sqrt{bV + C}) \quad (4)$$

$$\text{где } a = \frac{1}{3} - \frac{1}{4} \left( \frac{L_0}{L_1} \right); b = \frac{1}{2L_1}; C = \left( \frac{L_0}{4L_1} \right)^2 - \frac{1}{6} \frac{L_0}{L_1}; V = \frac{16W}{\pi d^3 \theta}.$$

В большинстве встречающихся на практике случаев в трубопроводе имеются области течения с неполностью и полностью разрушенными агрегатами частиц. В этом случае, разделяя сечение на две области с  $\tau_\omega \leq \theta$  и  $\tau_\omega > \theta$  получим следующее выражение для:

$$W = \frac{\pi d^3}{32\mu} \tau_\omega \left( 1 - \frac{4}{3} D + aD^4 \right) \quad (5)$$

$$\text{где } D = \frac{\theta_g}{\tau_\omega}, a = \left( \frac{4}{3} - \frac{\theta}{\theta_g} + \frac{\mu}{\mu_1} \right) \left( \frac{\theta}{\theta_g} \right)^4, \mu_1 = \left( L_0 + \frac{2}{3} L_1 \theta^2 \right)^{-1}.$$

Решение уравнения 5 с точностью до 1% относительно  $\Delta P/\Delta L$  можно представить в виде:

$$\Delta P/\Delta L = \frac{16\mu U}{d^2} (1 + AI + \sqrt{1 + BI + CI^2}) \quad (6)$$

$$\text{где } A = \frac{1}{8} (2,06 + 0,11a); B = \frac{1}{8} (1,21 + 0,22a); C = \frac{1}{64} (1,1a - 0,37).$$

Для Бингамовой модели  $a = \frac{1}{3}$  и выражение 6 принимает вид:

$$\Delta P/\Delta L = \frac{16\mu U}{d^2} (1 + 0,26I + \sqrt{1 + 0,16I}). \quad (7)$$

Это выражение при  $I \rightarrow 0$  и  $I \rightarrow \infty$  практически совпадает с выражением

$$\Delta P = \frac{32L \mu_{ст} U_{ст}}{d^2} F(N),$$

$$\text{где } F(N) = \frac{1}{8} [N + 2(1 + \sqrt{9 + N})], N = \frac{\tau_0 d}{\mu_{ст} U_{ст}}.$$

Найдем границу применимости линейного приближения (с точностью до 4 ÷ 5%) выражений 6 и 7.

При достаточно малых  $I$  выражение 6 можно представить в виде:

$$\Delta P/\Delta L \approx \frac{32\mu U}{d^2} \left( 1 + \frac{1}{6}I - \frac{a-0,2}{1+0,1I} I^2 \cdot 10^{-2} \right). \quad (8)$$

И условие малости третьего члена (8) будет

$$\frac{a-0,2}{(1+0,17I_1)(1+0,1I_1)} I_1^2 \cdot 10^{-2} \approx 4 \cdot 10^{-2}, \quad (9)$$

где  $I_1$  – граничное число Ильюшина.

Соответственно

$$I_1 \approx 8 + \frac{2}{4a-1}. \quad (10)$$

Для Бингамовой жидкости  $a = \frac{1}{3}$  и  $I_1 \approx 14$ ; обобщенные неньютоновские жидкости имеют  $a > \frac{1}{3}$ , поэтому для них  $I_1$  изменяется от 14 до 8.

Реологические параметры ВУС и других неньютоновских жидкостей изменяются в очень широких пределах:  $\mu$  – от 0,05 до 10 Па·с,  $\theta_g$  – от 1 до 50 Па. Следовательно,  $I = \frac{\theta_g d}{\mu U}$  может изменяться в очень широких пределах: от ~1 до ~ $10^3$  и более. В трубопроводах малого диаметра линейное приближение может быть справедливо практически во всей области скоростей течения, если  $\theta_g$  не велико. Таким образом, можно считать, что предлагаемая модель обобщенной неньютоновской жидкости позволяет точнее, чем общепринятые модели, учитывать особенности реологического поведения суспензий при гидравлическом расчете трубопроводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смолдырев А.Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии/ А.Е. Смолдырев // «Металлургия».–Москва, 1985.–280 с.
2. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт (основы расчета)/ А.Е. Смолдырев // «Недра».–Москва, 1980.–294 с.
3. Джваршеишвили А.Г. Системы трубного транспорта горно-обогатительных предприятий/ А.Г. Джваршеишвили // «Недра».–Москва, 1981.–384 с.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ ИЗ НИЗКОМЕТАМОРФИЗОВАННЫХ УГЛЕЙ

*М.П. Баранова*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Водоугольные суспензии представляют собой новый вид энергетического топлива, обеспечивают возможность создания экологически чистых электростанций. Преимущества водной дисперсионной среды проявляются в том, что она делает угольную суспензию взрывобезопасной и негорючей на всех технологических стадиях приготовления и транспортирования. Кроме того, технологии приготовления ВУС исключают необходимость глубокого обезвоживания и подсушивания угля.

Для экономики производства, транспортирования и сжигания суспензионного угольного топлива содержание в нем угля является одним из решающих факторов, особенно существенным для транспортирования и эффективности сжигания водоугольных суспензий. По технологическим и экономическим показателям ВУС, транспортируемая на большие расстояния по трубам и для сжигания на ТЭС, должна быть максимально наполнена углем, а ее вязкость – минимальной [1].

Поскольку основные эксплуатационные характеристики ВУС (вязкость, стабильность, содержание твердой фазы в ВУС, гранулометрическое распределение частиц угля по размерам) говорят о том, что мы имеем дело с многофакторной системой, то исследование закономерностей поведения этой системы при изменении ряда факторов, влияющих на нее, позволит управлять и моделировать поведение этой системы [2].

Цель работы заключалась в систематике теоретических и практических подходов к получению, транспорту и утилизации топливных ВУС на основе углей низкой стадии метаморфизма.

В первую очередь свойства бинарной дисперсной системы зависят от физико-химических характеристик твердой фазы.

С целью исследования влияния степени лиофобности поверхности частиц угля на содержание твердой фазы в ВУС, была проведена подсушка исходного бурого угля в отходящих дымовых газах. Установлено, что снижение естественной влажности угля на 30–40% от исходного позволяет повысить содержание твердой фазы в ВУС в среднем на 10%. Наиболее высокие значения содержания угля в ВУС получены при подсушке угля Б2 до влажности 6–14% и угля Б1 до 8–13%, т. е. до состояния равновесной влажности.

Смешение компонентов является одним из технологических процессов, осуществляемых при получении практически всех структурированных систем, собственно структура дисперсного материала формируется главным образом на стадии смешения, и достигаемая при этом однородность структуры, степень ее упорядоченности зависит от гомогенизации системы на стадии взаимного распределения дисперсных фаз при смешении. Кроме того, смешение способствует устойчивости к расслаиванию при длительном хранении и транспортировании системы. Условия перемешивания оказывают большое влияние на стабилизационные характеристики суспензий, в частности на подвижность их осадков. Образование двухфазной системы из сухого, предварительно размолотого угля и воды в качестве несущей среды, при участии пластификатора, происходит с учетом наличия на поверхности угольных частиц лиофильных и лиофобных участков, дзета-потенциала и многих других факторов, которые затрудняют процесс получения устойчивой и текучей ВУС. Применение лопастных мешалок допустимо лишь при скорости вращения вала не ниже 5000 об/мин.

Следует отметить, что наиболее эффективным является мокрый способ помола, когда вода и уголь подаются на первую стадию.

Важным также является тип применяемого мельничного аппарата, поскольку интенсивность, вид мелющих тел и другие технологические моменты процесса механохимической деформации твердой фазы ВУС приводят к получению необходимых характеристик системы.

Модернизацию твердой фазы ВУС можно провести используя вместо одного угля шихту углей разной степени метаморфизма. Известно, что из смеси каменного и бурого углей можно получить водоугольное топливо в виде суспензии с более высокой, чем у бурых углей концентрацией с удо-

влетворительными реологическими характеристиками для его транспорта по трубам. Это топливо имеет ряд преимуществ как перед буроугольной, так и каменноугольной суспензиями. По сравнению с каменноугольной ВУС повышается реакционная способность топлива, позволяющая ему воспламеняться при более низкой температуре и быстрее сгорать, кроме того, за счет высокого содержания оксидов кальция и магния в золе бурых углей имеется возможность связывать оксиды серы в процессе золообразования, предупреждая тем самым их выброс в атмосферу. По сравнению с буроугольной ВУС повышается концентрация твердого в ВУС и резко возрастает удельная теплота сгорания [3]. К тому же при совместном измельчении каменного и бурого углей, в связи с разными коэффициентами размолоспособности, получается бимодальный гранулометрический состав угля, что приводит к повышению концентрации от стехиометрического на 2-3 %, т.е. ВУС получается более концентрированной. С целью повышения концентрации твердой фазы изучена возможность получения ВУС из смеси углей марок Б2 и Д при их соотношении 2:1,1:1 (на сухую массу угля).

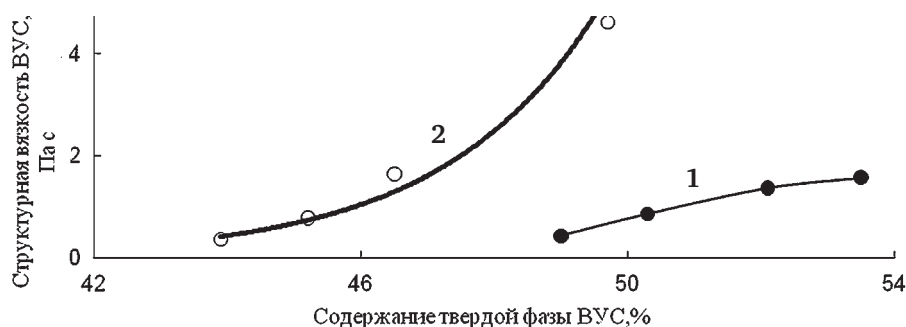


Рис. 3. Влияние соотношения углей марок Б1 и Д в смеси на концентрацию твердой фазы и вязкость ВУС: 1 – соотношение углей в смеси 1:1; 2 – соотношение углей в смеси 2:1

Проведенные исследования показали возможность управления гранулометрическим составом твердой фазы водоугольных суспензий с использованием численного моделирования.

Другим важным фактором в процессе получения топливных суспензий является жидкая фаза ВУС, в качестве которой могут выступать как технологическая вода, так и жидкие отходы производств. Следует отметить, что именно в жидкую фазу чаще всего вводятся пластифицирующие добавки для уменьшения вязкости и увеличения статической и динамической стабильности. Добавки, которыми в основном и проводится водоподготовка, меняют, прежде всего, pH среды. В ходе работы проверена возможность использования в качестве пластифицирующих агентов в технологическом процессе получения ВУС отходов производств. В качестве химических добавок использовали отходы Красноярского ЦБК – технические (ЛСТ) и модифицированные (ЛСМ) лигносульфонаты со следующими характеристиками: ЛСМ 1 – pH = 9,3  $C_T$  = 45%; ЛСМ 2 – pH = 8  $C_T$  = 52%; ЛСМ 363 – pH = 6,5,  $C_T$  = 50%; ЛСМ 364 – pH = 5,0,  $C_T$  = 50. Применяли также композиции этих добавок. Значительная часть пластифицирующих добавок в ВУС имеет щелочную среду (лигносульфонатные добавки, углещелочные реагенты и др.). Влияние щелочности вводимых химических добавок на основной показатель реологических характеристик – структурную вязкость ВУС, зависит от количества и химического состава минеральной составляющей.

Обнаруженные закономерности демонстрируют возможность оптимизации свойств суспензий в промышленных условиях совместным изменением количества добавки и регулированием физико-химического состава угля, а технология получения ВУС позволяет решить ряд вопросов экологической безопасности и ресурсосбережения за счет расширения ассортимента источников сырья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ходаков, Г. С. К физико-химической механике диспергирования твердых тел. // В сб. Физико-химическая механика дисперсных структур. М., Наука, 1966 С.17–28.
2. Мурко, В. И. Влияние реагентов-пластификаторов на реологические свойства водоугольного топлива / Мурко, В. И. // Химия твердого топлива.– 2001. – №2. – С.62–72.
3. Демидов, Ю. В. Технология получения высококонцентрированных водоугольных суспензий на стенде производительностью 10 т/ч / Ю. В. Демидов, Г. Г. Бруер, А. И. Борзов, С. М. Колесникова, И. И. Владимцева, М. П. Баранова, Л. В. Лазарева, Ф. П. Рогачевский // Химия твердого топлива – 1993. – №5. – С. 85–92.

## АНАЛИЗ ОБЪЁМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА И РИТМИЧНОСТИ ЕГО ПОСТАВОК НА АБАКАНСКОЙ ТЭЦ

*Д.В. Явшева, А.С. Дулесов*

ХТИ – филиал ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Абакан, Россия

В настоящее время в условиях становления новой модели социально-экономического развития России – модели инновационной экономики – ключевым фактором должно стать эффективное логистическое управление предприятием, которое предполагает конкурентоспособное промышленное производство [1].

Для большинства крупных предприятий энергетики управление запасами становится одним из условий выживания и успешного функционирования в условиях рыночной экономики. При этом обеспечение эффективности такого управления требует умения предвидеть вероятное будущее состояние предприятия и среды, в которой оно существует, вовремя предупредить возможные сбои и срывы в работе. Это достигается с помощью прогнозирования работы предприятия по всем направлениям его деятельности, и в частности, потребления топлива.

Многообразие проблем приводит к появлению большого количества разнообразных прогнозов, разрабатываемых на основе определенных методов прогнозирования [2]. В новых условиях хозяйствования предприятие стремится найти такое сочетание факторов производства, при котором обеспечивается наибольший выход продукции при наименьших затратах.

В процессе изучения технологии производства на Абаканской ТЭЦ тепловой и электрической энергий, были получены статистические данные об основных показателях производства, а так же факторы, влияющие на их динамику за 2005-2007 гг. Для определения взаимосвязей между температурным режимом окружающей среды и показателями производства тепловой энергии и расхода топлива на ТЭЦ применён корреляционный анализ. На его основе, построена линейная зависимость регрессии, отражающая влияние факторов на потребление топлива (рис. 1). Определяя корреляционную зависимость между факторами производства расходом топлива, вырабатываемой электрической и тепловой мощностью, температурой, в результате получили наибольшую степень зависимости между вырабатываемой тепловой мощностью и расходом топлива.

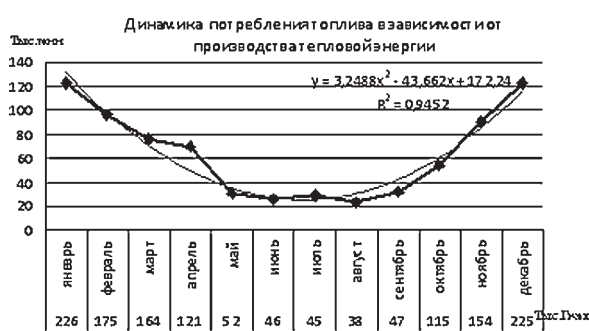


Рис. 1. Динамика потребления топлива в зависимости от производства тепловой энергии

Одним из статистических методов прогнозирования является расчет прогнозов на основе сезонных колебаний уровней динамического ряда. При этом под сезонными колебаниями понимаются такие изменения уровня динамического ряда, которые вызываются влияниями времени года. Проявляются они с различной интенсивностью во всех сферах жизни общества. Сезонные колебания строго цикличны: повторяются через каждый год, хотя сама длительность времен года имеет колебания [2].

Методика статистического прогноза по сезонным колебаниям основана на их экстраполяции, т.е. на предположении, что параметры сезонных колебаний сохраняются до прогнозируемого периода. Для измерения сезонных колебаний обычно исчисляются индексы сезонности [3]. Представим полученную зависимость на рис. 2.

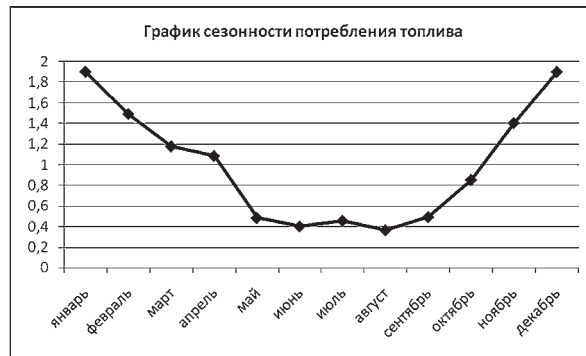


Рис. 2. График сезонности потребления топлива

Рассчитанные таким образом средние индексы сезонности можно положить в основу планирования товарооборота на следующий год [4].

С помощью когнитивной графики проанализирована динамика поставок угля. Найдены точки перехода графика поставок, проиллюстрирована неритмичность поставок (рис. 3).

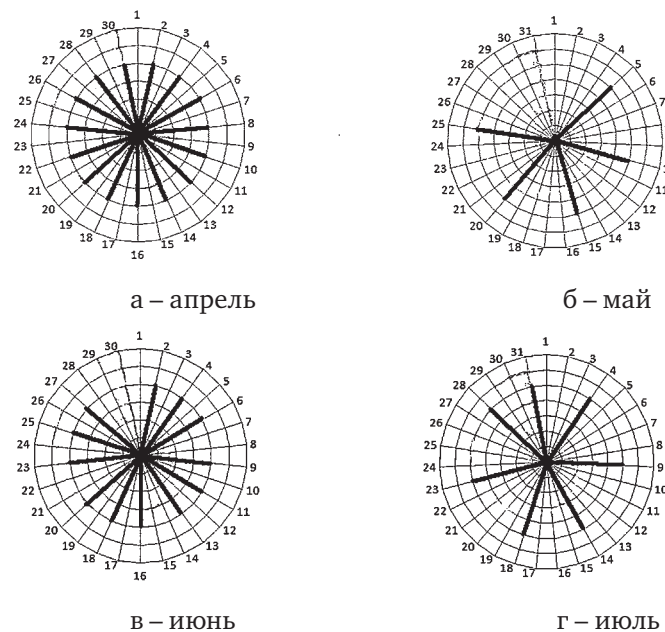


Рис. 3. Когнитивная графика поставок топлива в течение месяца

Таким образом, анализ годового потребления топлива на Абаканской ТЭЦ показал наличие тесной корреляционной связи между потреблением топлива и вырабатываемой тепловой энергией, выявлены явные сезонные изменения в зависимости от времени года, найдены точки перехода. Выполненный прогноз потребления топлива является составной частью подготовки плана поставок топлива в системе логистики ТЭЦ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманина И.А. Развитие логистических систем в инновационной экономике, Логистика и экономика регионов: материалы V Международной научно-практической конференции, 2010
2. Мазманова Б.Г. Основы теории и практики прогнозирования: учебное пособие, 1998.
3. Алексеева М.М. Планирование деятельности фирмы: Учебно-методич/ пособие. 1997.
4. Анискин Ю.П. Внутрифирменное планирование: Учебное пособие, 1994.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КРУПНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В ИСКУССТВЕННОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ (ИКЖТ) И В ЗОЛЬНОМ ОСТАТКЕ

*С.В. Луценко*

ЗАО «Компомаш-ТЭК», г. Москва, Россия

1. Крупность твердой фазы в искусственном композиционном жидком топливе (ИКЖТ) и её распределение является одной из важнейших характеристик, определяющих такие качества, как вязкость, устойчивость, полноту сгорания. Исследование крупности является обязательной операцией при определении свойств топлива.

2. Градации крупности связаны с теорией диспергации твёрдых топлив. Автор предлагает систему крупности для водоугольных топлив, основанную на физических принципах и уровнях дисперсности угольных порошков.

3. Существующие аппараты для размола угольного топлива малоэффективны, энергозатратны и не соответствуют требованиям идеальной диспергации. Предлагается новый для углепереработки метод размола с применением высокоскоростных ударно-скалывающих пальцевых машин, более соответствующий требованиям диспергации и являющийся энергосберегающим методом. Приведены результаты исследования частиц угля, полученных в дезинтеграторах.

4. Экспериментально подтверждён предел пластической текучести при размоле углей. Ниже которого процесс молекулярной агрегации в порошке начинает превалировать над процессом диспергации. Для углей эта величина составляет 25-30 мкм. Для преодоления этого барьера предложено дальнейшее диспергирование производить в разъединяющей среде – воде, используя энергию кавитации для воздействия на твёрдые частицы и на разъединяющую среду. Показано, что сухая диспергация в дезинтеграторах и мокрая в кавитаторах сопровождается активированием твёрдой фазы и дисперснонесущей среды. Физико-химические соединения активированных компонентов позволяют получить устойчивую топливную систему ИКЖТ. (Стабильность свыше года, однородность высокая).

5. Исследование ИКЖТ показало, что размеры частиц твёрдой фазы не превышают 2-3 мкм и эта система относится к классу коллоидных топлив. Такие характеристики ИКЖТ, как устойчивость, отсутствие необходимости в применении пластификаторов, улучшенный топочный процесс – превосходят аналогичные показатели для водоугольного топлива (ВУТ), приготовленного традиционным способом.

6. Исследование крупности золы ИКЖТ показало, что в процессе выгорания топлива имеет место спекание частиц. Уровень спекания зависит от состава минеральной части топлива. Для исследованных углей: Б2, СС, Г – не менее 60% частиц в зольном остатке имеют размер не более 10 мкм и только 1,3% частиц располагаются в диапазоне 23...28 мкм. Для углей марки Г зольных частиц оказалось несколько больше – 97% частиц имеют размеры <50 мкм.

7. Выполненные исследования показали, что ИКЖТ, как коллоидное топливо отличается от ВУТ и ВУС и при проектировании систем сжигания топлива «ИКЖТ» необходимо учитывать его особенности.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATHCAD ТЕХНОЛОГИЙ ПИРОЛИЗА БУРЫХ УГЛЕЙ

С.А. Семенов, Л.Ф. Гутчинский, И.О. Слободчиков

ГОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск, Россия

Для исследования установок пиролиза низкокачественных твердых топлив авторами разрабатывается математическая модель установок пиролиза (МОУП). Она включает в себя блоки расчета теплофизических свойств исходных веществ и продуктов пиролиза, блок обработки экспериментальных данных, а также блоки расчета энергетических и экономических показателей. В МОУП предусмотрен расчет основных элементов технологической схемы: блока подготовки топлива, реактора-пиролизера, теплогенератора, блока переработки продуктов пиролиза, паротурбинной установки и др. Все блоки МОУП реализованы в среде MathCAD.

С помощью МОУП авторами исследованы технологии термоокислительного пиролиза в системе топливоподготовки тепловой электростанции (ТПТЭС) и в составе энерготехнологического комплекса (ЭТК). В качестве пиролизера принят автотермический реактор циклонного типа, в котором уголь подвергается термической переработке при температурах 700-900°C. Производительность реактора по исходному топливу составляет 100 т/ч. Реализация термоокислительного пиролиза позволяет существенно упростить технологическую схему. В этом случае конструкции реакторов отличаются простотой, позволяющей снизить металло- и капитальные затраты, потери в окружающую среду, а также повысить эксплуатационные характеристики работы установок пиролиза.

Расчеты установки ТПТЭС проводились с использованием регрессионных зависимостей, полученных в результате обработки экспериментальных данных термоокислительного пиролиза канско-ачиских углей (КАУ) [1]. Выходы продуктов пиролиза являются функциями температурного уровня процесса:

$$G_{ПК} = -806,406 \cdot t_n^2 + 4,76 \cdot t_n - 3,73 \cdot 10^{-3}; \quad (1)$$

$$G_r = 2531,77 \cdot t_n^2 - 7,32 \cdot t_n + 6,16 \cdot 10^{-3}; \quad (2)$$

$$G_{СМ} = 353,33 \cdot t_n^2 - 0,59 \cdot t_n + 2,18 \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

где  $G_{ПК}$ ,  $G_r$ ,  $G_{СМ}$  – соответственно количество получаемых в реакторе-пиролизере полукокса, смолы и газа, кг(м<sup>3</sup>)/кг с.у. (с.у. – сухой уголь);  $t_n$  – температура процесса, °С.

С применением МОУП рассчитаны характеристики реактора-пиролизера, а также оценена энергетическая эффективность применения пиролиза в топливоподготовке. Коэффициент полезного действия установки определялся с учетом КПД производства подводимой извне электроэнергии и составил около 31%. Несмотря на снижение энергетической эффективности работы ТПТЭС по сравнению с прямым сжиганием угля, применение данной технологии позволяет получить достаточно существенные преимущества: улучшаются эксплуатационные и экологические характеристики котлоагрегатов, повышается надежность их работы, наблюдается снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Расчет показателей работы ЭТК проводился на примере переработки КАУ с отпуском потребителю чистых энергоносителей различного температурного потенциала и химической продукции. Цель исследований заключалась в комплексной оптимизации режимных параметров (температур процесса термоокислительного пиролиза и разогрева твердого теплоносителя) путем минимизации целевой функции – суммарных затрат в системе  $Z_{сум.}$ , состоящей из энерготехнологического блока, конденсационной электростанции (КЭС) с прямым сжиганием КАУ и коксохимического завода (КХЗ), на котором перерабатываются каменные кузнецкие угли с получением газа, смолы и сырого бензола.

При изменении режимных параметров изменяется ассортимент получаемой на энерготехнологической установке продукции, а также расходы ресурсов на собственные нужды ЭТК. Одинаковый энергетический и производственный эффект у потребителя обеспечивается введением замыкающей энергетической установки – КЭС с прямым сжиганием бурых КАУ и замыкающего химического производства – КХЗ. Тогда затраты в системе с учетом обеспечения заданной надежно-

сти энергоснабжения и обеспечения природоохранных мероприятий выразятся соотношением:

$$Z_{\text{сист}} = Z_{\text{ЭТБ}} + Z_{\text{КЭС}} + Z_{\text{КХЗ}} + Z_{\text{рез}}, \quad (4)$$

где  $Z_{\text{ЭТБ}}$  – приведенные затраты на производство электрической энергии и химических продуктов в энерготехнологической установке, руб./год;  $\Delta Z_{\text{КЭС}}$  – приведенные затраты на выработку заданного количества электроэнергии на конденсационной электростанции, сжигающей Канско-Ачинский уголь, руб./год;  $\Delta Z_{\text{КХЗ}}$  – затраты на производство газа и химической продукции на коксохимическом заводе с учетом потребительских свойств продуктов, руб./год;  $\Delta Z_{\text{рез}}$  – затраты в резервные энергетические установки, руб./год.

Аппроксимация экспериментальных и расчетных данных позволила получить зависимости приведенных затрат в системе от режимных параметров:

– от температуры разогрева твердого теплоносителя:

$$\text{при } t_n = 700^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = -1,82 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 3,478 \cdot t_{\text{ТТ}} + 39,457; \quad (5)$$

$$\text{при } t_n = 750^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = -8,794 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 0,018 \cdot t_{\text{ТТ}} + 30,998; \quad (6)$$

$$\text{при } t_n = 800^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = -1,115 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 0,024 \cdot t_{\text{ТТ}} + 25,128; \quad (7)$$

$$\text{при } t_n = 850^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = -6,21 \cdot 10^{-8} \cdot t_{\text{ТТ}}^3 + 2,176 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 0,255 \cdot t_{\text{ТТ}} + 63,042; \quad (8)$$

– от температурного уровня процесса пиролиза

$$\text{при } t_{\text{ТТ}} = 950^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = 1,078 \cdot 10^{-4} \cdot t_n^2 + 0,202 \cdot t_n + 129,556; \quad (9)$$

$$\text{при } t_{\text{ТТ}} = 1000^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = 7,719 \cdot 10^{-5} \cdot t_n^2 + 0,150 \cdot t_n + 108,512; \quad (10)$$

$$\text{при } t_{\text{ТТ}} = 1050^\circ\text{C} \quad Z_{\text{сист}} = 7,531 \cdot 10^{-5} \cdot t_n^2 + 0,145 \cdot t_n + 105,848. \quad (11)$$

Анализ зависимостей (6-11) показал, что изменение температурного уровня процесса пиролиза оказывает большее влияние на величину приведенных затрат в системе, чем температура разогрева твердого теплоносителя. В заданном интервале температур процесса окислительного пиролиза  $t_n = 700-850^\circ\text{C}$  минимум приведенных затрат в системе приходится на режим с параметрами  $t_n = 850^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{ТТ}} = 950^\circ\text{C}$ . Повышение величины  $Z_{\text{сист}}$  при увеличении температуры разогрева теплоносителя вызвано увеличением затрат на энерготехнологическом блоке, связанных с необходимостью снижения возрастающих тепловых потерь. Снижение же приведенных затрат системы при повышении температурного уровня процесса пиролиза объясняется тем, что повышается отпуск целевых химических продуктов от энерготехнологического блока, более экономичного по сравнению с коксохимическим заводом. При понижении температуры  $t_n$  недоотпуск потребителям химической продукции приходится компенсировать за счет отпуска от КХЗ газа, смолы и сырого бензола, себестоимость которых выше, чем у продуктов, отпускаемых от ЭТК, что приводит к повышению приведенных затрат в системе.

Полученные при технико-экономической оптимизации значения режимных параметров хорошо согласуются с результатами термодинамической оптимизации, проведенной по ранее разработанной методике [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гутчинский, Л.Ф. Использование продуктов термоокислительного пиролиза бурых Канско-Ачинских углей // Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: Материалы Межрегиональной научно-технической конференции. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2006. – С. 45.

2. Семенов, С.А. Методика эксергетического анализа установки термоокислительного пиролиза твердого топлива /С.А. Семенов, Л.Ф. Гутчинский // Вестник ИрГТУ. – 2005. – №4(24). – С. 60-64.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ИКЖТ (ИСКУССТВЕННОГО КОМПОЗИТНОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА) В ЦИКЛОННОМ ПРЕДТОПКЕ

А.И. Цепенюк<sup>1</sup>, Ю.В. Овчинников<sup>2</sup>, Ю.В. Стрижко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «КОТЭС-Наука», г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

В работе представлены результаты исследования горения ИКЖТ (искусственного композитного жидкого топлива) в циклонном предтопке. Задача исследования - отработать конструкцию горелочного устройства для сжигания ИКЖТ в промышленных котлах, определить основные характеристики горения ИКЖТ.

ИКЖТ представляет собой смесь кузнецкого каменного угля марки Д и воды в соотношении 60%: 40%, приготовленную при помощи диспергатора и кавитатора без добавления пластификаторов и других присадок.

Предтопок имеет форму цилиндра переменного диаметра, эскизно представленный на рисунке 1. При разработке предтопка в основу была взята конструкция мазутной горелки, разработанной Дальневосточным Техническим Университетом.

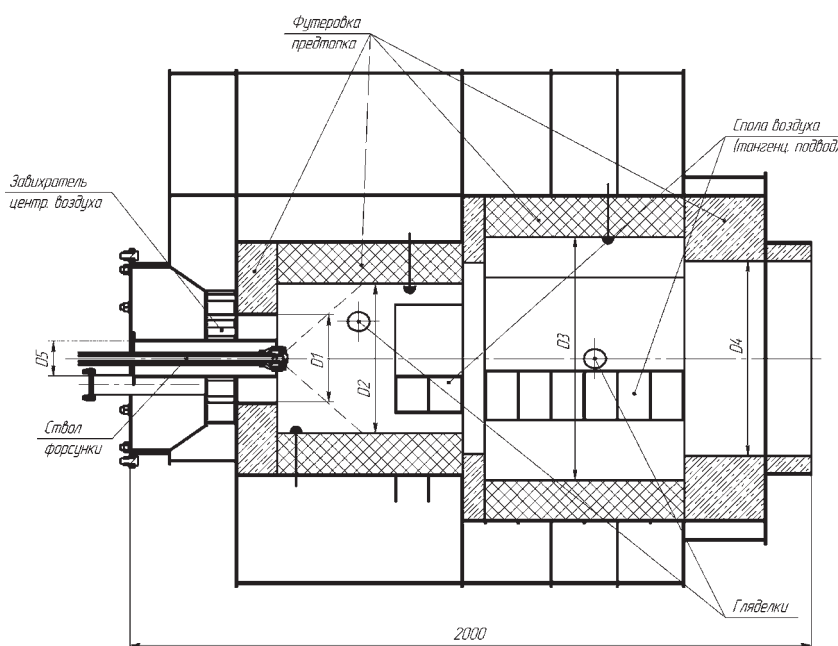


Рис. 1. Эскиз циклонного предтопка для сжигания ИКЖТ

Конструктивно предтопок условно разделен на три секции: камеру воспламенения, камеру основного горения и камеру дожига. Секции имеют разный диаметр и длину. Камера дожига имеет меньший диаметр по сравнению с камерой основного горения и, поэтому, является пережимом для первой, что должно обеспечить более длительное пребывание крупных частиц в зоне максимальных температур.

Ввод воздуха в предтопок производится тангенциально в первой и второй секциях. Всего по периметру секций имеется три равноудаленных тангенциальных ввода воздуха. На входе в камеру установлена вихревая горелка с центральной подачей первичного воздуха, оснащенная тангенциальным завихрителем. Растопка и разогрев камер осуществляется с помощью дизтоплива.

Для подачи ИКЖТ разработан и опробован на действующем проливочном стенде ряд форсунок.

Для обеспечения надежного воспламенения и сгорания предтопок футерован огнестойким кирпичом, способным выдерживать температуру до 1500 °С. Предтопок можно считать адиабатическим, поскольку теплопроводность футеровки составляет порядка 1-3 Вт/м<sup>2</sup>·К.

В работе представлены результаты испытаний на действующем демонстрационном стенде, являющимся прототипом описанной выше установки. Общий вид предтопка и фотография его внутренней части показаны на рисунке 2.

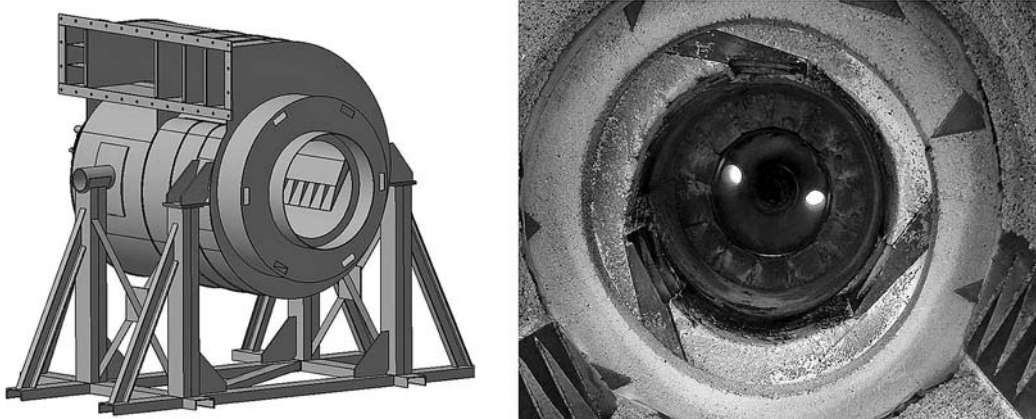


Рис. 2. Общий вид предтопка и фотография его внутренней части

В работе представлены результаты моделирования процессов сжигания растопочного и основного топлива в программном комплексе Fluent.

По результатам моделирования растопочное топливо способно создать в предтопке благоприятные условия для воспламенения ИКЖТ (температура стенок на уровне 500-1200 °С, наличие застойной высокотемпературной зоны у корня факела).

Показана возможность сжигания ИКЖТ в циклонном предтопке, определено оптимальное распределение воздуха, поля температур в осевом и поперечном сечениях, концентрации кислорода, летучих и оксидов азота. Определена эмиссия оксидов азота при сжигании ИКЖТ, составляющая 260 мг/нм<sup>3</sup>, и степень выгорания топлива на выходе из предтопка, равная ~91 %.

Данные по натурным испытаниям сопоставлены с результатами компьютерного моделирования и показывают их принципиальную сходимость.

Результаты выполненных исследований использованы для проекта перевода мазутных котлов КВГМ-35 на сжигание водоугольного топлива.

## ЭЛЕКТРО-ГИДРОИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

*В.Б. Кашкин, А.В. Юрьев, А.А. Щитников*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2020 г. предусмотрена разработка и внедрение оборудования для производства и транспортировки водоугольного топлива. Водоугольное топливо (ВУТ) применяется в качестве замены газа и/или мазута на котельных и тепловых агрегатах ТЭС. Наибольшее распространение ВУТ получило в Японии и Китае, технология позволит снизить стоимость и улучшить качество топлива. Благодаря практически полному выгоранию частиц угля в ВУТ вредные газообразные выбросы в атмосферу минимальны и сопоставимы с выбросами при сжигании газа [ 1 ] (табл. 1).

Таблица 1

**Выбросы в атмосферу при использовании различных видов топлива**

Вредное вещество в выбросах	Уголь	Мазут	ВУТ
Пыль, сажа, г/м <sup>3</sup>	От 100 до 200	От 2 до 5	От 1 до 5
SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	От 400 до 800	От 400 до 700	От 100 до 200
NO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	От 250 до 600	От 150 до 750	От 30 до 100

Водоугольное топливо производится путём последовательного измельчения угля до фракции приблизительно 200 мкм и меньше и смешения с водой. В зависимости от марки исходного угля содержание угля в ВУТ составляет от 57 до 70% (по массе). ВУТ производится из каменного угля различных марок и бурых углей. Низкая температура воспламенения ВУТ (450-650 °С) позволяет эффективно поддерживать горение угля в топке по сравнению с традиционным пылеугольным сжиганием. Транспортировка ВУТ возможна по трубопроводам, что снижает издержки по транспортировке топлива до потребителя [1]. Оптимальные параметры ВУТ приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Оптимальные параметры ВУТ**

Параметр	Область применения				
	Угольные ТЭС	Мазутные ТЭС	Котельные	ДВС	Газогенераторы
Содержание угля, % (по массе)	60...70	60...70	62...65	48...54	50...65
Средняя теплота сгорания, кДж/кг	21000	21000	21000	14600	18800
Размер частиц, мкм, не более	250	150	45	25	200

Обычно для приготовления ВУТ необходимо предварительное дробление исходного угля до фракции 10-12 мм, далее осуществляется помол дробленого угля. Механический помол на мельницах связан со значительными энергозатратами. Более эффективны мокрые методы помола, использующие кавитационную технологию получения ВУТ (КаВУТ) и гидроударную технологию (ГУУМП) [2]. Еще эффективнее электрогидроимпульсная технология (ЭГД), разрабатываемая в Сибирском федеральном университете и не требующая предварительного дробления (табл. 3).

Технология ЭГД основана на электро-гидроимпульсном эффекте Юткина [3]. В камеру, наполненную водой, помещается уголь, между электродами разрядника в жидкой среде происходит высоковольтный пробой, за время порядка 100 мкс протекает ток в несколько десятков кА,

Таблица 3.

**Сравнение различных технологий помола**

Характеристики	Вибромельницы ВМ 400	КаВУТ	ГУУМП	ЭГД (расчетные)
Производительность комплекса по готовому продукту, т/ч	1,5	30	10-12	От 5 до 60
Удельные энергозатраты на помол ВУТ, кВт·ч/т	55	30	8-10	менее 8

в межэлектродном пространстве испаряется вода, образуя в небольшом объеме облако перегретого пара давлением до ста тысяч атмосфер. Гидроудар разрушает уголь, образуется водоугольная суспензия. Размер фракций может регулироваться путем изменения параметров импульсов.

С использованием технологии ЭГД разработан и изготовлен макетный образец установки для получения ВУТ. Установка содержит два реактора цилиндрической формы диаметром 200 мм. В первом из них осуществляется дробление угля на фракции 2 мм, во втором – на фракции 200 мкм и менее. Данная технология отличается низким энергопотреблением и стоимостью, за счет немеханического измельчения угля обеспечивается высокая надежность работы установки. В процессе измельчения отсутствует легковоспламеняемая угольная пыль и шум, характерные при классических способах получения водоугольного топлива.

Ключевым элементом макетного образца является оригинальный генератор сильных импульсных токов. Использование тиратронов на парах меди позволило осуществлять точную регулировку длительности и периода повторения импульса и регулировку крупности частиц угля.

Эксперименты показали, что для разрушения угля марки Б1 массой 2,2 кг требуется 0,0347 кВт/ч электроэнергии, что при пересчете на 1 т угля составляет 1,7 кВт/ч и обеспечивает снижение стоимости ВУТ на 30%.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ризун А.Р., Голень Ю.В., Денисюк Т.Д. (Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев) Электроразрядная дезинтеграция бурого угля для изготовления водоугольного топлива.

2. Морозов А.Г. Гидроударные технологии в производстве водоугольного топлива. <http://www.tpribor.ru/gidroudteh.html>

3. Юткин А.Л. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности: -Л.: Машиностроение, 1966, с. 253



## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ДАЛЬНЕГО ТРАНСПОРТА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

*А.М. Клер, Э.А. Тюрина*

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

В настоящее время ряд крупных инвестиционных проектов связан с добычей, переработкой и дальним транспортом энергоносителей в различные регионы России и на экспорт. Здесь имеется в виду переработка с целью получения энергоносителей, имеющих более высокие потребительские свойства и меньшие затраты на транспорт. Реализация таких проектов требует создания технических систем, состоящих из взаимосвязанных объектов по добыче, переработке и транспорту энергоносителей. Часто для оптимизации технических решений, оценки экономической и коммерческой эффективности требуется рассматривать весьма сложные технические системы, реализующие некоторую совокупность инвестиционных проектов, поскольку отдельные проекты используют ресурсы одного месторождения, ориентированы на общий рынок энергоносителей или имеют общие ветви транспортных систем. В настоящее время комплексное исследование технических систем добычи, переработки и транспорта энергоносителей (ТСДПТЭ) производится, как правило, на основе линейных математических моделей и линейных методов оптимизации. Между тем ряд важных технологических процессов, протекающих в различных элементах ТСДПТЭ и оказывающих значительное влияние на оптимальное решение, описывается нелинейными зависимостями. В первую очередь, это зависимости: между расходом перекачиваемой по трубопроводу среды и затратами энергии на ее перекачку и требуемой мощностью перекачивающих станций; между объемом передаваемой по линии электропередачи энергии и потерями энергии в линии; между суммарным с начала эксплуатации отбором газа от месторождения, пластовым давлением и текущей производительностью газовых скважин.

Другой важной особенностью задач оптимизации ТСДПТЭ является то, что капиталовложения, эксплуатационные издержки, максимальная производительность и другие технико-экономические характеристики достаточно точно известны только для конечного числа типоразмеров оборудования, а в «промежуточных» точках между этими типоразмерами отсутствуют. Это затрудняет использование при исследовании наиболее развитых методов анализа систем с непрерывными параметрами.

Из вышесказанного следует, что при оптимизации ТСДПТЭ должны учитываться *нелинейный* характер технологических процессов и *дискретный* характер некоторой части технико-экономической информации. Кроме того, необходимым требованием к подобным задачам является рассмотрение развития ТСДПТЭ *в динамике* с выделением нескольких расчетных интервалов времени.

В силу сложности комплекса технических объектов, который необходимо рассматривать при исследовании ТСДПТЭ и обусловленного этим большого числа параметров, подлежащих выбору, и большого числа ограничений, требующих учета, получение приемлемых (технически допустимых и достаточно близких к оптимальным) решений на основе анализа результатов многовариантных расчетов представляется малоэффективным. Здесь требуется проведение оптимизационных расчетов, которые сводятся к решению нелинейных задач математического программирования, а также использование специальных методов моделирования, отличающихся от традиционных методов построения линейных моделей.

С нашей точки зрения, для таких задач весьма эффективными могут быть успешно развиваемые в ИСЭМ СО РАН на протяжении нескольких десятилетий методы математического моделирования и оптимизации теплоэнергетических установок и других сложных технических систем непрерывного действия. Они позволяют автоматически формировать весьма сложные нелинейные математические модели и решать задачи математического программирования достаточно большой размерности.

Целью данной работы является разработка подхода к исследованию ТСДПТЭ на основе нелинейных математических моделей и нелинейных методов оптимизации.

В настоящее время в ИСЭМ СО РАН создан набор нелинейных математических моделей элементов ТСДПТЭ. При создании этих моделей необходимо было, с одной стороны, отразить основные процессы, влияющие на оптимальные решения по отдельным объектам и системе в целом, а с

другой стороны, не создавать модели излишне подробными, требующими задания слишком большого объема исходной информации. На примере оптимизации в динамике достаточно сложной системы, включающей четыре месторождения природного газа, двенадцать участков трубопроводной сети, два предприятия по переработке природного газа в метанол и электроэнергию и семь потребителей энергоносителей, проиллюстрированы возможности предлагаемого методического подхода и разработанных математических моделей элементов ТСПТЭ и системы в целом.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

*Г.В. Кузнецов, А.Н. Субботин*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия

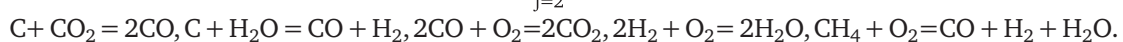
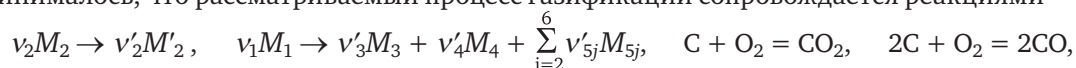
Технология подземной газификации угля (ПГУ) – нетрадиционный способ разработки угольных месторождений, открывающий новые возможности в отработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания [1]. Все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с земной поверхности, без применения подземного труда работающих, а разработка месторождения происходит экологически приемлемым способом [1].

В настоящее время практически во всех крупных угледобывающих странах мира резко возрос интерес к подземной газификации угля. Интенсивные работы исследовательского и практического характера проводятся в Китае, где в последние годы построено несколько промышленных станций подземной газификации угля, в Австралии, где в 2003 году построено крупное предприятие данного профиля [2]. Проявляется активный интерес к этой технологии в России и таких странах, как Индия, КНДР, Южная Корея и многих других. Но, несмотря на перспективность рассматриваемой технологии ПГУ, известны немногочисленные примеры её практической реализации. Это обусловлено в первую очередь отсутствием теории процессов теплообмена в угле при его газификации под землей. Выбор основных технологических режимов реализации ПГУ невозможен путем только экспериментальных исследований рассматриваемого процесса. Необходимо создание теории процесса ПГУ на базе математических моделей, учитывающих комплекс основных процессов теплообмена, протекающих при подземной газификации.

### Физическая постановка задачи

Возможны различные технологические схемы реализации технологий ПГУ. В качестве примера выбрана одна из простейших. Рассматривается угольный пласт глубиной  $H$ , в котором пробурена скважина и введена труба. Через отверстия на боковой стенке у нижней или верхней поверхности угольного пласта подается, подогретый до температуры  $T_0$  сухой или влажный воздух. Через отверстия на боковой поверхности внешней трубы, образовавшиеся газы выводятся из угольного пласта во внешнюю среду. Ставится задача определить состав газа, образующегося при газификации (на выходе из наружной трубы скважины) в зависимости от содержания водяного пара в дутье, температуры и давления газификации. Выявить определяющие гетерогенные и гомогенные реакции при тех или иных условиях газификации.

При прогреве, пиролизе и газификации типичных углей в зависимости от температуры процесса может протекать достаточно много различных реакций [4–8]. В предлагаемой постановке принималось, что рассматриваемый процесс газификации сопровождается реакциями



Совокупность этих реакций будет определять состав образующегося газа, как в области газификации, так и на выходе из скважины.

Первое уравнение описывает процесс испарения воды ( $v_2M_2$ ) и превращения ее в пар ( $v'_2M'_2$ ), второе – процесс пиролиза твердого топлива. Твердое топливо разлагается на конденсированные и газообразные продукты пиролиза.

### Математическая постановка задачи

При постановке задачи принимается, что в угольном пласте отсутствуют неоднородности, а условия тепло – и массообмена, вдоль верхней и нижней поверхности не изменяются, тогда задачу целесообразно решать в цилиндрической системе координат. Начало координат расположено на оси трубы, ось  $\bar{r}$  направлена вдоль верхней или нижней границы угольного пласта, а ось  $\bar{z}$  от области подачи паровоздушной смеси вглубь пласта. Учитываются испарение влаги, разложение угля, гетерогенные и гомогенные реакции записанные выше. Тогда система уравнений, моделирующая рассматриваемые процессы будет иметь вид [3]. Данная система включает в себя – законы сохранения массы исходного конденсированного вещества (угля), влаги, кокса и золы; уравнение сохранения массы газовой фазы, уравнения сохранения массы отдельных компонентов газовой фазы (кислорода, оксида углерода, диоксида углерода, водорода, метана, водяного пара); уравнение сохранения энергии; уравнение движения в форме Дарси в проекциях на оси координат  $r, z$ , уравнение состояния; соответствующие начальные и граничные условия.

### Результаты численных исследований

При численном решении задачи вычислялись все характеристики газифицируемого топлива: распределения температуры, объемных долей влаги, конденсированных и газообразных продуктов пиролиза, массовых концентраций газообразных компонентов, давления, поля скорости. Теплофизические и кинетические константы для численных расчетов были взяты из работ [4-12]. В результате были установлены закономерности реализации различных схем процесса газификации (подвода тепловой энергии и паровоздушной смеси в слой угольного пласта). В качестве примера рассмотрены две схемы газификации: – зажигание и подача паровоздушной смеси в нижнюю часть пласта; подвод тепловой энергии и паровоздушной смеси в верхнюю часть пласта. Следует отметить, что концентрация горючего газа очень сильно зависит от концентрации водяного пара в дутье и температуры газификации. Разработанные модели и методы позволяют осуществлять прогностическое моделирование физико-химических процессов, протекающих при подземной газификации углей и разрабатывать технические решения и технологические схемы реализации этих решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Востриков А.А., Псаров С.А., Дубов Д.Ю., Федяева О.Н., Сокол М.Я. Газификация каменных углей водой при сверхкритических условиях // Химия твердого топлива. 2007. №4. С. 29–38.
2. Крейнин Е.В., Зоря А.Ю. Проблемы подземной газификации углей // Химия твердого топлива. 2009. №4. С. 22–26.
3. Субботин А.Н. О некоторых особенностях распространения подземного пожара // Инженерно-физический журнал. 2003. Т.76, №5. С. 159–165.
4. Голубкович А.В., Систер В.Г., Порев И.А., Чижиков А.Г. Расчет пиролиза растительных материалов в высоком слое // Промышленная энергетика. 2010. №1. С. 53–55.
5. Померанцев В.В. и др. Основы практической теории горения. Л.: Энергия, 1986. 309 с.
6. Щетинков Е.С. Физика горения газов. М.: Наука, 1965. 740 с.
7. Гагарин С.Г., Головин Г.С., Польшалиев А.М. Вещественный состав и реакционная способность фракций угля различной плотности // Химия твердого топлива. 2006. №1. С. 12–39.
8. Лаштван И.И., Фамешин П.Л., Дударчик В.М., Кожурин В.Н., Ануфриева Е.В. Пиролиз бурых углей Бриневского месторождения республики Беларусь // Химия твердого топлива. 2009. №3. С. 20–25.
9. Коновалова Ю.В., Трифанов В.Н., Гюльмалиев А.М., Гагарин С.Г., Султангузин И.А. Кинетика термической деструкции компонентов угольной шихты // Химия твердого топлива. 2004. №4. С. 3–16.
10. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К.П. Мищенко, А.А. Равделя. Л.: Химия, 1967. 182 с.
11. Теплотехнический справочник. / Под ред. В.Н. Юренева, Н.Д. Лебедева. М.: Энергия, 1976. 896 с.
12. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей М.: Наука, 1972. 720 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

*О.Н. Медведева, Н.Н. Осипова*

ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет», г. Саратов, Россия

В настоящее время по сравнению с другими видами органического невозобновляемого топлива наиболее сервисными, экологическими и удобными в использовании являются на перспективу природный и сжиженный газы. К числу приоритетных направлений инженерного сервиса населенных пунктов относятся системы топливо-энергоснабжения, на долю которых приходится наибольшие капиталовложения и расходы энергетических ресурсов.

Важным резервом повышения экономичности региональных систем газоснабжения является оптимальная централизация последних на базе газораспределительных станций (ГРС) и газонаполнительных пунктов (ГНП) с последующей реализацией СУГ потребителю через баллонные и резервуарные установки. Оптимальное решение данных задач позволяет значительно сократить затраты в систему газоснабжения.

Как правило, количество населенных пунктов, подключаемых к одной ГРС (ГНП), принимается без должного экономического обоснования по соображениям технического (технологического) характера и не всегда учитываются географические, климатические, геологические особенности газоснабжаемой территории, местоположение населенных пунктов, объемы их газопотребления и другие немаловажные факторы. Результаты проведенных исследований показывают, что интервал радиуса действия ГРС и ГНП определяется минимумом интегральных затрат в систему, который в первом случае определяется затратами в сооружение и эксплуатацию межпоселковых газопроводов, во втором случае – затратами в доставку газа потребителям. Результаты проведенных исследований [1,2] показывают, что интервал радиуса действия ГРС и ГНП определяется минимумом интегральных затрат в систему, который в первом случае определяется затратами в сооружение и эксплуатацию межпоселковых газопроводов, во втором случае – затратами в доставку газа потребителям. В реальном диапазоне изменения плотности населения на газоснабжаемой территории допустимый интервал изменения площади газоснабжаемой территории составляет 450-5000 км<sup>2</sup>, что соответствует площади большинства административных районов субъектов Российской Федерации.

Для решения поставленной задачи создан и используется программный комплекс, учитывающий проектные особенности населенных пунктов и систем газоснабжения. Такой подход обеспечивает не только экономические преимущества систем газоснабжения за счет их оптимальной централизации, но также создает благоприятные предпосылки по совершенствованию организационной структуры газораспределительной системы за счет закрепления ГРС и ГНП за соответствующими газовыми хозяйствами.

В качестве исходных данных для решения задачи оптимальной централизации газораспределительной системы принято:

- количество населенных пунктов на территории административного региона –  $n$ ;
- годовое потребление газа  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n, \dots, Q_i$ .

При этом годовые затраты по снабжению потребителей от ГРС и ГНП до  $i$ -го населенного пункта определяются зависимостью:

$$Z_i = f(l_i, Q_i, d_i), \quad (1)$$

где  $l_i$  – дальность доставки СУГ по автомобильным дорогам до  $i$ -го населенного пункта или длина  $i$ -го межпоселкового газопровода, км;

$Q_i$  – годовое потребление газа  $i$ -м населенным пунктом, т/год;

$d_i$  – диаметр  $i$ -го межпоселкового газопровода, см.

Моделирование производится путем нанесения на план территории административного района координатной сетки и фиксации координат потребителей газа:  $x_1y_1, \dots, x_iy_i, \dots, x_ny_n$ . Координаты посадки ГРС и ГНП обозначаются через  $x$  и  $y$ .

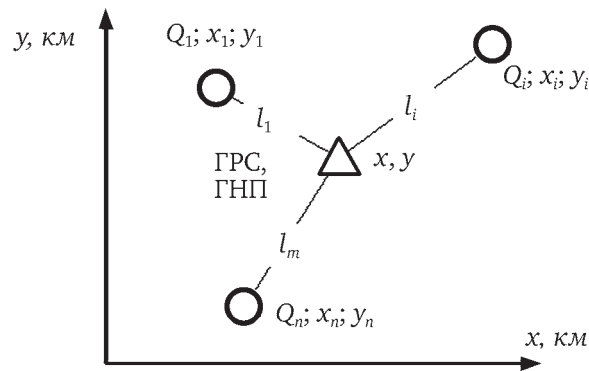


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Оптимальному решению задачи соответствует условие:

$$Z = \sum_{i=1}^m Z_i = \min. \quad (2)$$

Минимум затрат целевой функции  $Z$  определяется дифференцированием по управляющим параметрам  $x$  и  $y$ :

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial Z}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Решая полученную систему уравнений, находим оптимальные значения управляющих параметров (координаты местоположения ГРС и ГНП)  $x_{opt}$ ;  $y_{opt}$ . Для решения поставленной задачи создан и используется программный комплекс, учитывающий проектные особенности населенных пунктов и систем газоснабжения.

Внедрение предлагаемого метода моделирования систем газоснабжения позволит, уменьшить конечную стоимость доставляемого продукта, а, следовательно, повысить эффективность систем энергоснабжения на базе природного и сжиженного газов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Осипова Н.Н. Централизация региональных систем снабжения сжиженным газом. Материалы второй международной технической конференции/Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. М: МГСУ, 2007. С.322-327
2. Курицын Б.Н., Медведева О.Н. Выбор источника газоснабжения межпоселковых систем природного газа // Научно-технический журнал Инженерные системы, АВОК-Северо-Запад, №3, Санкт-Петербург: НПСЗ Центр АВОК, 2007. С.82-84.



# ПОТЕНЦИАЛ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

*А.А. Кибарин, Т.В. Ходанова*

Алматинский институт энергетики и связи, г. Алматы, Республика Казахстан

В процессе эксплуатации происходит «старение» газоперекачивающих агрегатов, которое всегда сопровождается необратимыми процессами ухудшения их технического состояния. Интенсивность этих процессов зависит от условий эксплуатации, режима работы, качества ремонта и влияния внешней среды. При этом изменяются не только теплотехнические характеристики газоперекачивающих агрегатов (ГПА), но и, как показали исследования [1], экологические параметры, характеризующие содержание оксидов азота и углерода в продуктах сгорания.

Основные технико-экономические показатели ГПА, как показала паспортизация компрессорных станций магистрального газопровода (МГ) «Средняя Азия Центр», проведенная в 2006-2008 гг. ТОО «ЭкоЭнергоГаз» совместно с Алматинским институтом энергетики и связи, на данное время таковы: мощность ниже номинальной на 10-20% (для ряда агрегатов снижение мощности составляет 30-50%); КПД ниже паспортных значений на 20-35%; ремонтные затраты достигают 5-10% от стоимости ГПА [2].

КПД газотурбинной установки (ГТУ) связан с коэффициентом технического состояния (КТС), который является одним из основных показателей эффективности работы ГПА. При низком КТС ГТУ увеличивается удельный расход топлива, снижается максимально возможная мощность ГТУ, падает КПД. В практике эксплуатации ГПА принято, что если КТС ГТУ по мощности ниже 0,8, то агрегат необходимо выводить в ремонт. Значительная часть агрегатов имеют КТС ниже предельного значения, а среднее значение КТС по компрессорной станции (КС) находится на уровне 0,77, что является достаточно низким показателем.

Проведенные расчеты по определению удельных расходов топлива на ГТУ показали, что для большинства агрегатов удельный расход топлива выше паспортных значений, для некоторых агрегатов удельный расход условного топлива доходит до 0,8 кг/кВт·ч при нормативном для ГТ-750-6 – 0,66 кг/кВт·ч, для ГТК-10-4 – 0,62 кг/кВт·ч.

Реконструкция и ремонт агрегатов находящихся в зоне эксплуатации нежелательна позволит довести их КТС до уровня 0,9-0,98, при этом существенно повысится КПД установок, удельный расход топливного газа на ГТУ снизится в среднем на 0,1-0,15 кг/кВт·ч. Средний потенциал снижения расхода топливного газа составляет 10-15%.

Многие причины снижения технико-экономического состояния ГПА связаны с техническим состоянием и недостатками конструкции регенератора и камеры сгорания:

- негерметичность воздушного тракта существующих пластинчатых регенераторов из-за конструктивного несовершенства компоновки секций воздухопроводов, обуславливает снижение мощности и КПД газотурбинной установки (ГТУ) и повышение неравномерности температурного поля перед турбиной высокого давления (ТВД). Относительная величина утечек воздуха из секций регенераторов порядка 1-2% соответствует относительным потерям мощности ГТУ на 4% и КПД на 2%;

- увеличение неравномерности температурного поля продуктов сгорания перед ТВД из-за утечек воздуха из регенераторов и некачественной подготовки и сгорания топливного газа обуславливают деформацию конструктивных элементов горячего тракта ГТУ, вызывает коррозию лопаточного аппарата, снижение мощности и КПД ГТУ. проблема снижения неравномерности температурного поля за камерой сгорания чрезвычайно актуальна;

- увеличение гидравлического сопротивления выхлопного тракта вследствие утечек из регенератора, приводит к снижению мощности и КПД ГТУ. При значениях сопротивления на выходе 400 мм вод.ст. снижение мощности составляет 6-7% и КПД до 4%;

- некачественная подготовка топливного газа, из-за чего происходит разрушение конструкции камеры сгорания и проточной части ГТУ.



Из различных дефектов, имеющих в пластинчатых воздухоподогревателях наибольшее отрицательное влияние на мощность и экономичность ГТУ оказывают образующиеся неплотности в воздушной полости, приводящие к потере рабочего тела. Потеря рабочего тела приводит к снижению степени регенерации и КПД ГПА.

При замене пластинчатого регенератора на трубчатый сопротивление уменьшается на 100-130 мм вод. ст., степень регенерации возрастает в среднем на 0,05-0,08. Таким образом, только за счет замены регенератора при реконструкции можно повысить КПД установки в среднем на 2%, а мощность на 2,5%.

Опыт эксплуатации газоперекачивающих агрегатов ГТК-10-4 показал, что штатная камера сгорания отличается крайней ненадежностью (наработка на отказ камеры сгорания может составлять менее 20 тысяч часов). Выбросы оксидов азота штатных камер сгорания могут превышать требования «ГОСТ 28775-90 «Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия» более чем в 2 раза [1, 2].

Проведение работ по модернизации камеры сгорания, связанных со снижением выбросов оксидов азота, повышением надежности и заменой элементов камеры сгорания, приводит, кроме того, к снижению неравномерности температурного поля перед турбиной высокого давления и повышению экономичности агрегата. После модернизации мощность увеличивается на 0,5-1,5 МВт, а КПД в среднем на 2%.

Выполнение ремонтов и модернизации ГТУ позволит повысить КПД в среднем 4-5%. Многолетний опыт проведения инструментальных обследований газотранспортного оборудования МГ «Средняя Азия Центр» показал, что повышение КПД газоперекачивающих агрегатов на 1% приводит к снижению расхода топливного газа в среднем на 1,1%. Повышение КПД в среднем на 4% в пределах одной компрессорной станции даст экономию порядка 8,4 млн м<sup>3</sup> в год.

На энергетическую эффективность работы ГПА влияет режим работы нагнетателя, поскольку ГТУ и нагнетатель неразрывно связаны силовым валом. Результаты выборки по политропному КПД для всех обследованных ГПА находящихся в работе в период проведения мониторинга показали, что на ряде КС агрегаты работают с политропным КПД 0,6-0,7 практически круглый год, что соответствует неоптимальным режимам работы нагнетателей, и вызывает повышение расхода топливного газа.

По результатам проведенных энергоаудитов на КС МГ «Средняя Азия Центр» было установлено, что значительный потенциал сбережения топливного газа заключается в оптимизации режимов работы ГПА. Согласование режимов работы нагнетатель-трубопровод при оптимальном значении политропного КПД, правильного использования схем включения нагнетателей позволит экономить порядка 8-10% топливного газа. Оптимизация режимов работы ГПА позволит снизить расход топливного газа на одной компрессорной станции на 20 млн м<sup>3</sup>/год.

Таким образом, комплексная модернизация и оптимизация загрузки ГПА позволит снизить расход топливного газа в среднем на 15%, снизить удельные выбросы оксидов азота минимум на 150-200 мг/м<sup>3</sup>, что для одной турбины составляет порядка 950 усл. тонн выбросов в год, повысить надежность работы ГПА.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кибарин А.А. Оценка экологической безопасности работы газотурбинных установок. – В мире научных открытий. Красноярск: НИЦ, 2009. №5, – С.147-151.
2. Кибарин А.А., Ходанова Т.В. Повышение экологической безопасности газоперекачивающих компрессорных станций за счет модернизации ГПА. – Современные наукоемкие технологии. Москва, 2009. №11. – С. 35-37.

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ОКУСКОВАННОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ БУРОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА ИЗ УГЛЕЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА

*В.М. Динельт<sup>1</sup>, В.М. Страхов<sup>2</sup>, В.И. Ливенец<sup>1</sup>, А.Е. Аникин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

<sup>2</sup> Кузнецкий филиал Восточного научно-исследовательского углехимического института,  
г. Новокузнецк, Россия

Канско-Ачинский бурогольный бассейн (КАБасс) по запасам углей, мощности пластов, низкой себестоимости добычи и т.д. является уникальным не только в России, но и в мировом масштабе.

Однако бурым углям КАБасса, как, впрочем, и другим бурым углям, присущи определенные недостатки (высокая влажность рядовых углей – 30-40% и более, рассыпаемость при хранении и др.), которые сдерживают их широкое распространение в качестве топлива. Считается, например, что их транспортирование на расстояния свыше 250-300 км от места добычи нецелесообразно.

Работами советских ученых (З.Ф. Чуханова, П.З. Шубеко и др.), выполненными во второй половине XX столетия, была показана возможность и технико-экономическая эффективность значительного улучшения потребительских свойств бурых углей путем их термического облагораживания с получением бертинированного топлива (в основном, лишённого высокой влажности) или бездымного обуглероженного твердого продукта их пиролиза – полукокса (БПК). Тем не менее, в данном случае остается весьма проблематичным вопрос транспортирования на дальние расстояния термически облагороженных бурогольных топлив, ввиду их высокой дисперсности.

Изучена возможность получения окускованного методом «холодного» брикетирования мелкозернистого БПК из углей Березовского месторождения КАБасса<sup>1</sup>. При этом была применена экологически безопасная и энергосберегающая малооперационная технология процесса, исключая предварительную сушку мелкозернистого исходного углеродистого сырья, а также предусматривающая его смешение со связующим и прессование смесей при низких температурах (20-30 °С) благодаря использованию водорастворимых связующих материалов – растворов жидкого стекла, концентратов лигносульфонатов и мелассы. Упрочнение сырых отпрессованных брикетов осуществлялось посредством их «мягкой» сушки в течение 60-120 мин. при температурах газообразного теплоносителя (подогретый воздух или сбросные дымовые газы) в пределах 120-140 °С. Наиболее подходящим агрегатом для реализации этого процесса в промышленных условиях являются ленточные сушилки.

В ходе работы зафиксирован ряд особенностей получения качественных брикетированных материалов на основе БПК с использованием описанной выше технологии процесса. Так, ввиду высокой внутренней поверхности БПК требуемый расход связующих при его брикетировании составлял ~ 20%, что в 2 раза превышало таковой при получении брикетов из каменноугольной коксовой мелочи и пыли и в 3 раза – при получении брикетов из угольных шламов. Расход связующих может быть снижен до 15% при частичной (на 30-50%) замене БПК на кузнецкие угли энергетических марок (Г, Д, Т и др.).

Оптимальная влажность брикетируемых смесей на основе БПК при указанных расходах связующих составляет ~ 25%, что требует либо предварительной пропитки водой БПК, либо заметного разбавления жидких связующих. Кроме того, с целью получения более плотных и прочных брикетов рекомендуется использовать БПК с крупностью зерен не более 200-300 мкм.

При давлении прессования 35 (в отдельных случаях 100) МПа и с учетом отмеченных особенностей нами были получены образцы брикетов с диаметром 54 и 20 мм, обладающие достаточно хорошими качественными характеристиками. Так, брикеты из БПК с добавлением 20% связующих имели следующий технический состав (%):  $W_1^r = 7,2 \div 8,3$ ;  $A^d = 9,0 \div 16,9$ ;  $V^{daf} = 13,3 \div 18,0$ ;  $S_1^d = 0,2 \div 0,95$ . Их низшая теплота сгорания  $Q_1^r$  составляла  $22,5 \div 24,6$  МДж/кг против  $15,0$  МДж/кг

<sup>1</sup> Пробы БПК получены на опытно-промышленной установке с «кипящим» слоем в котельной разреза «Березовский» по технологии ЭТК «Сибтермо» (г. Красноярск).

у рядовых углей КАБасса. Ударная прочность таких брикетов составила 83,5-95,0%, а прочность на сжатие 8,1÷12,6 МПа. Брикеты с использованием в качестве связующих мелассы и концентрата лигносульфонатов оставались достаточно прочными и при нагреве в инертной среде при 900 °С.

Брикеты из смеси БПК и кузнецких углей марок Г, Д и Т (50:50 и 70:30) с добавлением 15 % связующих имели следующий технический состав (%):  $W_{t^r} = 5,4\div7,4$ ;  $A^d = 7,0\div14,3$ ;  $V^{daf} = 13,6\div31,3$ ;  $S_{t^d} = 0,18\div0,87$ . Теплота сгорания этих брикетов  $Q_{t^r}$  составляла 23,5÷26,7 МДж/кг, а их ударная прочность – 83,5÷99,2 %.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что брикеты на основе БПК являются высококачественным калиброванным транспортабельным топливом, которое может с успехом использоваться не только для коммунально-бытовых нужд (котельные), но и технологических нужд (например, в шахтных печах черной и цветной металлургии). Уникальные физико-химические свойства БПК – высокая реакционная способность и удельное электросопротивление позволяют рассчитывать на эффективность применения подобных брикетов в качестве углеродистого восстановителя в химической электротермии (например, в ферросплавном производстве). Последнее было подтверждено в ходе опытных плавок в крупнолабораторной электропечи (100 кВ·А), проведенных нами совместно с кафедрой электрометаллургии СибГИУ.

Технико-экономические расчеты показали, что брикеты на основе БПК, полученные по предложенной нами технологии, в условиях юга Красноярского края, а в некоторых случаях и Кемеровской области, будут иметь сравнимую или даже несколько меньшую стоимость, чем кузнецкие сортовые угли марок СС и Т.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Динельт В.М. Получение безобжиговых брикетов на основе мелкозернистого бурого угольного полукокса из углей Канско-Ачинского бассейна / В.М. Динельт [и др.] // Кокс и химия. – М.: Металлургия, 2008. – №9. – С. 50-56.
2. Динельт В.М. Малооперационная технология получения брикетов из тонкодисперсных углеродистых материалов и отходов / В.М. Динельт [и др.] // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2007. – № 6. – С. 61-63.

## ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭКОНОМИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ РЕГИОНА

*В.Н. Чурашев<sup>1</sup>, Н.И. Суслов<sup>1</sup>, В.М. Маркова<sup>1</sup>, Г.В. Чернова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт экономики и ОПП СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Специфической чертой ТЭК является то, что весьма капиталоемкие решения о строительстве большинства энергетических объектов необходимо принимать задолго до возникновения реального спроса. Отсутствие системного видения будущего энергетики обуславливает потенциальные экономические потери (торможение экономического роста, замораживание значительных основных фондов).

Топливо-энергетические балансы (ТЭБ), содержащие системную информацию о перетоках всех видов топливных ресурсов и энергии между стадиями добычи, преобразования, транспорта, распределения, хранения и конечного использования, могут выполнять интегрирующую функцию в системе прогнозирования ТЭК России и ее регионов, обеспечивая непротиворечивость системы энергетических прогнозов в технологическом (отрасли/ТЭК) и территориальном (субъекты РФ/федеральные округа /страна) разрезе.

В настоящее время не существует методики разработки региональных ТЭБ, утвержденной Правительством РФ и поддержанной соответствующим нормативно-законодательным обеспечением. Используемые в практике методики составления прогнозных ТЭБ базируются на подходе, основанном на применении упрощенных эконометрических моделей на базе интерпретации эластичности электропотребления по ВВП в ретроспективном периоде. Главный их методический недостаток – несбалансированность получаемых результатов.

На наш взгляд, для исследования взаимодействия в системе «Экономика-Энергетика» предпочтительным является использование комплекса моделей, обязательно включающего модель межотраслевого баланса, которая позволяет исследовать систему взаимосвязей между использованием продукции, услуг, ресурсов для удовлетворения конечных потребностей общества и их производствам в разрезе отдельных продуктов, отраслей и сфер хозяйства с учетом эффективности производства. Также в комплекс моделей должны входить производственно-финансовые модели, описывающие согласованное развитие отраслей ТЭК, которые позволяют анализировать последствия принимаемых решений в части производственной, инвестиционной, ценовой, налоговой политики в этих отраслях.

Методика построения прогнозных региональных топливо-энергетических прогнозов, разработанная в ИЭОПП СО РАН, опирается на развитую в институте методологию проведения прогнозных расчетов на основе экономико-математического инструментария, объединяемого в систему СОНАР-ТЭК. На современном этапе эта система имеет весьма сложную и разветвленную структуру. Выделяется блок национальной экономики, включающий конструкции, охватывающий всю российскую экономику (модели ОМММ-ТЭК), блок региональных моделей, которые охватывают экономику отдельных зон и регионов, а также блоки отраслевых систем, в независимости от места (зоны, региона) их локализации. Модели отраслевого уровня информационно увязываются с моделью народнохозяйственного уровня ОМММ-ТЭК для формирования ограничений по величинам потребления топлива и энергии и лимиту расхода народнохозяйственных ресурсов. В блок моделей «ТЭБ региона» входят энергетические модели мезо- и регионального уровня: Энергетическая модель России, Модели перспективного развития ТЭК регионов, Отчетный и Прогнозный топливо-энергетические балансы регионов.

На основе разработанного инструментария проводились расчеты по анализу и прогнозированию производства и потребления топлива и энергии в Новосибирской области в рамках «Стратегии социально-экономического развития Новосибирской области до 2025 г.» (2007 г.) и «Концепции развития энергетики, повышения энергоэффективности и энергобезопасности Новосибирской области на период до 2015 года» (2009 г.).

Информационные потоки между моделями регионального уровня представлены на рисунке 1.

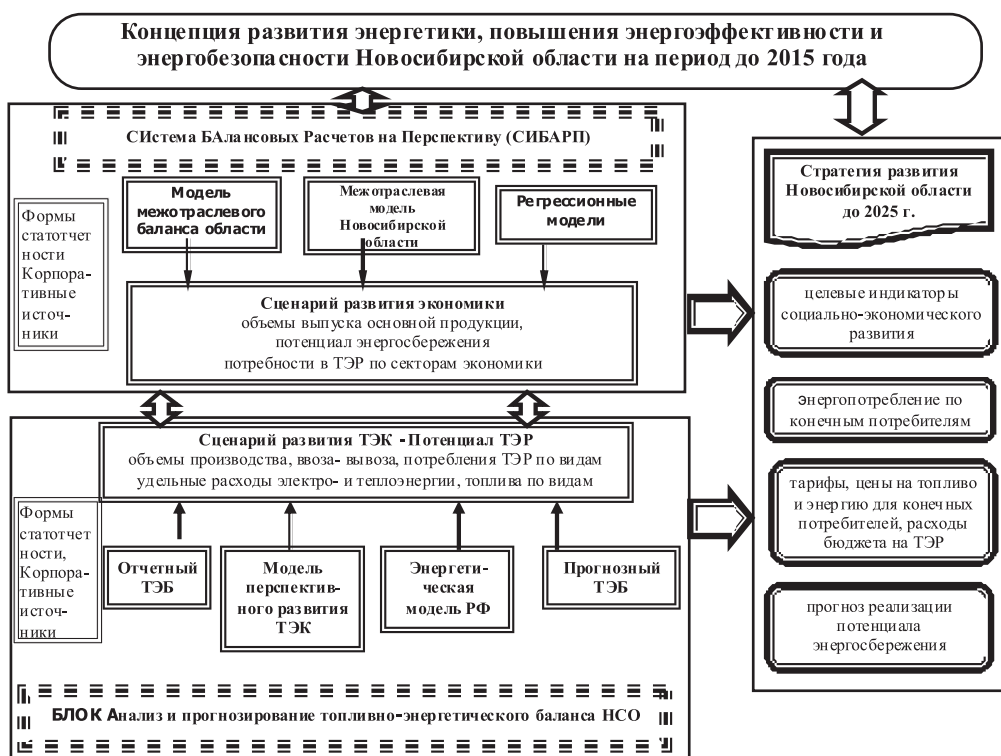


Рис. 1.

Проведенные расчеты показали, что Новосибирская область во все годы рассматриваемого периода будет оставаться топливодефицитным регионом. Антрацит и нефть будут вывозиться за пределы области и не могут рассматриваться в качестве топлива для местной энергетики. Структура потребления топлива будет изменяться к 2025 г. в сторону увеличения доли использования поставляемого из Тюменской и Томской областей газа с 15 до 22-32% и уменьшения доли красноярского бурого угля с 16 до 5-10%.

В энергосырьевом сценарии развития экономики потребность в электроэнергии в Новосибирской области может быть удовлетворена за счет собственной выработки без ввода новых станций. В инновационном сценарии обеспечение энергопотребления без строительства новых ТЭС возможно только при существенном росте величины импорта электроэнергии уже к 2015 году в размере до 2,5 млрд кВт·ч, что с учетом складывающегося напряженного баланса электроэнергии на оптовом рынке мощности и электроэнергии Сибири связано с высокой степенью риска. К 2030 г. объем дефицита электроэнергии на территории Новосибирской области может возрасти до 10 млрд кВт·ч, что однозначно обуславливает необходимость строительства новых ТЭС.

В целом в рассматриваемой перспективе регион может обеспечить себе достаточно прогрессивный баланс производства и потребления топливно-энергетических ресурсов, как за счет собственного производства, так и ввоза энергоносителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сибирь в первые десятилетия XXI века /отв. Ред. В.В. Кулешов. – Новосибирск: Изд-во ИЭ-ОПП СОРАН, 2008 – 788 с.
2. Стратегия социально-экономического развития Новосибирской области до 2025 года// Новосибирск, 2007, 237 с. <http://adm.nso.ru/ru/strateg/index.php>

## ПЕРСПЕКТИВА НОВЫХ ВИДОВ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ГОРЮЧИХ РЕСУРСОВ В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ КАЗАХСТАНА

*В.М. Ким*

АО «КазНИИ энергетики им. Ш.Ч. Чокина», г. Алматы, Казахстан

Рассматривается потенциал жидких и твердых горючих вторичных ресурсов Казахстана, оцениваемый в общем в миллионах тонн. Это, прежде всего, солома, нефтяные шламы, тяжелые мазуты, пеки, отходы химической промышленности и т.п.

Учитывая масштабы Казахстана и неравновесное распределение вторичных горючих ресурсов, разрабатываются составы и технологии производства твердого топлива с заданными физико-химическими свойствами, удобными для применения в коммунально бытовом секторе и энергетических котельных. Институтом также разрабатываются конструкции оборудования по производству твердого топлива.

Оценена доля вклада от внедрения данной программы в общем энергообеспечении и сокращения выбросов парниковых газов.

## РАСЧЕТ ПРОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ

*В.Н. Сызранцев, В.Н. Пермяков, В.В. Новоселов, С.Л. Голофаст*

ГОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,  
г. Тюмень, Россия

Сведение к минимуму опасности возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации газопроводов является важнейшей проблемой газовой инфраструктуры. Традиционные нормы и правила эксплуатации трубопроводов при оценке их прочностной надежности базируются на обеспечении повышенных, заложенных на этапе проектирования, запасов прочности [1]. Внутритрубная дефектоскопия газопроводов позволяет определить геометрические размеры коррозионных дефектов, после чего по методикам работ [2, 3] можно рассчитать степень опасности дефектов (неопасный, потенциально опасный, опасный). Однако отмеченные методики в своей основе используют детерминированный подход, который не позволяет оценить вероятность отказа исследуемых труб с коррозионными дефектами. В процессе эксплуатации трубы магистральных газопроводов подвергаются воздействию внутреннего давления, которое во времени не постоянно и в общем случае является величиной случайной с неизвестным законом распределения. Кроме этого, механические свойства металла труб также имеют статистический разброс. Таким образом, для повышения достоверности данных технического состояния имеющих коррозионные дефекты газопроводов, важно иметь методики, учитывающие случайный характер величин, входящих в расчетные зависимости и позволяющие, в конечном итоге, оценивать надежность трубопровода в зависимости от зафиксированных в ходе внутритрубной диагностики размеров дефектов. В настоящей работе рассматривается решение данной задачи на основе применения математического аппарата непараметрической статистики [4].

Воспользуемся результатами работ [2, 3], в которых представлены методики определения степени опасности выявленных коррозионных дефектов трубопровода. В качестве условия безопасной эксплуатации газопровода, участок которого осложнен наличием коррозионного дефекта, принимается следующее выражение:

$$\psi \cdot \sigma_{кц} \leq [\sigma_{кц}]. \quad (1)$$

Здесь:  $\sigma_{кц}$  – фактические кольцевые напряжения в трубе (МПа),  $[\sigma_{кц}]$  – допустимые кольцевые



напряжения (МПа) для материала трубы,  $\psi$  – коэффициент повышения напряжений в дефектном сечении трубы.

Левая часть выражения (1) имеет вид [3]:

$$S = \psi \cdot \sigma_{\text{кц}} = \left[ \frac{1 - \left( \bar{h} / \sqrt{A^2 + 1} \right)}{1 - \bar{h}} \right] \frac{p \cdot (D_n - 2 \cdot \delta)}{2 \cdot \delta}, \quad (2)$$

где обозначено:  $p$  – рабочее (нормативное) давление (МПа) в газопроводе,  $D_n$  – наружный диаметр трубы (мм),  $\delta$  – номинальная толщина стенки трубы (мм),  $\bar{h} = h/\delta$  – относительная глубина дефекта;  $h$  – максимальная глубина дефекта (мм);  $A$  – коэффициент, учитывающий влияние длины дефекта ( $L$ , мм) и рассчитываемый по формуле:

$$A = 0,893 \frac{L}{\sqrt{D_n \cdot \delta}}. \quad (3)$$

Для расчета величины  $[\sigma_{\text{кц}}]$  используется зависимость [2]:

$$[\sigma_{\text{кц}}] = \frac{m}{0,9 \cdot k_n} \cdot R_2^H. \quad (4)$$

Здесь  $m$  – коэффициент, учитывающий условия работы трубопровода;  $k_n$  – коэффициент надежности по назначению;  $R_2^H$  – нормативное сопротивление растяжению (сжатию) металла труб, принимаемое равным минимальному значению предела текучести.

Предположим, что давление в трубопроводе ( $p$ ) и предел текучести материала трубы ( $R_2^H$ ) являются величинами случайными. В этом случае из анализа условия (1), нетрудно видеть, что случайный характер его левой части при заданных геометрических параметрах трубы и известных геометрических размерах дефекта будет определяться законом распределения случайной величины  $p$ , а правой части – законом распределения случайной величины  $R_2^H$ .

Для определения закона распределения  $p$  воспользуемся выборкой значений  $p_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , ежедневно фиксируемых в течение года ( $n = 365$ ) на компрессорной станции. Используя методы непараметрической статистики, восстановим неизвестную функцию  $f_p(p)$  плотности распределения  $p$ . Для этого, на основании работы [4], представим функцию  $f_p(p)$  в виде:

$$f_p(p) = \frac{1}{n \cdot h_n} \sum_{i=1}^n K \left( \frac{p - p_i}{h_n} \right). \quad (5)$$

Здесь  $h_n$  – параметр размытости, а  $K \left( \frac{p - p_i}{h_n} \right)$  – ядерная функция:

$$K \left( \frac{p - p_i}{h_n} \right) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left( - \frac{\left( \frac{p - p_i}{h_n} \right)^2}{2} \right). \quad (6)$$

Для ядерной функции (6) близкое к оптимальному значение параметра  $h_n$  рассчитывается по формуле:

$$h_n = D_p \cdot n^{-\frac{1}{5}}, \quad (7)$$

где  $D_p$  – выборочная дисперсия, величина которой на основе имеющейся выборки значений  $p_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  определяется путем расчета по зависимости:

$$D_p^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( p_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \right)^2. \quad (8)$$

Оптимальная величина  $h_n^*$  параметра размытости устанавливается в процессе поиска максимума информационного функционала [4]:

$$J = \int \ln [K(p)] f_p(p) dp. \quad (9)$$

Его окончательный вид получим, раскрывая (9) на основе (5) и (6):

$$\max_{h_n} J = \max_{h_n} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \left[ \frac{1}{(n-1)h_n} \sum_{j \neq i}^{n-1} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left( - \frac{\left( \frac{p_i - p_j}{h_n} \right)^2}{2} \right) \right] \right\}. \quad (10)$$

Реализация изложенного алгоритма на основе данных ежедневной в течение года регистрации давления нагнетания на компрессорной насосной станции Богандинская  $p_i, i = \overline{1, n}$  ( $n = 365$ ), позволила определить функцию плотности распределения давлений  $f_p(p)$ , которая показана на рис. 1. При этом максимум функционала (10) достигнут при значении параметра размытости  $h_n^* = 0,04$ .

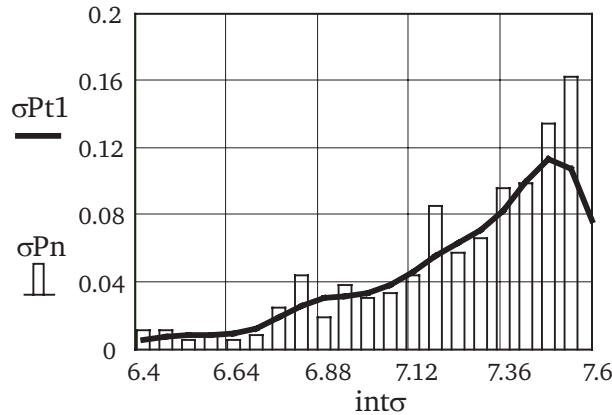


Рис. 1. Гистограмма распределения давлений нагнетания (ось абсцисс, МПа) в газопроводе и восстановленная путем решения задачи (10) функция  $f_p(p)$

Функция плотности распределения давлений  $f_p(p)$ , восстановленная в результате решения задачи (10), позволяет в соответствии с законом (5) организовать расчет выборки давлений  $P_j, j = \overline{1, N}$  любой другой длины ( $N$ ), отличной от  $n$ . Данная процедура реализуется непараметрическим датчиком случайной величины. Алгоритм его заключается в следующем. Воспользуемся тем, что если случайная величина  $V$  имеет равномерный закон распределения, а требуется получить случайную величину  $P$ , функция распределения которой  $F_p(P)$ , то для решения задачи необходимо использовать уравнение вида:

$$F_p(P) = V. \tag{11}$$

Поскольку  $F_p(P) = \int_0^P f_p(p) dp$ , то, раскрывая (11) на основе (5) и (6), получим:

$$\frac{1}{n \cdot h_n^* \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^{P_j} \sum_{i=1}^n \exp \left( -\frac{\left( \frac{p-p_i}{h_n^*} \right)^2}{2} \right) dp - V_j = 0. \tag{12}$$

Используя стандартную подпрограмму в системе MathCad, сформируем выборку случайных чисел  $V_j, j = \overline{1, N}$  равномерно распределенных на отрезке  $[0, 1]$ . После чего, решая  $N$  раз трансцендентное относительно  $P_j$  уравнение (12), получим выборку длиной  $N$  значений давлений  $P_j, j = \overline{1, N}$  в соответствии с установленным законом изменения давлений нагнетания, характеризуемым функцией  $f_p(p)$ .

Рассмотрим задачу восстановления функции плотности распределения  $f_s(S)$  случайной величины  $S$ , определяемой зависимостью (2). Для этого, имея выборку  $P_j, j = \overline{1, N}$ , по формуле (2):

$$S_j = \left[ \frac{1 - (\bar{h} / \sqrt{A^2 + 1})}{1 - \bar{h}} \right] \frac{P_j \cdot (D_n - 2 \cdot \delta)}{2 \cdot \delta}, \tag{13}$$

рассчитаем значения  $S_j, j = \overline{1, N}$ .

Воспользовавшись интегралом, аналогичным (10):

$$\max_{h_N} J = \max_{h_N} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \left[ \frac{1}{(N-1)h_N} \sum_{j \neq i}^{N-1} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left( -\frac{\left( \frac{S_i - S_j}{h_N} \right)^2}{2} \right) \right] \right\}, \tag{14}$$

установим значение  $h_N^*$ , при котором величина интеграла достигает максимума. В результате

определим искомую функцию плотности распределения левой части условия (1):

$$f_S(S) = \frac{1}{N \cdot h_N^* \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \sum_{i=1}^N \exp \left( -\frac{\left( \frac{S - S_i}{h_N^*} \right)^2}{2} \right) \quad (15)$$

Случайный характер правой части условия (1) – зависимость (4) – определяется случайной природой параметра –  $R_2^H$ . В том случае, когда имеются экспериментальные данные по величине предела текучести, полученные в процессе разрушения образцов на разрывной машине, вышеизложенный алгоритм позволяет методами непараметрической статистики восстановить неизвестную функцию плотности распределения случайной величины  $R_2^H$  и построить для нее непараметрический датчик [4]. Рассмотрим частный случай, когда величина  $R_2^H$  распределена по нормальному закону. Зададим среднее ( $\bar{R}_2^H$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $S_2^H$ ) случайной величины  $R_2^H$  для материала трубы:  $\bar{R}_2^H = 441$  МПа и  $S_2^H = 4$  МПа, и воспользовавшись стандартной подпрограммой системы MathCad, сформируем выборку  $R_{2j}^H, j = 1, N$  длиной  $N$  значений случайной величины  $R_2^H$ .

Функция плотности распределения правой части условия (1) –  $f_R(R)$  – на основании (4) описывается следующим выражением:

$$f_R(R) = \frac{1}{S_2^H \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\left( \frac{R - \frac{\bar{R}_2^H \cdot m}{0,9 \cdot k_H}}{S_2^H} \right)^2} \quad (16)$$

Возвратимся к условию (1). Проверка выполнения этого условия при восстановленных функциях плотности распределения его левой и правой частей, – соответственно зависимости (15) и (16), осуществляется в вероятностной постановке.

Для определения вероятности безотказной работы газопровода, участок которого осложнен коррозионным дефектом, при заданной величине его относительной глубины  $\bar{h}$  при наличии зависимостей (15), (16) и известных геометрических параметров трубы газопровода, необходимо вычислить интеграл следующего вида:

$$Q = \frac{1}{F_S \cdot F_R} \int_0^\infty \left( \int_0^\infty f_R(u+t) \cdot f_S(t) dt \right) du, \quad (17)$$

где  $F_S = \int_0^\infty f_S(u) du$ ;  $F_R = \int_0^\infty f_R(u) du$ .

Вероятность отказа, характеризующего при  $\bar{h} = const$  нарушение условия (1), рассчитывается путем взятия интеграла:

$$\bar{Q} = \frac{1}{F_S \cdot F_R} \int_0^\infty f_R(t) \cdot \left[ \int_0^\infty f_S(u) du \right] dt. \quad (18)$$

Расчет интегралов (17) и (18) выполняется численными методами. В качестве примера на рисунке 2 показаны функции  $f_S(S)$  и  $f_R(R)$  для трубопровода  $D_H = 1420$  мм;  $\delta = 16,5$  мм;  $\bar{h} = 0,64$ . Рассчитанные при этом величины  $Q$  и  $\bar{Q}$  имеют значения:  $Q = 0,865$ ;  $\bar{Q} = 0,135$ .

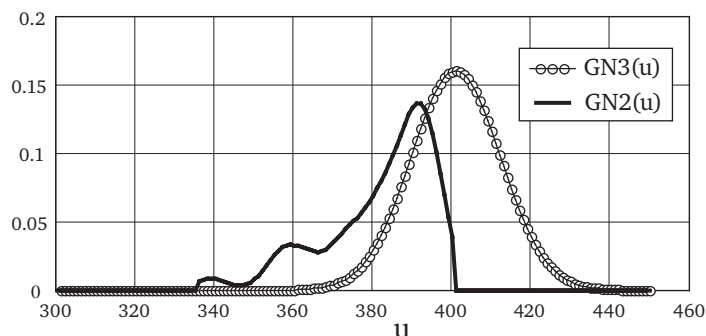


Рис. 2. Функции  $f_S(S)$  и  $f_R(R)$  при  $\bar{h} = 0,64$

На рисунке 3 представлены результаты расчета  $Q$  (штриховая линия) и  $\bar{Q}$  (сплошная линия) при варьировании величины  $\bar{h}$  от 0,6 до 0,76. Имея подобную информацию для любой принятой вероятности безотказной работы  $Q = const$  или вероятности отказа  $\bar{Q} = const$  устанавливается величина допустимой относительной глубины коррозионного дефекта  $\bar{h}$ , а затем и его фактическая глубина. Отметим, что графики рис. 3 получены для конкретных условий эксплуатации газопрово-

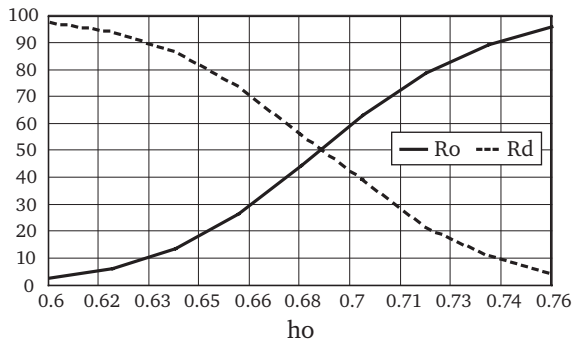


Рис. 3. Зависимости  $Q = Q(\bar{h})$  и  $\bar{Q} = \bar{Q}(\bar{h})$

да и при изменении условий его нагружения зависимости  $Q = Q(\bar{h})$  и  $\bar{Q} = \bar{Q}(\bar{h})$  трансформируются.

Рассмотренный подход к оценке прочностной надежности трубопровода легко распространяется на другие методики учета влияния коррозионных дефектов. Так, в работе [5] представлена модель расчета предельно допустимого внутреннего давления на дефектном участке трубопровода. В качестве критерия наступления предельного состояния трубы газопровода (диаметр трубы –  $D$ , толщина стенки трубы  $t$ ) имеющей коррозионный дефект длиной  $L$  и глубиной  $h$ , расположенный под углом  $\alpha$  к продольной оси трубы, принято условие [5]:

$$\sigma_n / (1 - \omega) \leq \sigma_g, \tag{19}$$

где  $\omega$  – параметр ( $0 \leq \omega \leq 1$ ), характеризующий степень поврежденности трубы, при  $\omega = 0$  в трубе повреждения отсутствуют,  $\omega = 1$  соответствует полному разрушению трубы;  $\sigma_n$  – номинальное напряжение, возникающее в неповрежденной трубе перпендикулярно оси дефекта [5],  $\sigma_g$  – предельное напряжение, допускаемое материалом трубы.

На основе анализа экспериментальных данных по разрушению внутренним давлением труб, имеющих поверхностные дефекты, в работе [5] параметр  $\omega$  предложено рассчитывать по следующему выражению:

$$\omega = \varepsilon \cdot (1 - e^{-\phi(\varepsilon) \cdot l}), \tag{20}$$

где  $\varepsilon = h/t$  – относительная глубина дефекта;  $l = L / \sqrt{D \cdot t}$  – относительная длина дефекта; функция  $\phi(\varepsilon)$  в зависимости от типа дефекта принимается в виде: для реальных трещин  $\phi(\varepsilon) = \sqrt{2}/(1 + \varepsilon)$ ; для гладких коррозионных дефектов  $\phi(\varepsilon) = \varepsilon^2/(1 + \varepsilon)$ ; для искусственных машинных надрезов  $\phi(\varepsilon) = m\varepsilon/(1 + \varepsilon)$ , где  $m$  – коэффициент, принимаемый равным  $m = 1$ , если ширина надреза больше  $0,5 \cdot t$  и  $m = 2$  при узком надрезе.

Для расчета вероятности безотказной работы (или отказа) трубопровода с коррозионным дефектом определенного типа на основе условия (19) с учетом выражения (20), следуя разработанному подходу, входящие в выражение (19) величины  $\sigma_g$  и  $\sigma_n$  (зависит от действующего при эксплуатации трубопровода давления  $p$ ) представляются как случайные, закон распределения которых восстановлен на основе методов непараметрической статистики [4].

Рассмотрим расчет вероятности отказа трубопровода с коррозионными дефектами различного типа на примере участка газопровода. Материал трубы – сталь 14Г2САФ, толщина стенки  $t = 16,5$  мм. На рисунке 4 в плоскости параметров: вероятность отказа – относительная глубина дефекта для дефекта длиной  $L=150$  мм показаны (кривые 1, 2, 3 и 4) результаты расчета для дефектов в виде реальной трещины, гладкого коррозионного и искусственных машинных надрезов при  $m = 1$  и  $m = 2$ .

На основе этих графиков решается следующая задача. Задана предельная величина отказа газопровода 0,025 (горизонтальная линия на рис. 4, 5, 6). Если в процессе диагностики газопровода зафиксирован дефект в виде реальной трещины длиной 150 мм, то допустимая относительная глубина (рис. 4) дефекта равна  $\varepsilon = 0,23$ , а при гладком коррозионном дефекте  $\varepsilon = 0,64$ . Подобным образом, для  $L=150$  мм на основе рисунка 4 можно определить допустимую относительную глубину дефекта в виде искусственных машинных надрезов при  $m = 1$  и  $m = 2$ . Для оценки влияния

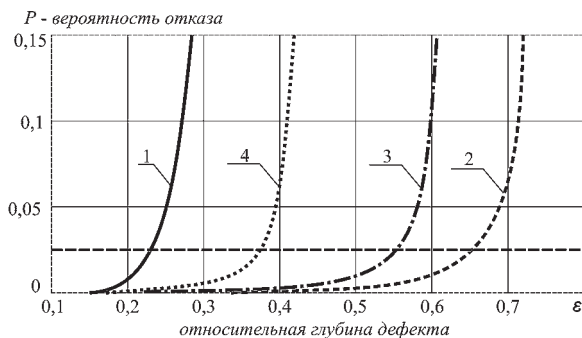


Рис. 4. Зависимость вероятности отказа трубопровода от вида дефекта

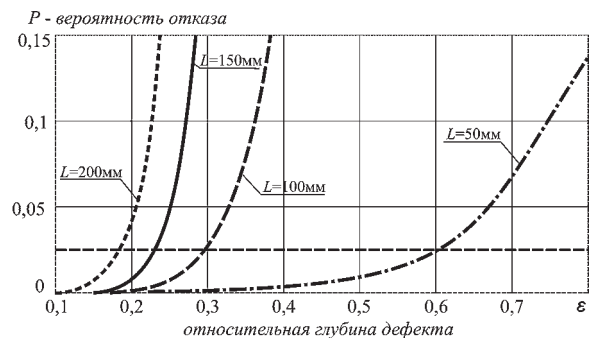


Рис. 5. Зависимость вероятности отказа трубопровода от длины реальной трещины

закона распределения давления в газопроводе на предельную относительную глубину дефекта при различной его длине ( $L=50; 100; 150; 200$  мм), реализуя методику оценки вероятности отказа для реальных трещин и гладкого коррозионного дефекта для давлений в трубопроводе на входе компрессорной станции, получим графики, представленные на рис. 5 и рис. 6

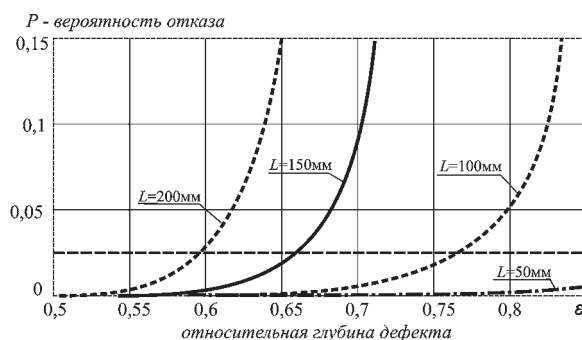


Рис. 6. Зависимость вероятности отказа трубопровода от длины гладкого коррозионного дефекта

При длине реальной трещины  $L = 150$  мм (рис. 5) имеем допустимую глубину дефекта  $\varepsilon = 0,22$ , что соответствует толщине стенки трубы  $t = 12,87$  мм. В том случае, когда имеем гладкий коррозионный дефект, на основании рисунка 6 для этой же длины дефекта установим  $\varepsilon = 0,66$ . То есть допускаемая толщина стенки трубы  $t = 5,61$  мм.

Отметим, что рассчитанная в данном примере вероятность отказа трубопровода, имеющего коррозионные дефекты различного вида и длины, отражает реальный спектр нагружения трубопровода и случайную природу предельных напряжений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. – Новосибирск: Наука, 2005. – 516 с.
2. Р 51-31 323 949-42-99. Рекомендации по оценке работоспособности дефектных участков газопроводов. – М.: ООО «ВНИИГАЗ», 1998.
3. Теплинский Ю.А., Быков И.Ю. Управление эксплуатационной надежностью магистральных газопроводов. – М.: – 2007. – 400 с.
4. Сызранцев В.Н., Невелев Я.П., Голофаст С.Л. Расчет прочностной надежности изделий на основе методов непараметрической статистики – Новосибирск: Наука, 2008. – 218 с.
5. Киселев В.К., Столов В.П. Модель оценки прочности и конструктивной надежности газопроводов с произвольно ориентированными поверхностными дефектами // Надежность и ресурс газопроводных конструкций. М.: ООО «ВНИИГАЗ» – 2003. – С.67 – 77.

## ПЕРСПЕКТИВЫ БИОУГОЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

*И.П. Иванов<sup>1</sup>, Д.И. Иванов<sup>2</sup>, М.П. Баранова<sup>2</sup>, С.А. Михайленко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Энергетическая стратегия России предусматривает максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения страны. Для формирования рационального топливно-энергетического баланса предполагается решение ряда задач, в частности:

- снижение доли газа, сопровождаемое адекватным увеличением доли угля в структуре потребления топливно-энергетических ресурсов;
- развитие угольной энергетики на базе новых экологически чистых технологий использования угля;
- стимулирование производства из углей продукции неэнергетического назначения с высокой добавленной стоимостью.

В качестве приоритетных задач в энергетическом секторе по направлению «Угольная промышленность» выделены следующие:

- разработка и внедрение системы мер по повышению качества угольной продукции (включая широкое использование техники и технологий, обеспечивающих повышение качества добываемого угля, разработку и применение эффективных технологий обогащения угля, создание оборудования для производства, транспортировки и хранения стандартизованного угольного топлива);
- комплексное использование сопутствующих ресурсов и отходов переработки угля.

Перспективным направлением повышения энергетических и экологических характеристик ископаемых углей и углеотходов являются биотехнологические методы их переработки. Развитие исследований в области биоугольных технологий направленно на формирование условий воздействия биоценоза на органоминеральный угольный субстрат и получения продукции с заданными свойствами [1]. Программы исследований включают следующие основные направления: топливное и нетопливное.

Топливные биоугольные технологии нацелены на повышение энергетических и экологических характеристик углей за счет их деминерализации и обессеривания. Деминерализация углей с использованием различного вида микроорганизмов и комбинированием параметров процессов биопереработки (анаэробные и аэробные) позволяет снижать зольность углей на 60-80% и более. В процессе аэрирования биоугольной суспензии частицы угля всплывают, а минеральные примеси осаждаются. Продолжительность процесса флотации угля составляет 1–2 минуты. При этом биоугольные технологии обогащения углей позволяют обходиться без использования химических реагентов и перерабатывать отходы традиционных технологий углеобогащения, а также некондиционные угли [2].

При применении бактериальных методов десульфуризации можно удалять из углей как неорганическую, так и органическую серу. В процессе обессеривания общее содержание серы в углях снижается на 80-90% [3]. При этом биодесульфуризации могут подвергаться угли с содержанием серы более 10%.

Биоконверсия углей позволяет получать широкий спектр продукции энергетической направленности: спирты и жидкие моторные топлива, биогазификация углей с получением биометана и водорода, энергетических биоугольных суспензий и топливных брикетов.

Разрабатываются биотехнологические методы получения из углей газообразных и жидких продуктов. Исследованиями по анаэробной биодеструкции органического вещества каменных и бурых углей показана возможность генерации топливного метана и водорода с использованием различных культур микроорганизмов [4]. При этом биотехнологические способы создают возможность извлекать метан и биоугольные суспензии из угольных пластов [5].

В процессе биотрансформации углей происходит диспергирование частиц угля в воде со степенью биооживления угля 100% [6]. За счет чего обеспечивается высокая стабильность биоугольных суспензий без применения каких-либо поверхностно-активных веществ, что позволяет



транспортировать их по трубопроводам на значительные расстояния. При этом за счет высокой степени биодеструкции органической массы углей энергетические характеристики биоугольных суспензий повышаются относительно водоугольных суспензий получаемых с использованием химических реагентов. Производство биоугольных суспензий возможно на базе нерентабельных запасов углей залегающих на больших глубинах.

На основе биоугольных технологий можно производить продукцию неэнергетического назначения с высокой добавленной стоимостью: углеродных восстановителей для металлургии, гранулированных углеродных сорбентов, органоминеральных удобрений и сырья для химической промышленности [7].

В рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» предусмотрена реализация научно-технологического потенциала по критическим технологиям (к числу которых относятся биотехнологии) в качестве основы технологического перевооружения отраслей российской экономики.

Уровень отечественных достижений в области биоугольных технологий позволяет говорить о перспективах и конкурентоспособности технологий данного направления для получения широкого спектра продукции топливного и нетопливного назначения из ископаемых углей и углеотходов, предназначенных для последующей их коммерциализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ivanov, I. P. Main Trends in the Biotechnological Processing of coals / I. P. Ivanov // *Solid Fuel Chemistry*, Allerton Press. – 2007. – № 1. – P. 3–10.
2. Иванов, И.П. Особенности процесса аэробной биопереработки бурых углей / И. П. Иванов // *Химия твердого топлива*. – 2007. – № 2. – С. 15–19.
3. Cara, J. The biodesulphurization of a semiantracite coal in a packed-bed system / J. Cara, A. Moran, T. Carballo, et al. // *Fuel*. – 2003. – V. 82. – P. 2065–2068.
4. Чернышенко, Д. В. Конверсия углей различной степени метаморфизма в биогаз анаэробными микроорганизмами / Д. В.Чернышенко // *Микробиол. Журн.* – 1999. – Т. 61. – № 6. – С. 66–74.
5. Gupta, A. Biogasification of coal using different sources of micro-organisms / A. Gupta, K. Birendra // *Fuel*. – 2000. – V. 79. – P. 103–105.
6. Fakoussa, R. M. Biotechnology and microbiology of coal degradation / R. M. Fakoussa, M. Hofrichter // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1999. – V. 52. – P. 25–40.
7. Судакова, И. Г. Сорбционные свойства продуктов биоконверсии бурых углей / И. Г. Судакова, И. П. Иванов, Л. П. Федотова, Б. Н. Кузнецов // *Химия твердого топлива*. – 2002. – № 2. – С. 47–51.

Раздел VII

---

ГИДРОДИНАМИКА  
БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГИДРОДИНАМИКЕ И ПРОБЛЕМА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В.А. Никулин

Российская инженерная академия, г. Москва, Россия

НОУ ВПО «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий», г. Ижевск, Россия

Прошло время дешевой энергии и её изобилия, необходимо искать пути экономии. В проблеме энергоэффективности особая роль принадлежит гидродинамике. Для решения прикладных задач необходимо усилить роль фундаментальных исследований.

Основными *задачами энергоэффективности на начало XXI века* являются:

- поиск и нахождение новых источников энергии и разработка новых энергосистем;
- повышение эффективности систем накопления энергии и ее преобразования и использования;
- минимизация экологического ущерба при получении и использовании энергии.

Некоторыми *направлениями экономии энергоресурсов* могут быть:

- прямая экономия от повышения эффективности устройств и систем преобразования энергии;
- более дешевые источники энергии;
- экономия основных капиталовложений в энергетику;
- фундаментальные исследования для улучшения современных методов повышения энергоэффективности или разработки новых с целью расширения энергетических резервов.

Основными *перспективными укрупненными направлениями фундаментальных исследований в гидродинамике* на сегодняшний день по-прежнему представляются:

1. Турбулентность
2. Приближение турбулентного пограничного слоя в моделировании и расчетах и методы управления ТПС
3. Взаимодействие гидродинамического течения с конструкцией
4. Многофазные и многокомпонентные течения
5. Гидродинамические явления в биологии, геологии, окружающей среде, ближнем и дальнем космосе
6. Оборудование и измерительные приборы

В проблеме *турбулентности* можно укрупнено выделить следующие основные группы объектов исследования:

- Фундаментальные основы (порождение, структура, уровень турбулентности) и математический аппарат.
- Устойчивость течений и смена режима, перемежаемость.
- Масштабы турбулентности (от нано- и микро-, до макро- и мега-).
- Снижение турбулентного трения и диссипации энергии.
- Анизотропные эффекты и массовые силы, стратификация.
- Невесомость.
- Диффузия и перемешивание.
- Тепло- и массоперенос вблизи поверхности.
- Численное моделирование и инженерные методы расчета.

В *исследованиях влияния пограничного слоя* – соответственно группы объектов исследования перспективные в плане энергоэффективности:

- Методы и методики измерений в ТПС.
- Управление ТПС с целью снижения потерь на турбулентное трение.
- Турбоагрегаты.
- Свободная и вынужденная конвекции.
- Нестационарные течения.
- Атмосферная приземная турбулентность.
- Сопротивление транспортных средств.
- Течения в трубопроводах, каналах, руслах.
- Реологические течения.

- Кавитация.
- Магнитная гидродинамика.
- Тепло- и массоперенос в пограничном слое.
- Вторичные течения.
- Пленочные течения.
- Прочие течения в ТПС.

В научных исследованиях *взаимодействия гидродинамического течения* с конструкцией фундаментальный интерес представляют:

- Турбулентные эффекты.
- Течение около плохо обтекаемых тел.
- Возникновение вибраций под воздействием гидродинамического течения при наличии периодических, квазипериодических или случайных нагрузок.
- Гидроудар.
- Переходные реакции с декомпрессией.
- Акустические явления и шумы.
- Прямые силовые нагрузки (стационарные и нестационарные).
- Быстрые переходные процессы.

Наибольший практический интерес для промышленных применений представляют результаты прикладных и фундаментальных исследований *многофазных и многокомпонентных течений*, где требуют своих дальнейших разработок направления:

- Математический аппарат, основные уравнения.
- Структура течения, устойчивость, переходные процессы, обобщение границ режимов.
- Ламинарный и турбулентный перенос.
- Области ламинарного отрыва.
- Турбулентная дисперсия.
- Движение гранулированных материалов.
- Теплообмен и массоперенос.
- Слои заполнителя (поведение, падение давления).
- Динамика пузырей.
- Нестационарные течения и гидродинамические эффекты.
- Многопараметрические экспериментальные данные.
- Погранслои и вторичные течения.
- Взаимодействие с конструкцией (эрозия, разрушение).

Однако фундаментальные исследования в гидродинамике не ограничиваются перечисленными выше. Рассматриваются такие группы научных направлений, которые исследуют *гидродинамические явления в биологии, геологии и окружающей среде, ближнем и дальнем космосе*.

Наконец, следует отметить, что проведение фундаментальных исследований в гидродинамике связано с лабораторными, натурными и модельными экспериментами которые требуют следующего *оборудования и измерительных приборов*:

- Оборудование (аэродинамические и гидродинамические трубы, гидродинамические лотки и каналы, стенды, моделирующие устройства).
- Измерительные приборы (анемометры, оптические и тепловые ИП, датчики и анализаторы, микроскопы и телескопы ...).
- Методы измерений и моделирования (прямые и косвенные, вносящие изменения в поток и внешние, методы аналогий и др.).

## ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУПЕРКАВИТИРУЮЩИХ АППАРАТОВ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

*А.Ф. Немчин*

Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инновационных технологий в энергетике и энергосбережении»,  
г. Киев, Украина

В докладе дана краткая ретроспектива разработки и использования суперкавитирующих (СК) аппаратов за последние 40 лет (1970-2010 гг.).

Отмечаются основополагающие работы проф. Ивченко В. М., его учеников и последователей – Немчина А.Ф., Белокриницкого Н.Н., Вихоревой М.И., Григорьева В.А., Есикова С.Н, Кулака А.П., Кулагина В.А., Мачинского А.С., Приходько Н.А, Тодорашко Г.Т., Федоткина И.М., Чупахи Д.Д. и др. из «школы Ивченко».

Сделано более тысячи изобретений, внедрено в серийное производство сотни СК-аппаратов различного назначения, дающих сотни миллионов прибыли в долларовом исчислении в различных отраслях экономики.

Приводятся наиболее успешные примеры использования СК- аппаратов в технике и технологиях:

- в гидродинамике больших скоростей:  
СК-гребные винты, СК-водометы,  
СК-обтекатели быстроходных надводных и подводных аппаратов и агрегатов, в том числе СК-виброрезонаторы,  
СК-струйные (струйка Седова) кавитаторы и др.
- в энергетике:  
СК-турбины, СК-затворы,  
СК-регуляторы, СК-испарители,  
СК-дегазаторы, СК-аэраторы,  
СК-смесители и др.
- в промышленных технологиях, связанных с использованием жидкой среды:  
СК-динамические и статические смесители, СК- диспергаторы,  
СК- эмульгаторы, СК-активаторы,  
СК-аппараты различного технологического назначения, например, СК- диффузионные аппараты в производстве сахара или растительных экстрактов, СК-дефекаторы, СК-деаммонизаторы и др.
- отдельно рассмотрены СК-аппараты для физико-химического воздействия:  
– на углеводородное топливо;  
– на воду;  
– на жидкие химические среды и т.д.

Обращено внимание на проблемы, требующие дальнейшего изучения:

- отсутствие достаточно обоснованных физических моделей, объясняющих аномально высокие скорости тепломассопереноса (в частности испарение) через границу суперкаверн и в связи с этим отсутствие математических моделей и невысокую точность методов расчета таких СК- аппаратов;
- отсутствие методов расчета и управления процессами распада суперкаверн на кавитационные пузырьки заданных размеров для их дальнейшего технологического использования;
- остаются до конца не решенными проблемы кавитационного износа элементов поверхностей СК-аппаратов;
- отсутствие методов расчета геометрических размеров, даже осесимметричных суперкаверн, при виброрезонансном воздействии на кавитаторы, в том числе и струйные;
- отсутствие достаточно надежных методов расчета технологических СК-аппаратов для основных гидромеханических процессов – смешения, диспергирования, эмульгирования, распыла и т.д., не говоря уже о физико-химическом воздействии на технологические среды.

Рассматриваются как наиболее перспективные и дающие большие экономические преимущества СК-аппараты для:

- обработки углеводородного топлива, позволяющие изменять его физико-химические характеристики с целью экономии топлива до 30 %;
- ускорения процессов тепломассопереноса, позволяющие повысить эффективность работы атомных и тепловых электростанций в летний период до 10 %;
- широкого спектра технологических процессов, связанных с диспергированием, например, для обработки водоцементных суспензий, позволяющих экономить до 25÷30 % цемента в производстве бетона, или для тонкого и сверхтонкого диспергирования (до 5...30 мкм) твердых материалов (уголь, золотосодержащие или содержащие редкоземельные элементы руды и т. д.), позволяющие повысить к.п.д машин для тонкого измельчения в десятки раз (от 0,8...1,0 % до 40 %).
- для широкого спектра крупнотоннажных технологических процессов, связанных с ускорением физико-химических реакций в процессах производства удобрений, сахара, спирта, продуктов химической и перерабатывающих отраслей промышленности, позволяющих увеличить на 10...30 % эффективность использования сырья.

Более глубокое изучение процессов, связанных с использованием суперкавитации, создание более точных и достоверных методов расчета СК-аппаратов позволит значительно увеличить эффективность соответствующей техники и технологий и получить значительные экономические эффекты от их применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивченко В. М. Гидродинамика многофазных жидкостей. Кавитация.- Красноярск: Изд-во КрПИ, 1980.- 81 с.
2. Ивченко В. М., Кулагин В.А., Немчин А. Ф. Основы кавитационной технологии.- Красноярск: Изд. КрГУ, 1991.- 200 с.
3. Ивченко В. М., Немчин А. Ф., Кулак А. П., Вихорева М. И. Исследование характеристик суперкавитирующих механизмов.- Труды 8-го Международного симпозиума МАГИ. Секция гидромашин, 1976.- с 278-295.
4. Ивченко В. М., Немчин А. Ф. Применение суперкавитирующих насосов для обработки полуфабрикатов. Сб. Прикладная гидромеханика и теплофизика, вып. 5, Красноярск, 1975 с 39-50.



# ЭФФЕКТЫ КАВИТАЦИОННОЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

*В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Работа посвящена разработке и внедрению в производство новых технологий получения многокомпонентных сред (эмульсий, суспензий, водных растворов и систем) с использованием кавитации, позволяющих достигать существенных положительных результатов в теплоэнергетике, стройиндустрии, сельском хозяйстве и других отраслях производства, науки и техники. Показана энергоэффективность и экологическая безопасность технологических процессов, построенных на эффектах кавитации, а также перспективность дальнейших исследований.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование гидродинамических и теплофизических эффектов кавитации (кавитационной технологии) [1] способствует механотермолизу структуры воды с появлением свободных водородных связей, диспергации и гомогенизации с образованием устойчивых эмульсий, суспензий и смесей, в конечном итоге имеющим перспективу для усовершенствования и интенсификации технологических процессов в различных отраслях производства.

В данной работе излагаются результаты экспериментальных исследований по изучению влияния гидротермодинамических особенностей кавитации на изменение характеристик топливно-водяных смесей и теплофизических особенностей при их сжигании в различных топочных устройствах. Приведены результаты влияния кавитационной обработки на свойства воды, которая в одном случае является дисперсной фазой, в другом – дисперсионной средой. Рассмотрено применение кавитационной технологии в других отраслях техники и производства с целью определения энергоресурсосберегающего, экологического и иных эффектов, что позволило получить ряд основных и дополнительных результатов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В области изменения свойств воды установлено, что в результате гидродинамической обработки ее физические характеристики существенно изменяются и сохраняются достаточно длительное время (до 7-10 суток), что позволяет использовать модифицированную воду в различных технологических процессах.

Наблюдается быстрое кислородонасыщение в воздушной среде, объясняемое наличием кроме диффузионного (за счет высокой степени сжатия парогазового содержимого кавитационного микропузырька), также кинетического механизма насыщения воды кислородом, приводящего к ощутимой неравновесности процесса его растворения.

На рисунке 1 показано нарастание равновесной концентрации кислорода в среде инертных газов и азота, влияющих на интенсивность и характер кинетики процесса кислородонасыщения. Характер изменения кислородонасыщения в среде азота обусловлен образованием  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ , связывающих кислород и гидроксильные радикалы, что подтверждается результатами и выводами работ для случая ультразвуковой кавитации. Возбужденная молекула воды, наряду с излучением и диссипацией избыточной энергии в тепло, может диссоциировать. Увеличение концентрации  $\text{O}_2$  идет за счет гидродинамического кавитационного термолиза воды на  $\text{H}$ - и  $\text{OH}$  и протекания соответствующих реакций [2].

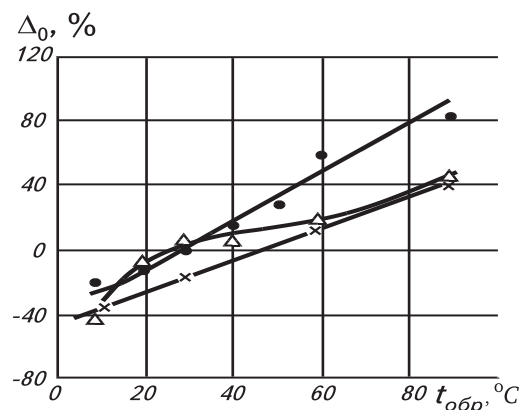


Рис. 1. Зависимость  $\Delta_0 = f(t_{обр})$  для водопроводной неотстоявшейся воды: • – Ar;  $\Delta$  –  $\text{N}_2$ ; x – He при исходной концентрации  $\text{O}_2$  40%

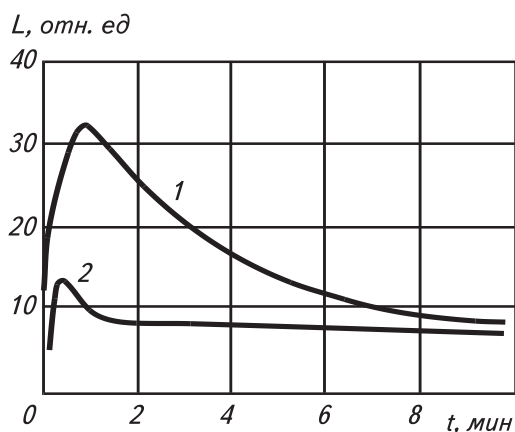


Рис. 2. Кинетические кривые интенсивности хемилюминесценции в бидистилляте ( $C_0 = 100\%$ ): 1 – обработка бидистиллята в атмосфере воздуха,  $t_{обp} = 60$  с; 2 – необработанный бидистиллят

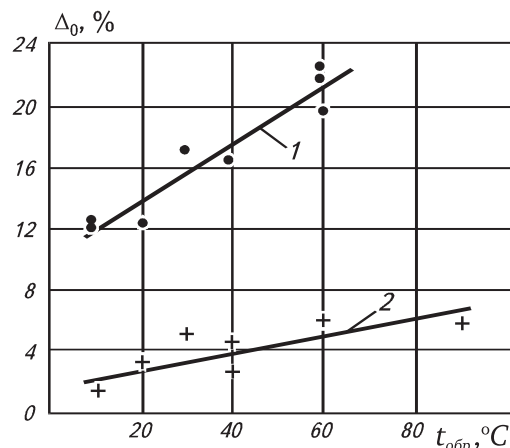
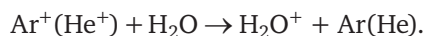
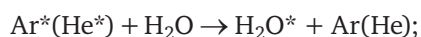


Рис. 3. Зависимость  $\Delta_0 = f(t_{обp})$  в атмосфере воздуха ( $C_0 = 100\%$ ): 1 – бидистиллят,  $pH_0 = 5,4$ ; 2 – неотстоявшаяся водопроводная вода,  $pH_0 = 7,0$

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности хемилюминесценции для бидистиллята. Изменение pH воды в результате кавитационной обработки происходит за счет образования различных химических соединений, выход которых зависит от режима обработки, наличия в воде примесей и газосодержания. Термолиз воды приводит к синтезу  $H_2O_2$ , что способствует понижению pH. Обработка в среде азота повышает кислотность системы за счет образования  $HNO_2$  и  $HNO_3$ . Существенное влияние на кислотно-щелочные свойства оказывает концентрация  $CO_2$ , величина которой может изменяться в результате обработки. Относительное изменение pH при воздействии гидродинамической кавитации в зависимости от длительности обработки показано на рисунке 3.

Таким образом, под действием кавитации в водном растворе, содержащем инертные и активные газы, возможно осуществление разнообразных химических реакций. Кавитационное инициирование их сводится к ионизации и возбуждению молекул воды, благородных и активных газов, а также к диссоциации молекул воды. Каждый из этих процессов осуществляется за время  $t \sim 10^{-14}$  с. В связи с тем что продолжительность конечной стадии коллапса пузырька  $t \sim 10^{-9} - 10^{-8}$  с, становятся возможными процессы передачи энергии и перезарядки с участием молекул инертных газов, идущие в газовой фазе по уравнениям:



Наряду с указанными, в кавитационной полости протекают реакции трансформирования радикалов с участием химически активных газов и рекомбинации радикалов за время  $t \sim 10^{-7} - 10^{-6}$  с. В результате этих процессов после схлопывания кавитационного пузырька в раствор переходят продукты радикального разложения молекул  $H_2O$  и рекомбинации радикалов, обнаруженные с помощью метода спиновых ловушек, что приводит к накоплению в воде молекулярного  $O_2$ ,  $H_2O_2$  и других соединений. Высокая скорость протекания реакций свидетельствует о том, что они происходят непосредственно в зоне кавитационных разрушений, интенсифицируя процесс кавитационной эрозии, что существенно важно при эксплуатации различного гидро- и энергооборудования [3].

В области топливоподготовки и приготовления водотопливных эмульсий и суспензий с целью увеличения полноты сгорания топлива и подавления образования вредных веществ в технологических выбросах исследовались: водомазутная эмульсия (ВМЭ), водоугольная суспензия (ВУС), смеси «вода – дизельное топливо» (ВДТ) и «вода – бензин» и др. Определено влияние размеров капель топлива на физические процессы испарения, теплообмена и смесеобразования с учетом полноты его сгорания. Разработаны конструкции и исследованы гидродинамические, расходные и дисперсионные характеристики кавитационных технологических аппаратов в зависимости от режимных параметров работы и ряда внешних факторов с целью определения оптимальных конструктивных и технологических параметров [4].

Включение в технологическую схему топливоподготовки кавитационной обработки мазута значительно уменьшило пределы колебаний влажности и дисперсности водной фазы топлива (при уменьшении абсолютного среднего диаметра капель воды в ВМЭ в 10-15 раз, примерно 10-15 мкм),

что достаточно убедительно подтверждается микрофотографиями проб ВМЭ [2]. Попадая в топочный объем, капли топлива за счет вторичного дробления (в результате микровзрыва) существенно уменьшаются в размерах. В результате время пребывания капель в реакционном объеме топки возрастает за счет удлинения их траектории в процессе турбулентного перемешивания; увеличивается удельная реакционная поверхность капель топлива; скорость сгорания топлива в виде мелких капель увеличивается и сопровождается выделением меньшего количества твердых продуктов, чем у крупных капель мазута. Наряду со стабилизацией влажностно-дисперсионных характеристик топлива, другим важным эффектом диспергирования являются разрушение смолисто-асфальтеновых структур и повышение однородности мазута.

Результаты исследования проб дымовых газов при сжигании мазута М100 и ВМЭ показали, что использование ВМЭ вместо собственно мазута позволяет уменьшить в дымовых газах концентрацию окислов азота в 3-5 раз, сернистого ангидрида – в 2-4 раза, оксида углерода в 2-2,5 раза. Наиболее целесообразно применение ВМЭ с  $W^p \approx 15-20\%$ . Подавление крекинга углеводородов происходит в результате не только уменьшения размера капель мазута, но и за счет отвода тепла испаряющейся водой, а также в результате протекания дополнительных реакций между диссоциированными молекулами воды и углерода.

Исследования ВУС показали перспективность ее применения. В работе использовались различные фракции угля: 0–100, 100–1000, 1000–1600, 1600–2500 мкм и уголь различного исходного гранулометрического состава, оцениваемого по относительному содержанию фракции менее 100 мкм – 15, 30, 45, 90%. Подготовка экспериментальных партий угля различного гранулометрического и фракционного состава осуществлялась в такой последовательности: грубый размол угля; усреднение; последовательные этапы тонкого размола, оцениваемые по показателю эффективности конверсии (ЭК) (рис. 4). Эффективность конверсии – это отношение содержания фракции угля (0-100 мкм) к общей массе всех фракций угля выборки.

Из рисунка 4 видно, что повышение эффективности конверсии угля не только увеличивает значение удельной поверхности частиц за счет уменьшения их размеров, но и значительно снижает гетерогенность распределения частиц, т. е. приближает ВУС по этому параметру к моносубстрату, но отличающемуся от фракционированного гетерогенностью химического состава.

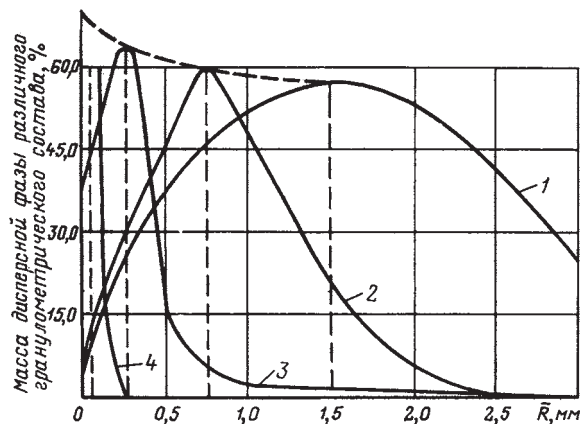


Рис. 4. Характер распределения частиц исходной дисперсной фазы ВУС R при различной степени глубины помола (по показателю «эффективность конверсии»):  
1 – 15 %; 2 – 30 %; 3 – 45 %; 4 – 90 %

Эффективность от применения ВУС возрастает при трубопроводной транспортировке исходного угля, а также при использовании маслосодержащей или загрязненной другими нефтепродуктами воды. При этом экологический эффект от утилизации и огневого обезвреживания отходов производства возрастает. При объемном содержании угля до 60 % расслоение ВУС не наблюдалось до 50 суток. Экономия топлива происходит за счет увеличения полноты сгорания, эксплуатации форсунок с минимальным избытком воздуха и снижения температуры уходящих газов. Получены положительные результаты при брикетировании угля после кавитационной обработки (прочностные характеристики полученных брикетов выше примерно на 20-30 %, чем при производстве традиционными методами) [5].

Анализ результатов гидродинамического эмульгирования жидкого топлива и сравнение с результатами акустического воздействия для бинарных эмульсий (ВДТ, «вода – бензин») пока-

зали, что легко получаются устойчивые эмульсии бензина в воде, тогда как обратные эмульсии, вследствие интенсивной коалесценции, приготовить сложно (водосодержание в такой эмульсии при отсутствии поверхностно-активных веществ не превышает нескольких процентов). ВДТ возможно получать с водосодержанием до 30-40 % [2].

Исследования показали, что на эффективность процесса кавитационного эмульгирования существенно влияет механизм, основанный на различии в плотности жидкостей; наиболее высококачественные эмульсии получаются в случае, когда плотность несущей фазы больше плотности дисперсной. Применение водотопливных эмульсий в двигателях внутреннего сгорания приводит к снижению твердых и газообразных ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) выбросов.

В этом же разделе приводятся описания технологических схем и режимов для названных и других процессов при их промышленном использовании. Отмечены перспективные области применения кавитационной технологии и важнейшие направления дальнейших исследований.

В стройиндустрии увеличение удельной поверхности цемента непосредственно в водной среде с помощью кавитационного диспергирования позволяет полнее использовать его потенциальные свойства и повышать степень гидратации и поверхностную энергию частиц. Разрушая малопрочную первичную алюминатную крупнозернистую структуру, удается получить мелкокристаллическую структуру цементного камня, прочность которого возрастает в 2-3 раза (рис. 5) по сравнению с приготовлением раствора в обычных смесителях.

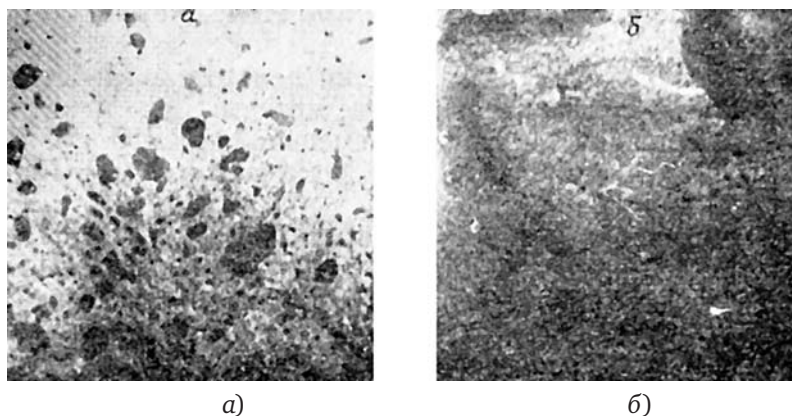


Рис. 5. Структура бруска цементного камня ( $B/C = 0,5$ , цемент М300):  
 а – без кавитационной обработки (прочность на изгиб  $R_{\text{и}} = 3,6$  МПа, на сжатие –  
 $R_{\text{сж}} = 17,3$  МПа); б –  $t_{\text{обр}} = 60$  с (относительное число кавитации  $\chi/\alpha = 0,34$ ,  
 $R_{\text{и}} = 9,6$  МПа,  $R_{\text{сж}} = 38,1$  МПа)

Минералогические характеристики высококальциевой золы, получаемой в результате сжигания канско-ачинских углей, позволяет использовать ее вместо цементов в производстве строительных растворов и бетонов. Проблема ее использования состоит в том, что она содержит большое количество (до 20-30 %) негашеной извести в капсулированном виде. При использовании этой золы в качестве вяжущего, в результате медленного гашения извести происходит медленное саморазрушение материала.

С помощью кавитационной технологии удается получить качественное связующее из золошлаковых отходов при производстве строительных конструкций путем гашения содержащейся в шлаке извести в процессе обработки; кавитационная обработка водозольной суспензии (ВЗС) ведет к повышению прочности растворных образцов на 10-15 %.

В медицине, микробиологии и биотехнологиях представляет интерес влияние многофакторного воздействия следствий кавитации на элементы живой природы. В качестве объекта изучения использованы две линии клеточных культур: перевиваемая L-41 и первично трипсинизированная культура клеток фибробластов эмбрионов человека (ФЭЧ). Густота клеточной взвеси во время пересевов составляла 150-200 тыс. клеток в 1 мл для культуры клеток L-41 и 300-350 тыс. в 1 мл для ФЭЧ. Культивирование проводилось в матрицах объемом 230 см<sup>3</sup>. Ростовую среду, которая состояла из 10%-ной сыворотки крови крупного рогатого скота и 90%-ной питательной среды 199, меняли через 2 дня.

Контролем для обеих культур клеток служила среда 199, которая использовалась для приготовления питательной среды без механической обработки. Всего приведен 31 пассаж перевиваемой культуры клеток L-41, где применялась кавитационная обработка среды и 12 пассажей для

культуры ФЭЧ, чего достаточно для получения высокой (95%) степени достоверности результатов, приведенных в таблице 1.

При различном содержании обработанной среды 199 в питательном растворе наблюдается неодинаковая степень интенсивности роста культур клеток L-41 и ФЭЧ. Общим для обеих культур клеток является наиболее быстрый рост при внесении в ростовую среду 50%-ной обработанной среды 199. Как полная, так и частичная (25%) замена обычной среды 199 на высоконасыщенную кислородом не выявляет существенных различий в процессе роста клеточных культур в сравнении с контролем.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о влиянии на репродукцию культур клеток L-41 и ФЭЧ (в сторону ускорения роста клеточных культур) обработанной среды 199. Наибольший эффект достигнут при 50%-ном содержании в питательном растворе такой среды. Полная замена среды 199 на обработанную приводит к замедлению роста, связанному с перенасыщением свободным  $O_2$ , который изменяет pH ростовой среды в сторону увеличения кислотности.

Таблица 1

### Результаты обработки клеточных культур

Тип культуры клеток	Содержание обработанной среды 199, %	Количество пассажей	Время образования монослоя		
			1-е сутки	2-е сутки	3-и сутки
L-41	25	31	+	++	+++
	50	31	++	+++	++++
	100	31	+	++	+++
	Контроль	31	+	++	+++
ФЭЧ	25	12	+–	+	++
	50	12	+	++	+++
	100	12	+–	+	++
	Контроль	12	+–	+	++

Примечания: (+–) – клетки редко прикрепились к подложке; (+) – клетки густо прикрепились по всей площади; (++) – появление нежного монослоя; (+++) – образование хорошего монослоя; (++++) – начало старения клеток.

Результаты биохимической обработки предварительно гидродинамически активизированной ВУС при производстве биостимулятора роста цветов, овощных и садовых культур «Гумат» представлены на рисунке 6. По сравнению с контролем здесь наблюдается значительное сокращение периода биохимической обработки при одновременном снижении поверхностного натяжения (вязкости) ВУС и увеличение выхода гуминовых кислот из органической массы водорастворимой части ВУС.

Комплексная гидродинамическая и биохимическая обработка ВУС позволяет существенно ускорить процесс переработки высококонцентрированных полидисперсных систем. При этом наблюдается: сокращение времени биохимической обработки ВУС с 50 до 25 ч за счет ликвидации фазы набухания частиц угля и осуществления непосредственного процесса физико-химического диспергирования в присутствии диспергирующих факторов микробиологического происхождения (в частности белковых комплексов); увеличение выхода микродисперсной фракции углей на 40% (от сухих веществ микродисперсной фракции) и гуминовых кислот на 34% (от органической составляющей микродисперсной фракции); улучшение технологических характеристик ВУС (снижение поверхностного натяжения с 1,1 до 0,52 г/см<sup>2</sup>, вязкости – на 52%); сокращение времени максимального образования диспергирующего фактора микробиологического происхождения до 15 ч (без предварительной гидродинамической обработки – 40-45 ч). Эта технология перспективна при проведении рекультивации земель, например по окончании разработки угольных разрезов открытым способом.

В работе изучалось влияние кавитационной обработки в суперкавитационном миксере на содержание кишечной палочки и золотистого стафилококка в питьевой воде. Опыты проводились с клиновидным кавитатором (угол при вершине клина составлял  $\alpha = 20^\circ$ ) при температуре 20-22°C. Варьировались число оборотов ротора в диапазоне от 2 до 10 тыс. об/мин и время обработки  $\tau$ . Число кавитации, подсчитанное для диаметра крыльчатки, составило  $\chi = 0,56-0,02$ . Измерения проводились с помощью метода светорассеяния и электронного микроскопа. Результаты эксперимента представлены на рисунке 7. Как видно, характер изменения концентрации



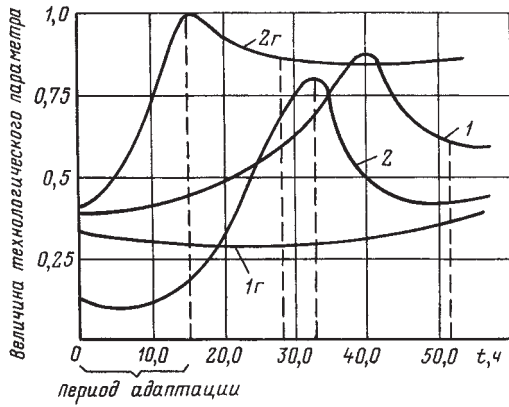


Рис. 6. Кинетика изменения технологических параметров ВУС в зависимости от продолжительности биохимической обработки без предварительной (контроль) и с предварительной кавитационной обработкой (г): 1, 1г – поверхностное натяжение, г/см<sup>2</sup>·1,7; 2 – концентрация белка, %·100, НА<sup>daf</sup> = 63 %; 2г – то же при НА<sup>daf</sup> = 94,5 %; НА<sup>daf</sup> – выход гуминовых кислот относительно обезвоженной, обеззоленной органической массы

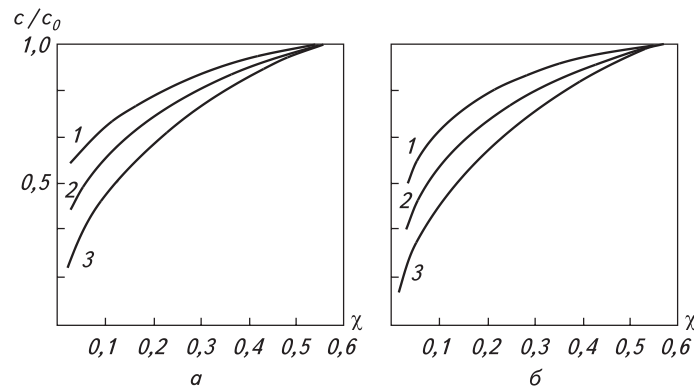


Рис. 7. Зависимость безразмерной концентрации  $c/c_0$  от числа кавитации  $\chi$ : а – кишечная палочка; б – золотистый стафилококк; 1 –  $\tau = 30$  с; 2 –  $\tau = 1$  мин; 3 –  $\tau = 3$  мин;  $c_0$  – исходная концентрация

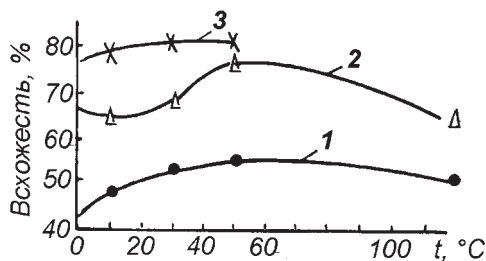


Рис. 8. Всхожесть семян: 1 – морковь «Нантская 4» (%<sub>max</sub> = 8,2 %, НСР<sub>0,5</sub> = 7,7 %); 2 – томат «Мальш» (%<sub>max</sub> = 4,7 %, НСР<sub>0,5</sub> = 5,9 %); 3 – томат «Отборный» (%<sub>max</sub> = 11,3 %, НСР<sub>0,5</sub> = 11 %)

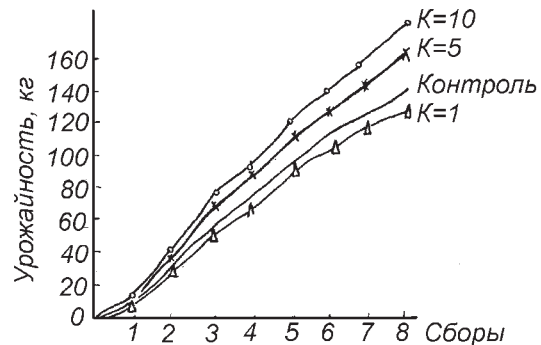


Рис. 9. Результаты опытов с огурцом «сентябрьский»: К – кратность обработки

для кишечной палочки и стафилококка одинаков, близки и количественные характеристики, что, видимо, объясняется примерно одинаковыми характеристиками клеток. Модуль Юнга равен соответственно  $\sim 5 \cdot 10^8$  и  $4 \cdot 10^7$  Па, а предел прочности клеточных оболочек составляет  $\sim 10^5$ – $10^{10}$  Па. Учитывая эти данные и уровень расчетных значений при кавитационном воздействии ( $P \sim 10000$  атм;  $T \sim 10^{11}$  К/с;  $T \sim 2000$  К;  $P_m \sim 10^8$  Па), можно сделать заключение о достаточности силового воздействия для разрушения клеточного материала. Эти результаты могут быть использованы для разработки технологии уничтожения микроорганизмов в пищевых продуктах, питьевой воде и т. п.

В сельском хозяйстве использование кавитационно-обработанной воды позволяет получить прирост урожайности тепличных овощных культур до 30 % при одновременном снижении заболеваемости растений (рис. 8, 9). Очевидно, что основными факторами, влияющими на полу-



ченный эффект, являются повышенное кислородосодержание обработанной (активированной) воды, а также сложные физико-химические процессы, происходящие под действием кавитации:

- окислительно-восстановительные реакции, которые идут в воде между растворенными веществами и продуктами расщепления воды, возникающими в кавитационных пузырьках и переходящими в раствор после их схлопывания;
- реакции между растворенными газами внутри кавитационных пузырьков;
- цепные реакции в растворе, инициируемые продуктами расщепления в кавитационных пузырьках примесных веществ;
- деструкция макромолекул и инициированная ею полимеризация;
- изменение структуры воды с образованием свободных водородных связей и т. п.

Полученный результат хорошо согласуется с опытами других авторов, применивших данную технологию с эффективностью 15-20%, используя кавитационно-обработанную воду в качестве питьевой в животноводстве и при выращивании мальков рыб из икринок.

В пищевой промышленности кавитационная обработка способствует повышенному (приблизительно на 15%) сокоотделению (винодельческая промышленность), сокращению времени предварительной и основной дефекации свекловичных диффузионных соков примерно в 10 раз (сахарная промышленность), качественному экстрагированию полезных веществ из плодов и растений при производстве различных пищевых добавок и витаминов и др. [1].

При производстве композиционных материалов многофакторное кавитационное воздействие (преимущественно эрозионный механизм разрушения и интенсивное турбулентное микроперемешивание) способствует получению высокодисперсных гомогенизированных субстратов и смесей.

На рисунке 10 и 11 представлены результаты диспергирования ультрадисперсного алмаза (УДА) в сравнении с традиционной ультразвуковой обработкой (УЗ). Использовались образцы, имеющие эффективный рассеивающий размер до обработки 170 нм.

Действие УЗ и гидромеханической (ГМ) обработки качественно и количественно идентичны, однако последняя из-за большого числа изменяемых параметров (частота, продолжительность воздействия, угол клина) позволяет более точно обеспечить оптимальные режимы обработки. При этом ГМ-обработка не вносит в систему каких-либо дополнительных факторов, влияющих на агрегативную устойчивость суспензии. С учетом дешевизны, производительности и возможности построения непрерывного процесса гидромеханический метод диспергирования оказывается предпочтительнее УЗ, особенно в промышленном производстве.

Ультрадисперсный алмаз в смеси с графитом находит применение в качестве присадок к моторным и другим маслам с целью повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания, улучшения антифрикционных, противоизносных и противозадирных свойств моторного масла. Использование ГМ-обработки по сравнению с традиционной существенно эффективнее.

Перспективно использование кавитационной обработки в производстве бумаги, где важнейшими процессами, определяющими ее свойства (прочность, электропроводность и т. д.), являются размол и дефлокуляция целлюлезно-бумажной массы. В данном производстве специально вводятся минеральные наполнители (тальк, каолин и др.), которые требуется измельчить до 0,5–1,5 мкм и одновременно перемешать, что легко достичь в суперкавитационных аппаратах.

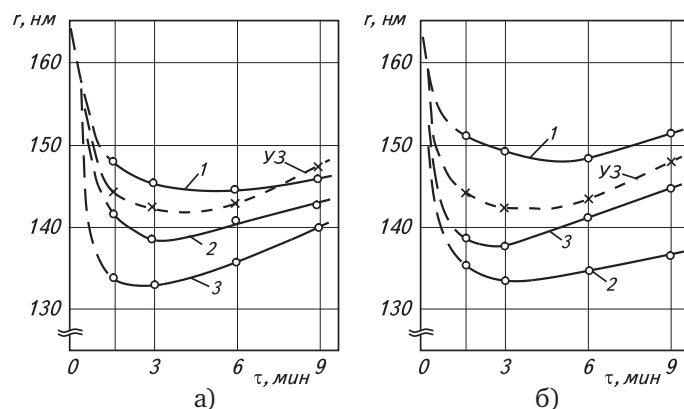


Рис. 10. Зависимость средних радиусов УДА от продолжительности ультразвуковой (УЗ) и гидромеханической (ГМ) обработки: а – угол клина 20°; б – угол клина 40°; частота вращения, об/мин: 1 – 3000; 2 – 4000; 3 – 7500

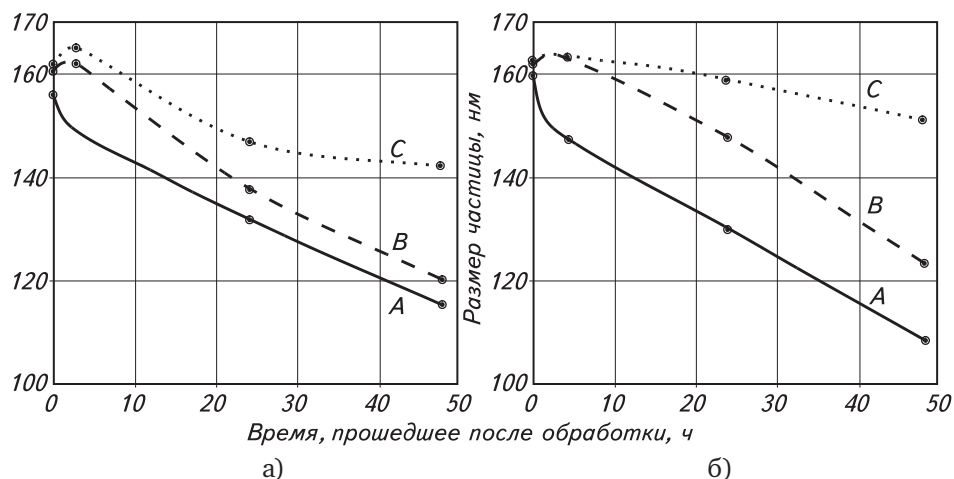


Рис. 11. Зависимость средних радиусов УДА от времени отстоя после ультразвуковой (а) и ГМ-обработки (б) на трех уровнях кюветы: А – верхний уровень; В – средний; С – нижний

Применение кавитационной технологии при обработке корундо- и алюмосодержащих пылей глиноземных производств позволяет получать композиции для производства полировальных паст и растворов с меньшими по сравнению с традиционными способами энергозатратами примерно в 10 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивченко В.М., Кулагин В.А., Немчин А.Ф., Кавитационная технология. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. - 200 с.
2. Кулагин В.А., Вильченко А.П., Кулагина Т.А., Моделирование двухфазных суперкавитационных потоков. - Красноярск: КГТУ, 2001. - 187 с.
3. Ивченко В.М., Кулагин В.А., Есиков С.А., Лаврик Н.Л. Кинетика кавитационного воздействия на элементы гидротехнических сооружений и гидроэнергетического оборудования // Известия Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева, 1987. – Вып. 200. – С. 43–48.
4. Кулагин В.А., Кулагина Т.А., Влияние кавитационной обработки на влажностно-дисперсные характеристики водомазутной эмульсии // Проблемы использования Канско-Ачинских углей на электростанциях: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. - М.: РАО ЕС России, 2000. - С. 424–427.
5. Кулагин В.А., Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации. – Красноярск: КГТУ, 2004. - 46 с.

# ГРАВИТАЦИОННЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ТРУБЫ ПРИ ПЛОТИНЕ КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС

*В.К. Витер*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

## **Актуальность гравитационных гидродинамических труб**

Для решения задач движения тел в воде с большими скоростями в режимах кавитации важную роль играет эксперимент. И поскольку полное моделирование кавитационных течений осуществить на практике невозможно, важной задачей становится снижение масштабных эффектов гидродинамической кавитации. Моделирование таких течений обычно проводят в гидродинамических трубах обращенным потоком воды на неподвижную модель. В этих случаях важную роль играют свойства воды, приближенные к натурным, а также минимальная степень турбулентности набегающего потока и влияние его границ.

Таким требованиям в значительной мере отвечали созданные под руководством основателя красноярской школы гидродинамики больших скоростей профессора В.М. Ивченко гравитационные крупномасштабные гидродинамические трубы при плотине Красноярской ГЭС.

## **Высоконапорная гидравлическая лаборатория при плотине Красноярской ГЭС**

Высоконапорная гидравлическая лаборатория (ВГЛ) при плотине Красноярской ГЭС была запроектирована во Всесоюзном научно-исследовательском институте им. Б.Е. Веденеева и предназначалась для крупномасштабных и натурных исследований элементов водосбросных трактов, гидротурбинного и гидромеханического оборудования, изучения процессов аэрации, кавитации. Строительство и оснащение лаборатории было завершено к концу 70-х годов прошлого столетия. В качестве энергии гидравлических стендов использовался перепад воды в верхнем и нижнем бьефах плотины, равный 100 м, что обеспечивало максимальные скорости потока порядка 30 м/с и выше. Аналогов подобной гидравлической лаборатории и сегодня в мировой практике нет.

Схема ВГЛ представлена на рисунке 1. Лабораторная база включала в себя лабораторный корпус длиной 100 м, шириной и высотой по 18 м, открытый лоток рядом с корпусом (установка № 1) и две экспериментальные установки закрытого типа внутри здания (установка № 2 и № 3). На базе этих трех установок в 80-90-е годы прошлого столетия были созданы различные крупномасштабные гидродинамические трубы. Наиболее крупные с рабочими участками сечением  $2,5 \times 2,5$  м, скоростью до 8 м/с и расходами до  $60 \text{ м}^3/\text{с}$ , а также  $0,7 \times 0,4$  м со скоростью потока до 35 м/с, давлениями в рабочем участке от  $0,2 \cdot 10^5$  Па до  $4 \cdot 10^5$  Па. Гидравлическая мощность установки до 10 МВт. Степень турбулентности в трубе  $0,7 \times 0,4$  м не превышала (0,7-0,8)%, моделирование режимов течения с числами Эйлера  $Eu \geq 0,01$ . Сменные рабочие участки: труба и лоток (со свободной поверхностью). Сохранение постоянства естественных зародышей кавитации натурной воды, неограниченное время проведения экспериментов позволяли моделировать режимы развитой кавитации с максимальным приближением к естественным условиям. Уникальная возможность проведения модельных испытаний с привнесением в поток твердых частиц и значительных количеств газовой фазы предопределили основные направления экспериментальных работ по отработке схем обтекания и конструктивных элементов гидрореактивных и ракетных систем.

Помимо исследований в области гидродинамики больших скоростей, в ВГЛ проводились на нескольких кавитационных стендах крупномасштабные и натурные испытания гидротехнических материалов (металлы, бетоны) на кавитационную стойкость. Кроме того, на стендах № 2 и № 3 были построены крупномасштабные модели по исследованиям кавитации на радиально-осевых гидротурбинах и гасители энергии потока на водосливах ГЭС. Более подробное описание гидродинамических стендов высоконапорной лаборатории представлено в [1, 2].

В 80-90-е годы ВГЛ в качестве структурной единицы Сибирского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева сотрудничала в области гидродинамики больших скоростей с такими крупными научными центрами как НПО «Гидроприбор» (Ленинград), НИИ ПГМ (Москва), ИТФ СОАН СССР (Новосибирск), Киевский политехнический институт и др.

После распада СССР в начале 90-х годов финансирование работ прекратилось, установившиеся научные связи прервались, высоконапорная лаборатория была закрыта, штат сотрудников распущен. Здания и сооружения перешли в собственность КГЭС, которая к тому времени была уже акционирована. Однако основное оборудование бывшей ВГЛ до сегодняшнего дня сохранено и законсервировано, питающие водоводы временно заглушены в теле плотины.

Почти 20 лет ВГЛ не функционирует. За эти годы российская прикладная наука пережила известные всем трудности. Однако актуальность задач кавитационных технологий и гидродинамики больших скоростей может возродить интерес к уникальной гидролаборатории при плотине Красноярской ГЭС. И прежде всего, относительно низкой стоимостью расходуемой воды. При экономических расчетах следует учесть, что за исключением редких паводковых периодов, когда излишки воды в водохранилище сбрасываются в нижний бьеф, вода для ГЭС является источником энергии. На Красноярской ГЭС в среднем на выработку в гидроагрегате 1 кВт ч электроэнергии расходуется 4,5 м<sup>3</sup> воды. Себестоимость кВт ч энергии для станции порядка 0,05-0,06 руб. Таким образом, в сравнении с затратами на электроэнергию аналогичных по мощности гидродинамических труб замкнутого типа Москвы или С-Петербурга может быть значительный выигрыш.

Для возрождения гидролаборатории целесообразно было бы вернуться к вопросу передачи всего оборудования, зданий и сооружений на баланс РАН или СО РАН

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Витер, В.К. Крупномасштабные гравитационные гидродинамические трубы: монография / В.К. Витер, В.А. Кулагин; ред. В.А. Кулагин. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. –243 с.
2. Витер, В.К. Разработка техники и технологии исследования кавитационных явлений в гидравлических системах: автореферат диссертации ... канд. техн. наук; 05.02.02 / В.К. Витер; Красноярский государственный технический университет; рук. Работы В.А. Кулагин. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. –22 с.

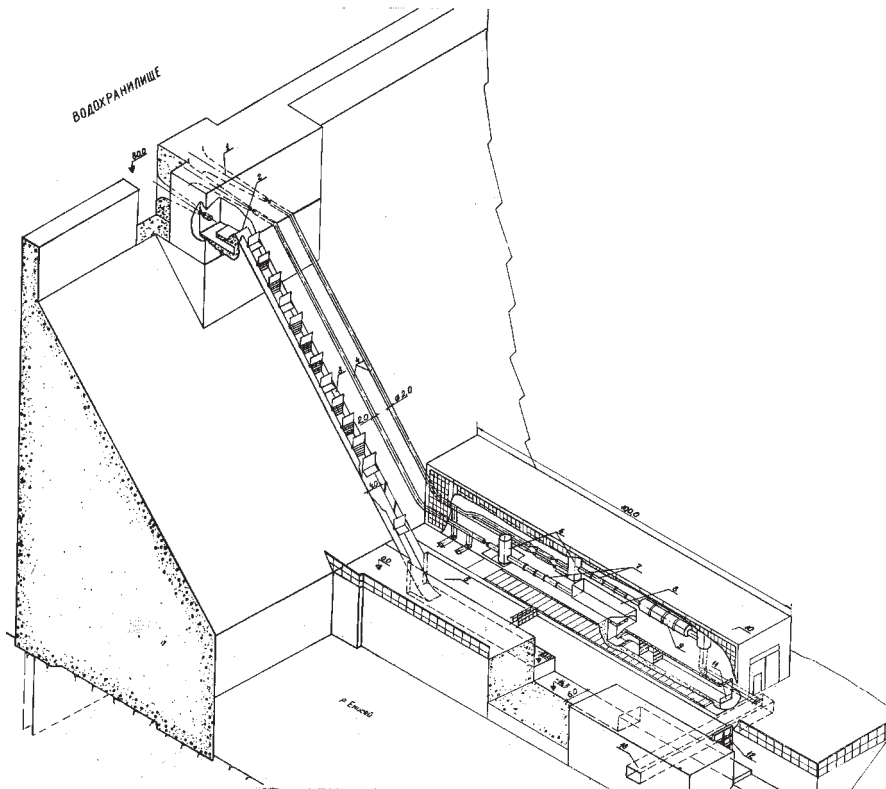


Рис. 1. Высоконапорная гидравлическая лаборатория:

- 1 – помещение водозабора; 2 – мерный водослив установки 1; 3 – наклонный лоток установки 1;
- 4 – водоводы установок 2, 3; 5 – горизонтальный лоток установки 1; 6 – напорные баки установок 2, 3;
- 7 – модельные участки установок 2, 3; 8 – лоток моделирования нижнего бьефа установки 2;
- 9 – вакуумный бак установки 3; 10 – лабораторный зал; 11 – мерный водослив установки 2;
- 12 – затвор горизонтального лотка установки 1; 13 – сбросный канал установок 2, 3

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕЦЕССИИ ВИХРЕВОГО ЯДРА В ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЕ ГИДРОТУРБИНЫ

А.А. Дектерев<sup>1,2</sup>, А.В. Минаков<sup>1</sup>, А.А. Сентябов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Отсасывающая труба представляет собой элемент проточного тракта ГЭС, который соединяет турбину с нижним бьефом. Поток в отсасывающей трубе обладает той или иной степенью закрутки в зависимости от режима работы турбины. При определенных режимах в данном потоке наблюдается крупномасштабные пульсации вследствие прецессии вихревого ядра, которые могут повредить конструкции турбины и снижают надежность работы оборудования. Особенно серьезные проблемы возникают, если пульсации входят в резонанс с другими характерными частотами системы (например, собственными частотами водовода или конструкций турбины). По этой причине достаточно большое внимание уделяется экспериментальному и численному исследованию нестационарных явлений в отсасывающей трубе гидротурбины, определению частоты и величины пульсаций, способам управления частотой прецессии вихря.

В настоящее время для численного исследования течения в отсасывающей трубе используются как универсальные, так и специальные программные коды. В данной работе проводится численное исследование течения в отсасывающей трубе гидротурбины Holleforsen с помощью программного комплекса sigmaFlow с использованием вихреразрешающих методов. Эта гидротурбина представляет собой лабораторный стенд, на котором проводились обширные экспериментальные и численные исследования [1].

При проведении нестационарных расчетов профили компонент скорости на входе брались из экспериментальной работы [2]. Граничные условия на входе представляли собой двумерное (зависящее от угла и радиуса) поле скорости, которое вращается вместе с лопастями. Двумерное поле скорости на входе периодически по углу с пятью периодами на один оборот, что соответствует пяти лопастям рабочего колеса.

Расчет проводился с помощью метода моделирования отсоединенных вихрей (Detached Eddy Simulation – DES), который совмещает полуэмпирические модели турбулентности с методом моделирования крупных вихрей (Large Eddy Simulation – LES). Решение уравнений несжимаемой жидкости производилось с помощью процедуры SIMPLEC. Дискретизация уравнений переноса осуществлялась по методу контрольных объемов на блочно-структурированной сетке. Использовались три сетки 29 тыс. ячеек, 232 тыс. ячеек и 783 тыс. ячеек.

Нестационарные расчеты проводились с шагом 0,001 с, что соответствует числу Куранта  $C_{CFL} < 0,4$  во всей области течения для сетки 29 тыс. ячеек и  $C_{CFL} < 1$  для сетки 232 тыс. ячеек. При расчетах на детальной сетке установление спектров пульсаций давления и кинетической энергии турбулентности длилось около 30 с. Период низкочастотных колебаний составил около 0,5 с. Фурье-преобразования сделаны по 32768 временным точкам, занимающим интервал около 33 с. За это время прецессирующий вихрь совершил около 50 оборотов.

Вблизи входа преобладают высокочастотные пульсации, индуцированные вращением колеса. В конце конического диффузора наибольшей интенсивностью обладают низкочастотные пульсации  $f = 1,5-2$  Гц (см. рис. 1). Рассмотрение спектров низкочастотных пульсаций в зависимости от детализации сетки показывает, что с увеличением детализации выделяется единственная определенная частота около 1,7 Гц. При этом высота пика увеличивается, а его толщина – уменьшается. Максимум спектра немного смещается относительно результатов на грубой сетке. Частоты, полученные по методу DES с использованием схем Quick и Umist TVD, на более детальной сетке (232 тыс. ячеек) почти не отличаются (1,74 Гц и 1,70 Гц соответственно), в отличие от результатов на грубой сетке. Величина пульсаций давления растет с детализацией сетки, но на двух самых детальных сетках почти не отличается. Результаты в данной работе близки к результатам расчетов других исследователей и экспериментальным данным, как по частоте, так и по величине пульсаций давления.

Визуально прецессию вихря можно изобразить с помощью изоповерхности  $\lambda_2$ , показывающей области минимума давления, связанные с закруткой потока. На рис. 2 приведены положения прецессирующего вихря с интервалом в 1/4 оборота.

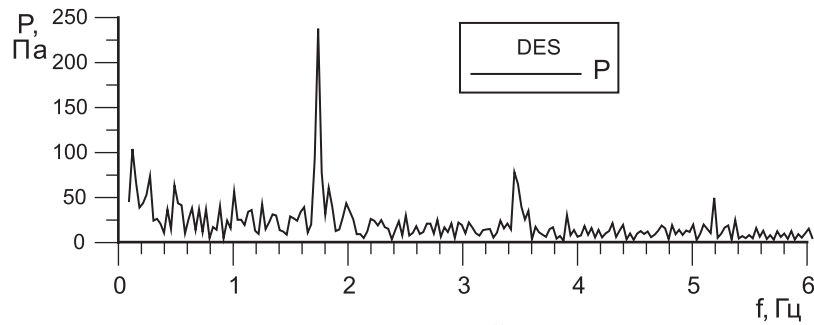


Рис. 1. Спектр пульсаций давления

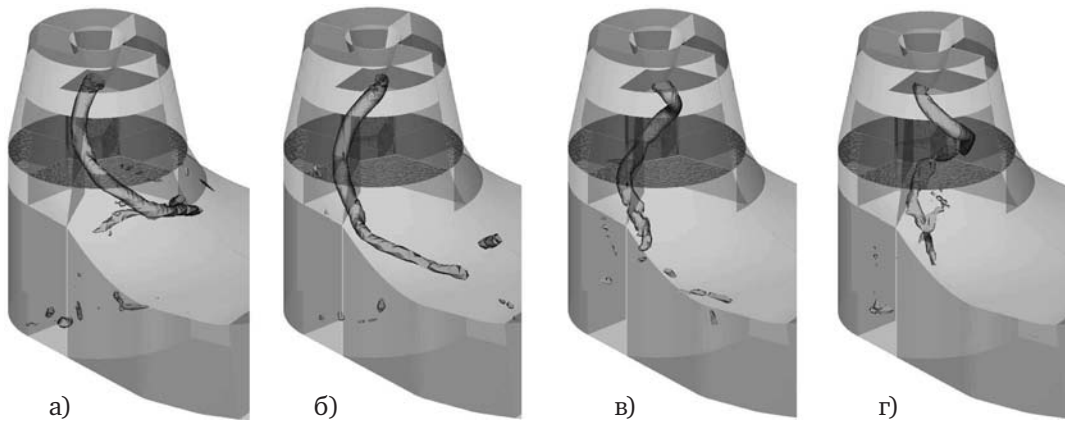


Рис. 2. Прецессия вихря (один оборот, через четверть периода, 0,14 с), изоповерхность  $\lambda_2$ , DES, кадры слева направо

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Proceedings of the third IAHR/ERCOFTAC workshop on draft tube flows Turbine 99.
2. Lovgren, H.M., Time-Dependent Pressure Measurements on the Turbine-99 Draft Tube, – H. M. Lovgren, M.J. Cervantes, L. H. Gustavsson, – 2<sup>nd</sup> IAHR International Meeting of the Workgroup on Cavitations and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, Timisoara, Romania, October 24 -26, 2007.



# ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ТЕЧЕНИЕ ИДЕАЛЬНОЙ СРЕДЫ ОКОЛО ТЕЛА, ОГРАНИЧЕННОГО НЕГЛАДКИМ КОНТУРОМ

*В.К. Коржев<sup>1</sup>, Л.И. Вишнеvский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Международная академия информатизации, г. Севастополь, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Моделирование обтекания тела идеальной средой можно получить путем распределения гидродинамических особенностей по его поверхности. В случае обтекания тела с гладкой поверхностью (с поверхностью типа Ляпунова) задача о распределении плотности эквивалентных особенностей сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода [1]. Отсутствие гладкости поверхности у обтекаемого тела приводит к нетрадиционному результату.

В работе на примерах обтекания цилиндра и эллипса с негладким контуром показывается, что в этих условиях их обтекание в гидродинамическом отношении эквивалентно непрерывному распределению гидродинамических особенностей и помещенной на контурах гидродинамической особенности в угловой точке (источника или стока). Это, в свою очередь, приводит к стремлению скорости у угловой точки к бесконечности и к нарушению потенциальности течения среды, а также к отсутствию парадокса Эйлера и Д'Аламбера при поступательном, равномерном движении тела в безграничной невязкой среде. Этот результат представляет, в частности, интерес с методической точки зрения при изложении соответствующих курсов механики сплошной среды, в которых помимо условий, выражающихся в постоянной скорости движения тела, и безграничности идеальной среды, необходимо для корректности изложения курса следует подчеркивать и гладкость контура обтекаемого тела. В отсутствии последнего условия как указывается в докладе сопротивление тела не равно нулю и парадокс Эйлера и Д'Аламбера не имеет места.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.– М.: Наука, 1970.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

К.А. Финников<sup>1</sup>, А.А. Гаврилов<sup>2</sup>, К.А. Демшин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Распространенным явлением в гидравлических устройствах является переход жидкости в двухфазное парожидкостное состояние при локальном снижении давления в потоке, иначе называемый кавитацией. Кавитация существенно усиливает нестационарность течения и порождает пульсации давления, которые могут представлять непосредственную угрозу повреждения оборудования, а также являются важным фактором в процессе кавитационной эрозии. В настоящее время, в связи с активным внедрением в инженерную практику численного моделирования гидродинамических процессов, актуальной задачей стала разработка методов моделирования кавитационных течений.

Кавитация в потоке жидкости принимает разнообразные формы. Наряду с протяженными областями, занятыми паром, в течении всегда присутствуют облака мелких паровых пузырьков. Описание структуры двухфазного потока в рамках единого подхода возможно на основе приближения квазигомогенной среды, в котором принимается, что любая, сколь угодно малая, область пространства может содержать жидкость, пар либо и то и другое в определенной пропорции. Объемные или массовые содержания жидкой и паровой фаз считаются непрерывными функциями координат и времени и включаются в число переменных задачи наряду с плотностью, скоростью и характеристиками турбулентности. Доли фаз определяются либо исходя из предположения о локальном термодинамическом равновесии, либо с учетом перепада давления между жидкой и паровой фазой, связанного с ростом или схлопыванием паровых пузырьков [1]. Представленные ниже расчетные результаты получены с использованием модели Кунца [2], в которой объемный источник массы пара определяется исходя из теории фазового перехода Гинзбурга-Ландау.

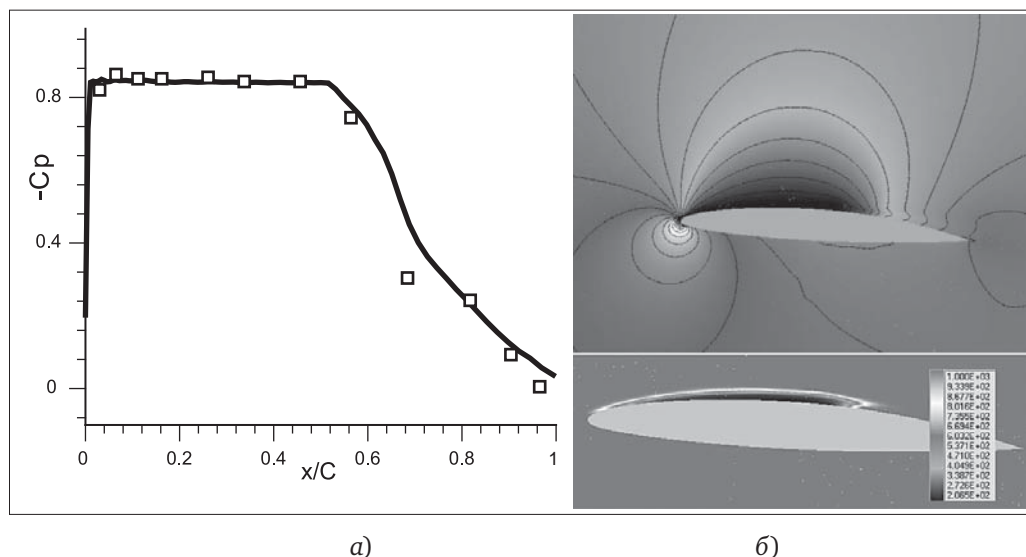


Рис. 1. Моделирование кавитационного обтекания гидрокрыла: а) сравнение расчетного (линия) и экспериментального (точки) распределения давления на верхней поверхности гидрокрыла; б) поле давления и распределение доли жидкой фазы в потоке

С целью тестирования численной методики проводилось моделирование обтекания гидрокрыла NASA6602-12% в стационарной постановке. Результаты моделирования представлены на рисунке 1. Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными свидетельствует о том, что использованная модель адекватно предсказывает усредненное по времени распределение давления и паровой фазы в кавитационном тече-

нии. На рисунках 2, 3 представлены результаты моделирования течения в рабочем колесе гидротурбины Сангтундинской ГЭС. Расчетные результаты позволяют предсказывать размеры и расположение кавитационной области. Исходя из рассчитанного расположения зон, в которых источник массы пара отрицателен, и в которых, следовательно, происходит схлопывание облаков паровых пузырьков, можно сделать предположения об областях развития кавитационной эрозии.

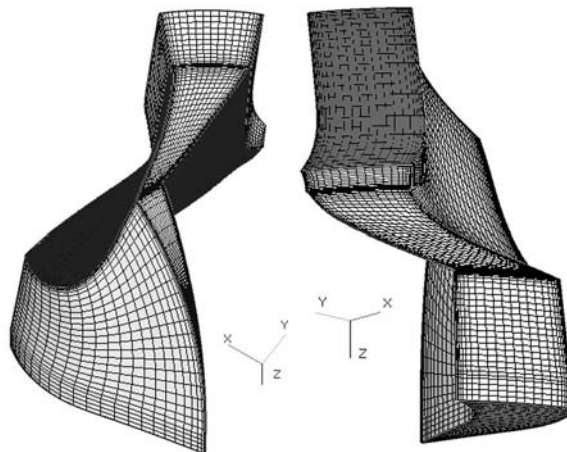


Рис. 2. Геометрия и расчетная сетка межлопастного пространства рабочего колеса гидротурбины. Синим цветом выделены поверхности лопастей, зеленым – вход потока, красным – выход

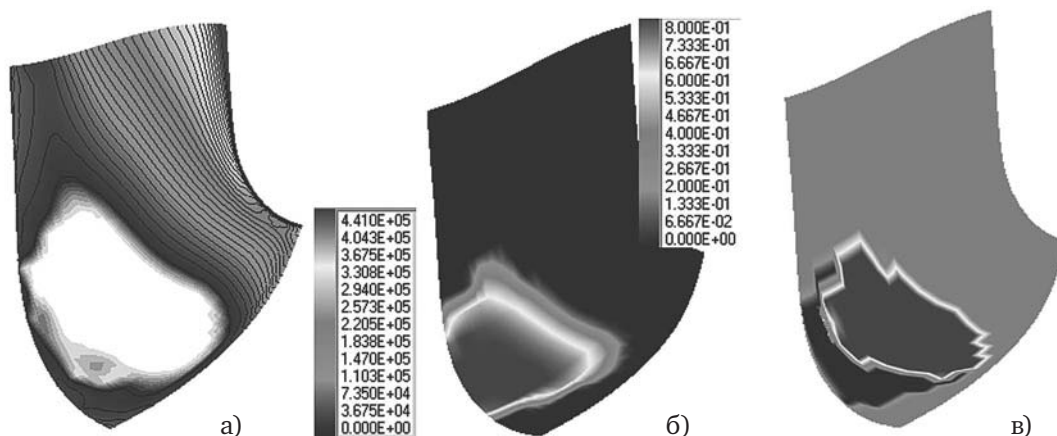


Рис. 3. Кавитация на тыльной стороне лопасти рабочего колеса: а) распределение давления на поверхности (белый цвет – область, где давление ниже давления насыщенного пара); б) распределение массовой доли паровой фазы; в) области положительных (красный цвет) и отрицательных (синий цвет) значений источника паровой фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Senocak I. «Computational methodology for the simulation of turbulent cavitating flows» / Senocac I., PhD thesis, University of Florida, 2002
2. Kunz, R.F. «A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction» / Kunz, R.F., Boger, D.A. et al, Computer and Fluids, 29, p. 849, 2000.

# ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ БЫСТРОХОДНОГО КАТЕРА ПРЕДСТАВИТЕЛЬСКОГО КЛАССА

С.Н. Климашевский<sup>1</sup>, Л.И. Вишнеvский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Проектно-исследовательское бюро «Полюс», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

В последние годы, последовавшие за перестройкой, многие государственные ведомства (госкомприроды, погранслужбы, внутренних дел) проявляют значительный интерес к созданию мобильных и надежно-экономичных средств для передвижения по рекам, озерам и прибрежным морским акваториям нашей страны. К таким средствам проявляют интерес и частные лица. Они выдвигают свои технические требования и оказывают финансовую поддержку их созданию. Это обусловлено сложившимися к настоящему времени условиями.

Действительно, во многих регионах России имеется множество рек, озер и других акватории, которые могут служить коммуникационной сетью для связи с различными регионами. Развитие в них дорожных сообщений сегодня является делом дорогостоящим и затратным, а потому будет еще долго сдерживаться отсутствием достаточного финансирования для их развития. В тоже время использование уже готовых, водных коммуникационных сетей для связи различных удаленных регионов России является делом достаточно перспективным и заманчивым и вполне реализуемым с помощью воднотранспортных средств. Особое место в этом проекте могут занимать катера представительского класса, постройка и использование которых может представлять еще и особый интерес для частных предпринимателей, ищущих выгодные пути вложения денежных средств.

Ниже представлено инновационное, техническое предложение, разработанное в инициативном порядке и направленное на создание быстроходного катера, представительского класса со скоростью хода около 100 узлов. Катер имеет следующие характеристики (рис. 1):

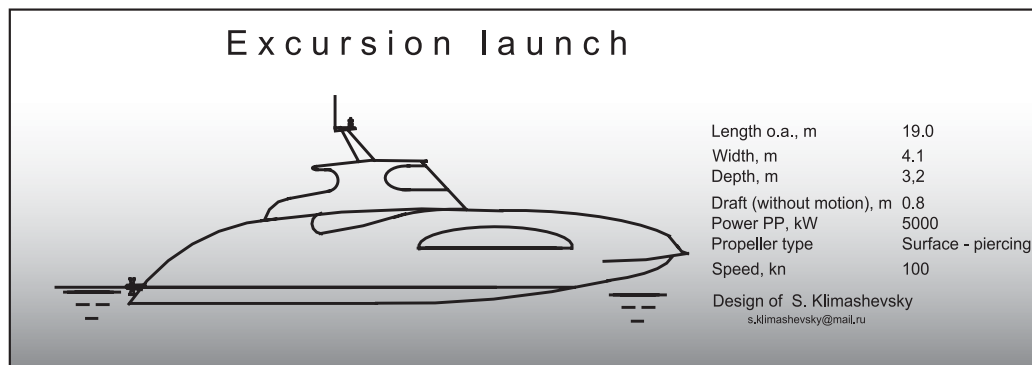


Рис. 1. Общий вид спроектированного катера

Особый интерес в этом катере представляет пропульсивная система, в основе которой лежит газотурбинный, главный двигатель авиационного исполнения.

Мощность от него передается на движители за счет гидropередачи и перерабатывается на скорости до 30 узлов традиционным гребным винтом, а на скоростях более 60 узлов частично погруженным гребным винтом.

Как показала предварительная проработка, использования водометного движителя на катере может быть целесообразна в диапазоне 35-60 узлов (см. рис. 2), в котором катер использовать не предполагается. Для оперативного смены движителя на катере предполагается использовать движительно-винтовой рулевой комплекс (ДВРК), представленный на рисунке 3 в одном из вариантов исполнения проекта. Работа этого ДВРК обсуждается в докладе.

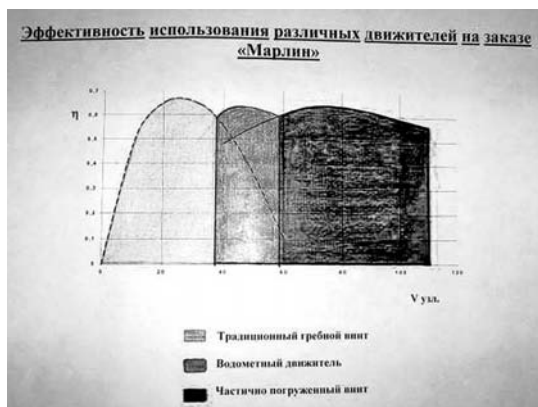


Рис. 2. Эффективность двигателей катера, проработанные к проекту

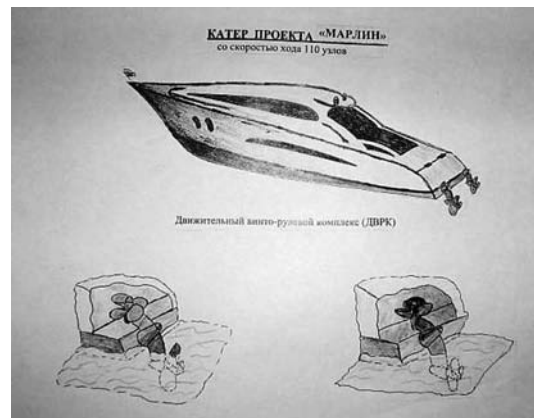


Рис. 3. Движительно-винтовой рулевой комплекс катера

Приведенная в докладе информация, касающаяся катера инновационного проекта, не является полной и представлена в докладе с одобрения инвестора.

## ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Л.В. Кашкина, В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина, О.П. Стебелева*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

В работе проведено исследование кавитационного воздействия на различные порошковые материалы. Сюда относятся золы Канско-Ачинских углей, различные виды саж (фуллереносодержащая, древесная), порошки термообработанной целлюлозы. Выбор объектов исследования не случаен. Во-первых, остро стоит вопрос об эффективной переработке различных промышленных отходов. Во-вторых, в связи с обнаружением уникальных физико-химических и физико-механических свойств у материалов, содержащих в составе частицы нанометрового диапазона, возникла проблема активного поиска эффективных и относительно дешевых технологий, позволяющих получать наноматериалы. Известно, что кавитационная гидродинамическая технология [1] относится к сильным энергетическим воздействиям на вещество, включающим высокотемпературное и ударно-волновое. Физические особенности среды вокруг схлопывающегося кавитационного пузырька по физическим параметрам напоминают состояния, реализующиеся в пылевой плазме. Эти воздействия кратковременны (до  $10^{-7}$ с), однако частицы перемещаются в полях кавитационных пузырьков секунды и десятки секунд, что приводит к значительным усредненным энергетическим воздействиям. В результате происходит интенсивная диспергация различных порошковых материалов. Исследование влияния кавитации на твердотельные материалы были поведены ранее [2, 3 и др.]. Данные исследования являются продолжением этих работ. При исследовании использовался комплекс современных физических методов. В работе были использованы флуоресцентный спектрометр S-4 Pioneer фирмы Bruker, ЭПР-спектрометр E-500 фирмы Bruker, рентгеновский дифрактометр SMART APEX II, просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100, растровый электронный микроскоп Hitachi TM-1000, универсальный цифровой видеомикроскоп высокого разрешения HIROX KH-7700 (Япония), установка ядерного гамма резонанса (эффект Мёссбауэра). Электронно-микроскопические исследования выполнены в лаборатории электронной микроскопии ЦКП СФУ. Состав изучаемых образцов определялся с точностью не хуже 0,001 % в зависимости от элемента.

Эксперименты проводились на суперкавитационном миксере [4], мощность электродвигателя которого составляет 1 кВт; объем рабочей камеры –  $2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>. Блок управления электродвигателя позволяет плавно изменять число оборотов ротора в диапазоне от 0 до 20 000 об/мин и стабилизировать заданное число оборотов кавитатора независимо от нагрузки.

Обнаружено, что в результате эффективной диспергации частиц зола (регистрировалось уменьшение размеров частиц практически на порядок) наблюдается эффект разделения содержания окислов железа  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$  в осадке и взвеси. Кроме того, происходит изменение магнитных свойств металлов и их соединений, содержащихся в золе за счет перераспределения  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$  в октаэдрических и тетраэдрических положениях кристаллической решетки  $Fe_3O_4$ . Следует отметить, что такие значительные изменения физических свойств зольных порошков произошли в течение достаточно кратковременного кавитационного воздействия (не более 1 минуты).

После кавитационной обработки саж и термообработанной целлюлозы были получены тонкодисперсные водные суспензии с нетривиальными физическими свойствами. По данным ЭПР, размеры углеродных частиц близки к нанометровым, время седиментации измеряется сутками. В садках всех образцов четко прослеживается эффект самоорганизации углеродных частиц с образованием макроагрегатов, по форме повторяющих углеродные нанотрубки (рис. 1). Сильное энергетическое возбуждение углеродных частиц в образцах приводит к возможности эффективного обмена энергией возбуждения между возбужденными молекулами среды. Экспериментально это подтверждается их когезией [5] (рис. 2, 3).

Углеродные кластеры сажи, получив сильное кавитационное энергетическое воздействие, придают направленность действию дисперсионных сил с молекулами среды. В работе был проведен анализ оптических изображений образцов цементного камня (увеличение 5000 $\times$ ), полученного затворением обычной водой с микродобавками (примерно 0,01%) древесной сажи после кавитационного воздействия. Обнаружено изменение направленности гидратации цемента,



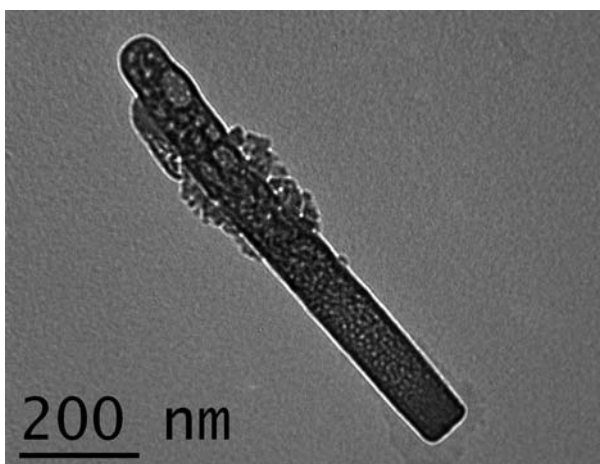


Рис. 1. Самоорганизация частиц термообработанной целлюлозы в виде трубчатых структур. Кавитационное воздействие в течение 1 мин, скорость кавитатора 15000 об/мин (электронный микроскоп JEOL JEM-2100)

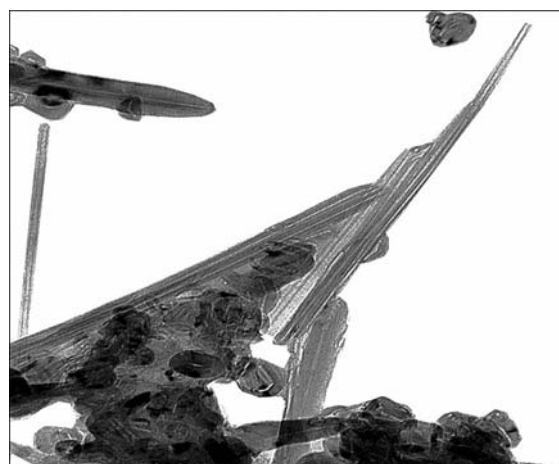


Рис 2. Микрофотография явления агломерации астраленов на многослойных нанотрубках [5]

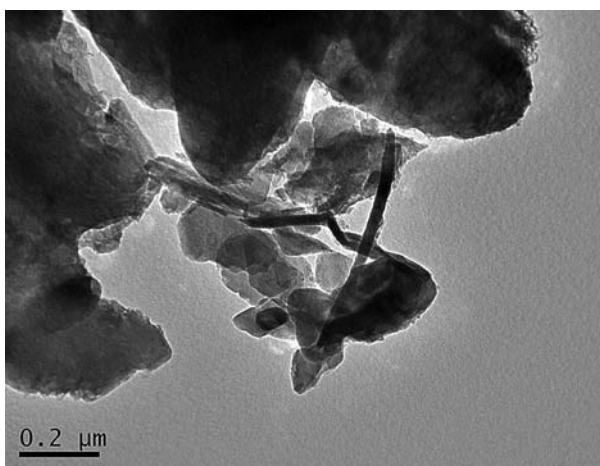


Рис. 3. Агломерация частичек термообработанной целлюлозы после кавитационного воздействия. Вращение 5000 об/мин в течение 2 мин (микроскоп JEOL JEM-2100)

которое проявляется уже на начальных стадиях процесса. Наблюдается пространственное изменение структуры и возникновение участков с фибриллярно-пористой структурой. Подобные структуры в цементном камне наблюдались при затворении цемента водой с добавками астраленов (рис. 2) в виде низкоконцентрированной суспензии [6]. В образцах цементного камня без добавления сажевых наномодификаторов изменения структуры не наблюдалось. Полученные результаты подтверждают, что в результате кавитационного воздействия на углеродосодержащие порошки разной природы (сажи, термообработанная целлюлоза и т.п.) получаются нанодисперсные водные суспензии с энергетически активными частицами углерода, которые можно использовать как центры управления надмолекулярной структурой в неорганических композиционных материалах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивченко В.М., Кулагин В.А., Немчин А.Ф. Кавитационная технология. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. – 200 с.
2. Захаров А.А., Кулагин В.А., Королев В.Л. Гидродинамическое диспергирование ультрадисперсных материалов // Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: Труды Второй межрегиональной конференции с международным участием. Красноярск: КГТУ, 1999. С. 179–187.
3. Кулагин В.А., Королев В.Л. Изучение кинетики получения ультрадисперсных алмазов с помощью вибрационной (ультразвуковой) и гидродинамической кавитации // Вестник КГТУ. Вып. 8. – Красноярск: КГТУ, 1997. - С. 61–66.
4. Кулагин В.А. Суперкавитационный миксер // Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КрПИ, 1992. - С. 134–140.
5. Пономарев А.Н. Технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов // Труды ТПКММ. – М. - 2003. - С. 508-518.
6. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал, 2009. - № 6. – С. 25-33.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СУПЕРКАВИТИРУЮЩЕМ ИСПАРИТЕЛЕ

В.А. Кулагин, Т.А. Пьяных

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Водные ресурсы Российской Федерации характеризуются значительной неравномерностью распределения по территории страны. Согласно Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г. необходимо обеспечить комплексное решение ряда проблем, основными из которых являются: нерациональное использование водных ресурсов; наличие в отдельных регионах Российской Федерации дефицита водных ресурсов; несоответствие качества питьевой воды, потребляемой значительной частью населения, гигиеническим нормативам.

Существующие методы термического опреснения обладают рядом существенных недостатков: высокой степенью накипеобразования, малой энергонапряженностью поверхности теплообмена, большими габаритами. Улучшение указанных характеристик наблюдается при получении пресной воды питьевого качества с помощью суперкавитирующих (СК) испарителей [1]. Процесс испарения в СК-испарителях осуществляется за счет создания развитого кавитационного течения при обтекании недогретой жидкостью с высоким давлением кавитаторов различной формы с последующим отбором пара из образовавшихся суперкаверн.

Эффективность СК-испарителей главным образом определяется формой и размерами суперкаверны. В данной работе для оценки поверхности испарения предлагается использовать модель смеси в стационарном виде [2].

Уравнение неразрывности смеси:

$$\nabla \cdot (\rho_{см} \vec{v}_{см}) = 0, \quad (1)$$

где  $\rho_{см}$  – плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_{см} = \alpha_B \rho_B + \alpha_{II} \rho_{II} \quad (2)$$

и  $v_{см}$  – скорость, усредненная по массе, м/с;

$$\vec{v}_{см} = \frac{\alpha_B \rho_B v_B + \alpha_{II} \rho_{II} v_{II}}{\rho_{см}}, \quad (3)$$

$\alpha_B$  и  $\alpha_{II}$  – объемные доли воды и пара соответственно.

Уравнение движения:

$$\nabla \cdot (\rho_{см} v_{см} v_{см}) = -\nabla P + \nabla \cdot \left( \mu_{см} (\nabla v_{см} + \nabla v_{см}^T) \right), \quad (4)$$

где  $P$  – давление, Па,  $\mu_{см}$  – коэффициент динамической вязкости смеси, Па·с;

$$\mu_{см} = \alpha_B \mu_B + \alpha_{II} \mu_{II}. \quad (5)$$

Турбулентность учитывается использованием  $k - \varepsilon$  модели. Уравнения переноса для кинетической энергии турбулентности  $k$ , м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>, и ее диссипации  $\varepsilon$ , м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>:

$$\nabla \cdot (\rho_{см} k v_{см}) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + G - \rho_{см} \varepsilon, \quad (6)$$

$$\nabla \cdot (\rho_{см} \varepsilon v_{см}) = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \rho_{см} \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (7)$$

здесь  $G$  – скорость генерации турбулентности,  $\mu_t$  – турбулентная вязкость. Эмпирические константы имеют следующие значения:  $\sigma_k = 1$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ ,  $C_1 = 1,44$ ,  $C_2 = 1,92$ .

Уравнение переноса пара:

$$\nabla \cdot (\rho_{II} v_{см} \alpha_{II}) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \alpha_{II}) + R_e - R_c, \quad (8)$$

где  $\Gamma$  – коэффициент диффузии,  $R_e$  и  $R_c$  – значения генерации и конденсации пара, зависящие от давления, при  $P < P_H$ .

$$R_e = C_e \frac{V_{ch}}{\sigma} \rho_B \rho_{II} \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{P_H - P}{\rho_B} \right)^{1/2} (1 - \alpha_{II}), \quad (9)$$

при  $P > P_H$

$$R_c = C_c \frac{V_{ch}}{\sigma} \rho_B \rho_B \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{P - P_H}{\sigma_B} \right)^{1/2} \alpha_{II}, \quad (10)$$

где  $11 pt_{ch}$  – характеристическая скорость,  $\gamma$  – поверхностное натяжение воды,  $\rho_H$  – давление насыщения  $V$  при данной температуре,  $C_e = 0,02$  и  $C_c = 0,01$  – эмпирические константы.

В модели исследовались режимы кавитационного испарения при обтекании конуса с диаметром основания  $d = 16$  мм, и углом раствора конуса  $45^\circ$ . Диаметр рабочего участка  $D_0 = 55$  мм. Численный эксперимент проводился для холодной воды, имеющей температуру  $20^\circ\text{C}$ . Скорость потока на входе в рабочий участок принималась  $14$  м/с. На выходе из расчетной области задавалось давление  $45$  кПа.

Решение задачи проводилось методом контрольного объема с использованием коммерческого CFD пакета. Сопоставление результатов расчета, представленных на рис. 1 и рис. 2, с экспериментальными данными, подтверждает возможность использования данной математической модели для описания рабочих процессов в СК-испарителях.

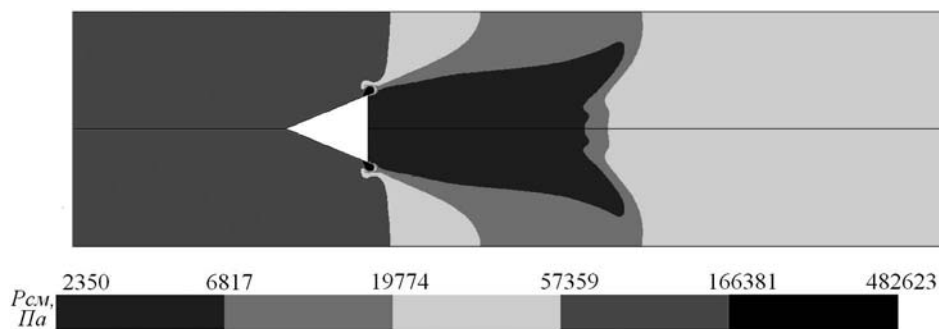


Рис. 1. Распределение давления в смеси

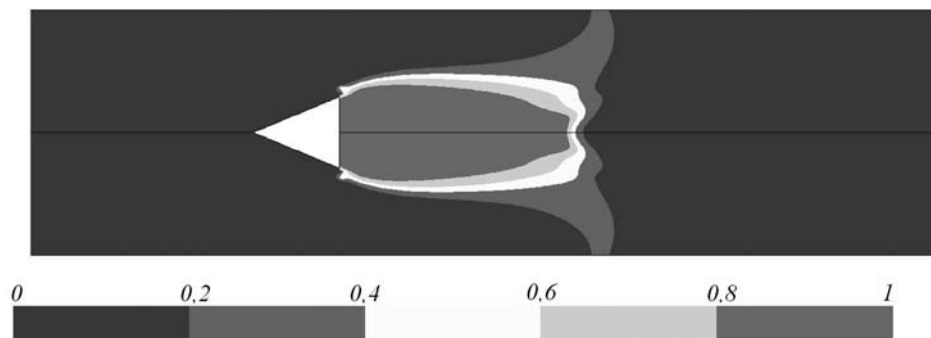


Рис. 2. Доля пара в смеси

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивченко, В. М. Кавитационная технология / В. М. Ивченко, В. А. Кулагин, А. Ф. Немчин; ред. Г. В. Логвинович. - Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. - 200 с.
2. Application of the Full Cavitation Model to Pumps and Inducers/ Mahesh M. Athavale, H. Y. Li, Yu Jiang, Ashok K. Singhal// International Journal of Rotating Machinery.8(1).- 2002. - С. 45-56.

## ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА С ВЫНОСОМ АККУМУЛИРУЮЩИХ ЕМКОСТЕЙ НА ПРИТОКИ

*М.П. Федоров, В.В. Елистратов, В.И. Масликов*

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

В современных условиях важнейшим вопросом развития гидроэнергетики является обеспечение надежного и безопасного функционирования гидроэнергетических объектов при минимизации воздействия на окружающую среду. Наблюдается тенденция сооружения каскадов гидроузлов со ступенями, имеющими сравнительно небольшие напоры. При этом существенно снижается площадь затопления и появляется возможность использования хорошо освоенного и зарекомендовавшего себя оборудования с высокими эксплуатационными показателями. Однако недостатком такого подхода является снижение регулирующих способностей водохранилищ для энергетики и борьбы с наводнениями.

Решение этих проблем требует поиска новых более эффективных подходов использования водных ресурсов и регулирования стока с участием ГЭС. Одним из способов является сооружение на основной реке гидроузла с ГЭС комплексного назначения с уменьшенной емкостью регулирования стока, а на боковых притоках размещение гидроузлов, в которых формируется дополнительная регулирующая емкость. Это позволяет защитить значительные площади земель в речном бассейне за счет территориального распределения регулирующей емкости.

В СПбГПУ выполняются исследования по совершенствованию методологии комплексного использования гидроэнергетических ресурсов в зоне риска наводнений. Разработана методика, алгоритмы и программно реализованы математические модели регулирования экстремальных расходов распределенной на водосборе системой гидроузлов в составе руслового с ГЭС в нижнем течении основной реки и гидроузлов на боковых притоках с учетом многообразия условий функционирования, а также требований охраны окружающей среды.

Предложенная схема была использована для регулирования паводков в бассейне р. Селемджи в Дальневосточном регионе, где наиболее часто в России наблюдаются катастрофические наводнения.

Был выполнен анализ проектных режимов работы проектируемой Селемджинской ГЭС при пропуске паводковых расходов расчетной обеспеченности через агрегаты ГЭС и донные отверстия. Во время пропуска паводка все агрегаты ГЭС работают в базисном режиме установленной мощностью. Донные отверстия работают в двух режимах «полного открытия» и «полного закрытия», их количество определяется проектным диспетчерским графиком. Установлено, что при регулировании паводковых расходов русловым водохранилищем Селемджинской ГЭС не удастся обеспечить безопасный допустимый расход воды в нижнем бьефе. В период регулирования паводковых расходов водохранилищем Селемджинской ГЭС ее мощность в среднем составляет 96 МВт. Выработка электроэнергии определилась в размере 138 млн. кВт·ч.

Рассмотрен альтернативный вариант регулирования паводков при уменьшении аккумулирующей емкости в водохранилище ГЭС за счет её рассредоточения в системе гидроузлов с кратковременно затапливаемым ложем на боковых притоках р. Селемджи – реках Норе, Быссе, Альдиконе. С использованием компьютерной программы математической модели обоснования параметров и режимов работы противопаводкового гидроузла с нерегулируемыми донными и поверхностными водопропускными сооружениями по каждому гидроузлу были выполнены гидравлические расчеты, определялись зарегулированные расходы в нижнем бьефе, отметки уровня воды в верхнем бьефе, объем воды при аккумулировании противопаводкового стока, площади и продолжительность затопления земель.

Анализ результатов расчетов показал, что максимальный расход в нижнем бьефе ГЭС снижается на 32%. Данный расход примерно равен естественному расходу 10% обеспеченности, что позволяет сохранить паводковый режим в пойме реки

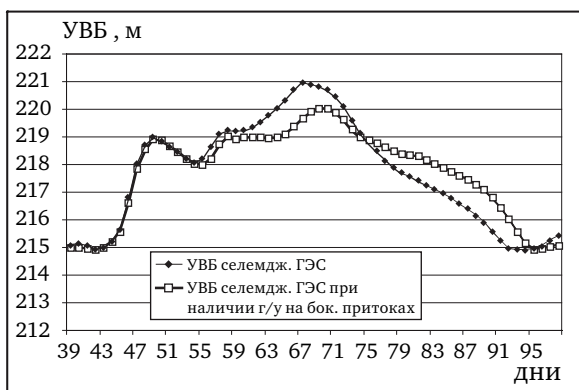


Рис. 1. Изменение уровней воды в ВБ ГЭС в дни паводка

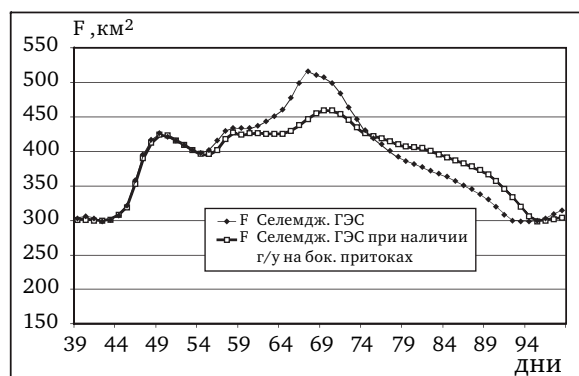


Рис. 2. Площадь затопления земель водохранилищем ГЭС

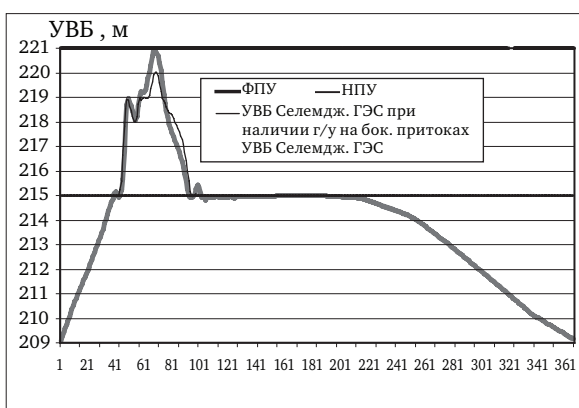


Рис. 3. Изменение уровней в ВБ ГЭС при годичном регулировании стока

Исследование эффективности совместного регулирования паводковых расходов системой распределенных на водосборе гидроузлов выполнялось для двух основных вариантов:

- совместная работа Селемджинского гидроузла и каждого из гидроузлов на боковых притоках;
- совместная работа Селемджинского гидроузла и нескольких гидроузлов на боковых притоках

При этом учитывалась возможная различная обеспеченность паводковых расходов на боковых притоках бассейна р.Селемджи. Выполненный анализ режимов регулирования стока показал, что требования удовлетворяются

если совместно с Селемджинским гидроузлом будет работать Норский гидроузел. Этот состав гидроузлов принимается в качестве основного. При работе Норского гидроузла, поступающий в русловое водохранилище максимальный расход 1% обеспеченности уменьшается примерно на 5%. При этом отметка ФПУ может быть снижена на 1 метр, (рис. 1), а площадь затопления земель в верхнем бьефе ГЭС уменьшается на 11,7% (рис. 2).

В случае аккумуляции паводковых расходов только одним русловым водохранилищем Селемджинской ГЭС, чтобы при его заполнении отметка уровня воды не превысила 220 м, необходимо проводить предпаводковую сработку водохранилища в размере около 38% полезного объема. В результате в этот период существенно снижается напор энергоотдача ГЭС. В варианте сооружения противопаводковых гидроузлов на боковых притоках предпаводковая сработка руслового водохранилища не требуется.

Таким образом, работа неэнергетического гидроузла на боковом притоке приводит к энергетическому эффекту на русловой ГЭС, выражающемуся в увеличении выработки электроэнергии в период паводков.

Произведена оценка годичного режима работы Селемджинской ГЭС при совместном регулировании паводковых расходов с Норским гидроузлом (рис. 3).

Водно-энергетические расчеты выполнялись с использованием проектного диспетчерского графика режимов работы Селемджинского водохранилища.

### Основные выводы

1. При варианте регулирования стока системой распределенных на водосборе гидроузлов выявлено, что при обеспечении той же энергоотдачи ГЭС возможно снижение площади затопления земель в верхнем бьефе на 11%.
2. Зона защиты верховых участков р.Селемджи за счет регулирующих гидроузлов и снижается удельная антропогенная нагрузка за счет ее рассредоточения в пределах речного бассейна.
3. Снижаются затраты в гидроузел, относимые на гидроэнергетику.



# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД В СУПЕРКАВИТАЦИОННОМ МИКСЕРЕ

В.В. Евстигнеев, В.А. Кулагин

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

В условиях роста городов все актуальнее возникает необходимость разработки и внедрения в производство новых более совершенных теплофизических процессов обработки природных и сточных вод. В последние десятилетия воздействие на речные экосистемы особенно возросло в связи с антропогенными факторами. Так, во многих речных системах, в том числе, в системе рек города Красноярска, отмечена тенденция увеличения концентрации ионов натрия, калия, магния, хлора, сульфитов-ионов, нитрат-ионов, фосфат-ионов и др., а также содержания тяжелых металлов, радионуклидов. По результатам исследования воды поверхностных и подземных водисточников Красноярского края, используемых для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, по административным территориям [2] можно говорить о стабильном несоответствии источников централизованного водоснабжения по санитарно-химическим и бактериологическим показателям. На рисунке 1 представлена доля проб, не соответствующих гигиеническим нормативам (2006-2008 гг.).

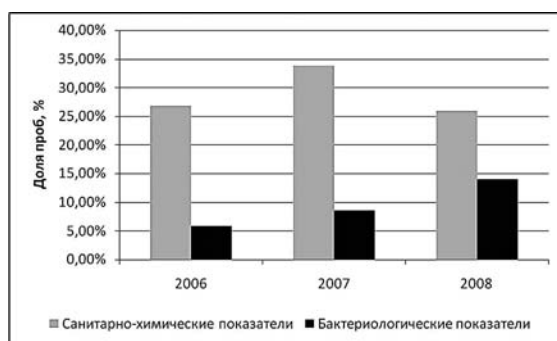


Рис. 1. Доля проб, не соответствующих гигиеническим нормативам, по годам (2006-2008 гг.)

Причинами, объясняющими неблагоприятное санитарное состояние источников питьевого назначения на территории Красноярского края, являются: отсутствие надлежащим образом устроенных зон санитарной охраны водисточников, недостаточный контроль за режимом хозяйствования на их территории; природное превышение концентраций веществ в воде. Из 1378 источников питьевого водоснабжения 520 не имеют организованных зон санитарной охраны (ЗСО), в том числе 19 поверхностных и 501 подземный источник водоснабжения (табл. 1).

Таблица 1

Изменение санитарного состояния объектов централизованного питьевого водоснабжения на территории Красноярского края за 2005-2008 гг.

Причины несоответствия объектов водоснабжения санитарным требованиям	Доля объектов водоснабжения, не отвечающих санитарным требованиям, по годам, %			
	2005	2006	2007	2008
Отсутствие организованной ЗСО	29,5	33,2	17,2	21,5
Отсутствие необходимой водоподготовки	10,9	8,0	6,9	6,9
Отсутствие обеззараживания воды	4,7	8,4	2,8	3,8

Поэтому одной из приоритетных задач в области водоснабжения и водоотведения является обеспечения качественной питьевой водой население, снижение поступления токсичных веществ со сточными водами промышленных предприятий, очистка бытовых сточных вод.

В воде источников водоснабжения обнаруживаются несколько тысяч органических веществ разных химических классов и групп. Органические соединения природного происхожде-



ния, а именно жизнедеятельности фитопланктона, – гуминовые вещества, различные амины, др., которые способны изменять органолептические свойства воды, оказывать пагубное влияние на здоровье человека. В периоды цветения водоема количество клеток фитопланктона достигает 150-200 млн в 1 мл воды.

В связи с этим важнейшей задачей является разработка мероприятий и конструктивных решений, более полно учитывающих экологические последствия обработки сточных вод, с учетом их эффективности и экономической целесообразности. Особый интерес вызывает возможность использования для решения этой задачи энергии, высвобождаемой в объеме жидкости в результате термодинамических эффектов кавитации.

В результате проведенных работ [1] изучено влияние кавитационной обработки в суперкавитационном миксере на содержание кишечной палочки и золотистого стафилококка в питьевой воде. Опыты проводились с клиновидным кавитатором (угол при вершине клина составлял  $\sigma=20^\circ$ ) при температуре 20-22°C. Варьировалось число оборотов ротора в диапазоне от 2 до 10 тыс.об/мин соответственно. Число кавитации составило  $\chi=0,56-0,02$ , время обработки –  $\tau$ . Измерения проводились с помощью метода светорассеяния и электронного микроскопа. Результаты эксперимента представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, характер изменения концентрации для кишечной палочки стафилококка одинаков, близки и количественные характеристики, что видимо, объясняется примерно одинаковыми характеристиками клеток. Модуль Юнга равен соответственно  $5 \cdot 10^9$  и  $4 \cdot 10^8$  дин/см<sup>2</sup>, а прочности клеточных оболочек составляет  $10^6-10^{11}$  дин/см<sup>2</sup> [4]. Учитывая полученные данные и уровень расчетных значений при кавитационном воздействии ( $P \sim 10000$  атм;  $T \sim 10^{11}$  к/с;  $T \sim 2000$  К;  $P_m \sim 10^8$  Па), можно сделать заключение о достаточности силового воздействия для разрушения клеточного материала.

Влияние кавитационной обработки на объекты живой природы, не вдаваясь в детали процесса разрушения клеток, достаточно хорошо описанных в литературе, например [3], можно констатировать обеззараживающее действие кавитации на питьевую воду. Одновременно наблюдается гомогенизация по размерам дисперсной и гетерогенной фазы. Полученные в [1] данные хорошо согласуются с результатом экспериментов с клетками стрептококка и дрожжевой клетки *Kluveromyces fragilis* [5]. Интенсивное воздействие ударных волн на бактерии типа Сальмонеллы или E-coli могут уменьшить их численность в тысячи раз.

Нет необходимости строить громоздкие флотаторы и протяженные отстойники, отнимающие значительные земельные ресурсы и огромные капиталовложения, как на постройку, так и на эксплуатацию.

Можно и дальше приводить примеры эффективности кавитационного воздействия на обрабатываемые жидкости. Области применения кавитации в различных технологических процессах очень широки. Все это становится возможным за счет концентрации энергии в пространстве и во времени, как это происходит при коллапсе кавитационного пузыря.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровская О.Г. Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации Красноярск 2008г, 134 с.
2. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2008 год. Красноярск 2009, 266с.
3. Кулагин В.А., Вильченко А.П., Кулагина Т.А. Краевая задача обтекания решетки профилей в пузырьковом потоке жидкости // Компрессорная техника и пневматика. 1999. № 3-4 (22-23). С. 57-81.
4. дезинтеграторная активация // Сборник статей СКТБ «Дезинтегратор». Таллин: Валгус, 1980. 112с.
5. Есиков С.А., Картушинский А.В., Марченкова Т.В. Кавитационное воздействие на микроорганизмы // Вестник КГТУ. Вып. 3. Гидродинамика больших скоростей. Красноярск: КГТУ, 1996. С. 22-35.

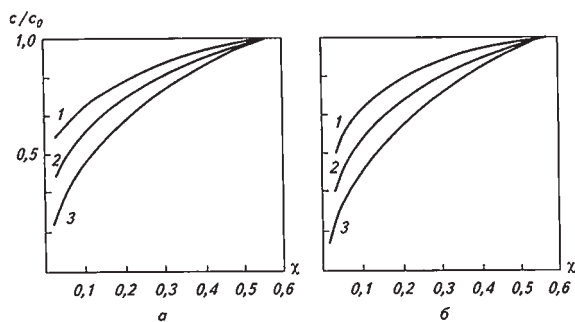


Рис. 2. Зависимость безразмерной концентрации  $c/c_0$  от числа кавитации  $\chi$ : а – кишечная палочка; б – золотистый стафилококк; 1- $\tau = 30$  с – 1 мин; 3-3 мин;  $C_0$  – исходная концентрация

# ЭФФЕКТИВНОЕ СЖИГАНИЕ МАЗУТА

О.В. Каютин

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Основными источниками теплоты для большинства потребителей различных ведомств Российской Федерации являются котельные средней и большой мощности. Как правило, такие котельные используют в качестве основного топлива мазут. В современных условиях эксплуатации котельных установок при сжигании мазута возникает ряд проблем, которые не только влияют на надежность работы энергетического оборудования, но и приводят к перерасходу топлива, снижению технико-экономических показателей, загрязнению окружающей природной среды.

## Проблемы, возникающие при использовании мазута

Наиболее часто встречающимися проблемами при использовании мазута на котельных установках являются:

1. Ухудшение качества исходного мазута. В энергетической стратегии развития России до 2020 г. предусматривается не только рост объемов добычи нефти, но и одновременное увеличение глубины ее переработки. Более глубокая переработка нефти приведет к изменению ряда физико-химических свойств мазута. В мазуте, как конечном продукте нефтепереработки, сосредоточивается балласт – негорючая часть, состоящая из минеральной массы, воды. В процессах нефтекрекинга легкие углеводородные фракции, бензин, керосин, дизельное топливо насыщаются содержащимся в нефти водородом в большей степени, поэтому в мазуте содержание водорода по сравнению с сырой нефтью уменьшается, что приводит к снижению его теплотворной способности. Снижение теплотворной способности мазута обуславливается повышенным содержанием в его составе серы, азота, кислорода, смол, асфальтенов, золы, механических примесей. Из-за изменения технологии переработки нефти, с целью получения большего количества светлых продуктов, снижается качество мазута, в частности повышается его вязкость и температура вспышки. Сжигание тяжелых и вязких мазутов, особенно сернистых, встречает значительные трудности, из-за большой вязкости и высокой температуры застывания возникают проблемы при сливе цистерн, перекачке мазута и при его распыливании для сжигания.

2. Обводнение мазута. При разгрузке, транспортировании, хранении и поддержании в горячем резерве мазут насыщается водой. Некоторое количество воды может отстаиваться. Отстоявшуюся воду частично сливают из емкостей при хранении. Но в основном вода в виде линз или «мешков» неравномерно и спонтанно распределяется по всей массе мазута, что приводит к резкому ухудшению условий его сжигания. Эта вода попадает в мазутопроводы и через них к горелкам. В результате ухудшаются условия сжигания мазута, факел становится нестабильным, выгорание мазута – неполным, увеличивается количество вредных веществ в продуктах сгорания, снижается надежность котельного оборудования.

Кроме этого, повышается среднеэксплуатационный коэффициент избытка воздуха. Так, при сжигании мазута даже с кондиционным обводнением до 5% КПД котла уменьшается на 0,5-1,5%. При сжигании мазута с обводнением 15% КПД котла снижается на 2-3,5%. Поэтому борьба с обводнением мазута является первоочередной задачей энергетиков, которую необходимо решить для обеспечения надежной и экономичной работы оборудования. Существующие пути ее решения малоэффективны и весьма трудоемки.

Широко практикуемое удаление воды из мазута отстаиванием не решает полностью поставленную цель, так как плотности воды и мазута практически равны. Другие методы обезвоживания (термические, термохимические, центрифугирование, выпаривание, продувка сжатым воздухом и т.п.) в большинстве случаев неэффективны из-за высокой стоимости, которая иногда составляет до 25% стоимости товарного мазута, а также приводят к дополнительным потерям мазута с дренируемой водой, что в свою очередь приводит к загрязнению окружающей среды.

В результате, при хранении и подогреве мазута, потребитель получает мазут с повышенным содержанием влаги. Обводненный мазут, содержащий твердые фракции, имеющий повышенную температуру вспышки и другие отклонения от норм, нарушает режим горения, загрязняет поверхности нагрева, повышает недожог топлива, образует отложения несгоревших частиц кокса по газовому тракту, может привести к обрыву факела и аварийному останову оборудования.

3. «Старение» мазута. Основным видом резервного топлива на котельных является мазут. Расчетный срок резервирования мазута составляет от 8 до 12 месяцев, а фактическая длительность хранения резервного топлива составляет несколько лет. При длительном хранении мазута постепенно ухудшаются его свойства, происходит полимеризация углеводородных компонентов, расслоение по плотностям отдельных фракционных групп, что приводит к образованию высоковязкого слоя и «мертвого остатка» в придонной части резервуаров и создает серьезные эксплуатационные проблемы. В процессе длительного хранения из мазута испаряются легкие фракции, что приводит к повышению его вязкости и температуры вспышки. Содержание воды в длительно хранимом мазуте достигает до 20%. Как правило, после двух-трех лет хранения сжигание такого мазута становится невозможным, и его надо заменять на белее свежий мазут. По истечении гарантийного срока хранения в топливе зарождаются смолистые сгустки, которые, со временем увеличиваясь в размере, в силу большей, чем у жидкой фазы, плотности осаждаются в нижней части резервуара. В слое вязкотекучего донного осадка протекают поликонденсационные процессы, приводящие к образованию мелкодисперсных частиц карбоидов (кокса), которые при заборе топлива из нижней части резервуара попадают на сверх тонкие фильтры, забивают их и полностью выводят из строя топливоподающую систему. Приведенные обстоятельства усложнили эксплуатацию топливно-транспортного оборудования из-за интенсивного накопления донных отложений и засорения аппаратуры и трубопроводов продуктами старения топлива.

4. Изношенность оборудования и недостаточная техническая вооруженность котельных. Повышенные отложения сажи, копоти и кокса на поверхностях теплообмена. В некоторых случаях техническое состояние системы мазутоподготовки не позволяет прогреть мазут до минимальной температуры 90°C, необходимой для сжигания. При эксплуатации мазутного хозяйства трубопроводы должны быть герметичными, особенно тщательно необходимо следить за плотностью фланцевых и муфтовых соединений. Вследствие коррозии в трубах могут появиться свищи, а в сварных стыках образоваться мельчайшие трещины, которые при обычных осмотрах трудно обнаружить. При длительной остановке мазут во избежание его застывания должен быть слит из трубопроводов, а также фильтров. Недостаточная техническая вооруженность котельных приводит к тому, что форсунки не обеспечивают необходимого распыления мазута. А это, в свою очередь, приводит к большому химическому и механическому недожогу топлива (сажа), а в конечном итоге к перерасходу мазута.

Мазут представляет собой сложную по химическому составу смесь высокомолекулярных углеводородов с молекулярными структурами от  $C_nH_{2n+2}$  до  $C_nH_{2n-22}$ . Кроме гетероциклических и металлоорганических соединений, мазут содержит минеральные загрязнения, перешедшие в его состав из нефти. При транспортировке и хранении мазута к нему добавляются продукты коррозии трубопроводов, резервуаров и оборудования.

В минеральной массе мазута присутствует значительное количество различных металлов, в том числе и ванадия. Ванадий сосредоточивается в нефтяных смолах, асфальтенах, являющихся и основными серосодержащими компонентами. Окислы ванадия вызывают как низкотемпературную так и высокотемпературную, при 600-700°C, коррозию металлов, приводящую к разрушению поверхностей нагрева. Согласно международным стандартам качества минеральная масса, содержащаяся в мазуте, не должна превышать 0,1-0,3%, но, несмотря на малое ее содержание, образуемая при сжигании мазута зола, отлагаясь на поверхностях нагрева котлоагрегатов, значительно уменьшает передачу тепла от продуктов сгорания. Кроме того, неоднородность состава мазута ( переменная вязкость и плотность перекачиваемой среды) является причиной нарушения не только гидродинамических, но и тепловых процессов, происходящих в теплообменных аппаратах мазутного хозяйства, к повышенной коксуемости мазута, к снижению качества его распыливания, ухудшению функционирования горелочных устройств, к снижению качества процесса горения топлива в топках котлов. Это в конечном итоге приводит к снижению экономичности, надежности, ухудшению экологии, к уменьшению межремонтного цикла котельного агрегата в целом.

В мазуте асфальтены, являющиеся продуктами окисления нейтральных смол, пребывают в коллоидном состоянии. Асфальтены – естественные поверхностно-активные соединения, склонные к коагуляции и оказывающие существенное влияние на вязкость мазута. Дальнейшее уплотнение асфальтенов и их поликонденсация при крекинге нефти приводит к образованию твердых карбенов и карбоидов. Карбоиды отличаются тем, что не растворяются ни в каких растворителях, и поэтому их называют коксом. Эта часть находится в мазуте в грубодисперсном виде и обладает склонностью к укрупнению, что приводит к их осаждению и отстаиванию. Другая часть сохраняет коллоидно-дисперсную форму и является устойчивой к коагуляции. При нагревании

же коллоидно-дисперсных компонентов или воздействию на них органическими растворителями препятствующие коагуляции коллоидные оболочки разрушаются, и дисперсные частицы, агрегируясь, выпадают в осадок. Этот продукт практически не обладает текучестью и для его извлечения из емкостей в основном используется ручной труд. Например, очистка на ТЭС мазутных резервуаров от донных отложений производится с периодичностью от 3 до 5 лет. За этот период их скапливается до 7% от общего объема хранилища.

5. Загрязнение окружающей среды продуктами сгорания мазута (оксиды азота, сажа, бенз(а)перен) и сбросными водами, содержащими нефтепродукты. При сжигании углеводородных топлив в топках наряду с процессами окисления происходит их пиролиз. Сжигание жидких топлив ведет к эмиссии большого количества ароматических и других углеводородов. При сжигании жидких топлив имеет место разрушение (деструкция) и рекомбинация с одновременным синтезом образовавшихся легких углеводородов, а также частичный переход полициклических ароматических углеводородов, содержащихся в топливе, в продукты сгорания. К веществам, в наибольшей степени загрязняющим атмосферу при сжигании мазута, относятся окислы серы ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ) и окислы азота ( $NO$ ,  $NO_2$ ), а в случае неполного сгорания мазута также некоторые углеводороды (например, бенз(а)пирен) и сажа.

Другой проблемой, существенно влияющей на экономическую эффективность работы котельной, является то, что в существующих схемах мазутного хозяйства котельных отработанный конденсат пара из мазутоподогревателей выносных и находящихся в емкостях после охлаждения водой городского водопровода до требуемой температуры ( $40^\circ C$ ) сбрасывается в систему производственно-ливневой канализации и после очистки в городской коллектор. Применяемые сейчас методы очистки сточных вод от нефтепродуктов являются дорогостоящими и не всегда эффективными. Особенно это относится к очистке сильно загрязненных нефтепродуктами вод, которые могут появиться при разрывах или свищах в мазутных подогревателях. Поэтому возврат загрязненного нефтепродуктами конденсата в питательный контур паровых котлов может привести к выходу их из рабочего состояния. Потеря конденсата от подогревателей мазута приводит к необходимости дополнения подпиточной химочищенной водой котлового контура и дополнительного топлива.

### Применение водомазутной эмульсии

Повысить надежность работы и экономичность котлов в условиях промышленной эксплуатации можно за счёт комплексного метода подготовки мазута к сжиганию, направленного на равномерное распределение воды по всей массе мазута (рис. 1). Сущность метода состоит в создании однородно распределенной мелкодисперсной фракции имеющейся в мазуте влаги и разрушении квазикристаллических структур, находящихся в составе мазута. Но само по себе оно еще не решает проблемы сжигания обводненных мазутов, хотя и обеспечивает практически те же самые условия, как и при сжигании «сухого» нормативного мазута. Метод, направленный на предварительную обработку исходного мазута с целью получения водо-мазутной эмульсии и использование уже этой эмульсии в качестве топлива, является эффективным и малозатратным.

### Водомазутная эмульсия (ВМЭ)

Водомазутная эмульсия (ВМЭ) – композиционное топливо, создано на основе мазута и воды (до 15%) с целью повышения эффективности использования мазута, снижения уровня загрязнений поверхностей нагрева котлов, работающих на мазуте и существенного снижения выбросов вредных веществ. Качество топлива как водомазутной эмульсии определяется в большей степени его дисперсностью, т.е. размерами частиц дисперсной фазы (воды). Чем выше дисперсность и меньше капельки воды, тем устойчивее эмульсия и выше ее качество. Иными словами, необходимо получить водомазутную эмульсию с равномерным распределением в ней воды тонкодисперсной структуры.

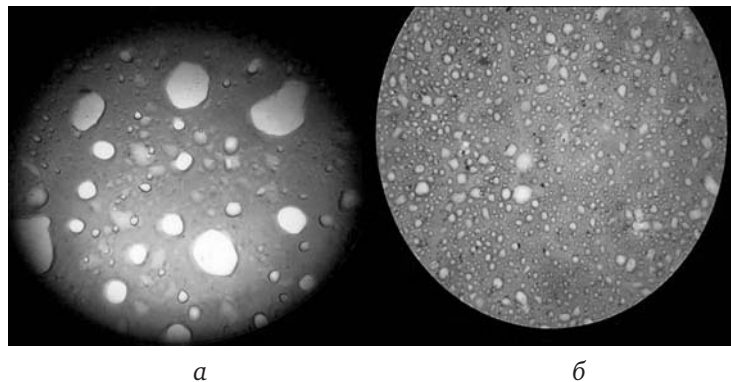


Рис. 1. Капля ВМЭ,  $W^P=10,2\%$ : а – режим до кавитатора, б – режим после кавитатора



Существующее мнение о том, что вода только вредный балласт, уже не является неоспоримым в свете работ, проведенных рядом авторов, в которых теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что наличие воды в топливе приводит к явлению так называемого микровзрыва. Причиной этого явления является разница температур кипения топлива и воды. Поэтому, попадая в топку, вода вскипает быстрее, и «разрывает» частицу топлива. Положительная сторона этого явления заключается в том, что происходит вторичное, более тонкое дробление топлива и более совершенное перемешивание его с окислителем. Следовательно, для процесса горения эмульгированного топлива стадия смешения протекает эффективнее и не сдерживает скорость протекания всего процесса в целом. Учитывая эффект микровзрыва при сжигании водомазутных эмульсий, можно снизить коэффициент избытка воздуха в топке, не опасаясь при этом увеличения потерь с химическим недожогом до  $\alpha = 1,05-1,07$ . В то же время за счет снижения  $\alpha$  уменьшается потеря тепла с уходящими газами. При сжигании эмульсий коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания увеличивается при повышении влажности эмульсии с  $W = 3\%$  до  $W = 30\%$  примерно на 10 %.

При приготовлении водомазутных эмульсий необходимо иметь в виду, что могут быть два вида обводненного мазута и, следовательно, возможны два метода получения эмульсий. В первом случае, когда топливо уже обводнено, задача заключается в том, чтобы смесь, состоящую из топлива и воды, при неравномерном ее распределении, превратить в систему с тонкодиспергированной равномерно распределенной по всей массе топлива водой.

В другом случае в топливо специально добавляется вода или высокообводненная смесь, содержащая от 1 до 10 % горючих (сточные воды, загрязненные органическими соединениями, или концентраты сточных вод). Во втором методе необходимо, чтобы вода подавалась в топливо в мелкодробленном виде и непрерывно. При этом для получения высококачественной эмульсии топливо и вода должны подогреваться до 70-80 °С. Для получения ВМЭ исходный обводненный мазут подвергается кавитационной обработке.

### **Кавитационная обработка**

Мазут, проходя через устройство, подвергается кавитационной обработке, в результате которой присутствующая в мазуте вода равномерно распределяется по всей массе в виде мельчайших частичек размерами от 1 до 5 мкм, образуя гомогенную, высокостабильную и мелкодисперсную ВМЭ.

Кавитатор – это устройство для приготовления ВМЭ, которая используется как топливо. Его принцип действия основан на том, что грубая водомазутная смесь проходит через несколько решеток, при этом происходит сильная турбулизация и интенсивное перемешивание потока. Конструктивно кавитатор представляет собой несколько (от 1 до 8 и более) параллельных, плоских, профилированных рабочих каналов с двумя кавитационными решетками из цилиндрических стержней в каждом канале. Рабочие каналы кавитатора располагаются в стальном корпусе прямоугольного или круглого сечения. Кавитатор, в отличие от других аналогичных устройств, дает большие возможности для регулирования производительности. Кавитаторы можно использовать в широком диапазоне давлений ВМЭ (от единицы до нескольких десятков атмосфер) при сохранении абсолютной герметичности и прочности конструкции. Производительность по ВМЭ в одном устройстве – от нескольких сот килограмм в час до 250-300 т/ч, габариты не превышают 100×200×400 мм. В качестве добавочной влаги могут использоваться: сточные воды, содержащие нефтепродукты и другие вредные вещества; водяной пар; чистая вода. Количество воды, добавляемой в мазут для приготовления ВМЭ, определяется из условий эколого-техничко-экономических требований. В качестве водной фазы можно использовать загрязненные промышленные стоки предприятий. При повышении содержания воды в эмульсии свыше 20% по объему, качественные показатели процесса горения снижаются по сравнению с горением чистого топлива. Однако если учесть, что процесс сгорания ВМЭ достаточно стабилен при более высоком содержании воды (до 40-50%) в зависимости от вида топлива, открывается возможность уничтожения (огневого обезвреживания) жидких стоков производства.

Механизм этого эффекта объясняется следующим обстоятельством. Мазут, поступая в горелку, распыляется форсункой с дисперсностью (размер капель) мазута порядка 0,1-1 мм. Если в такой капле топлива находятся включения более мелких капелек воды (с дисперсностью около 5 мкм), то при нагревании происходит вскипание таких капелек с образованием водяного пара. Водяной пар разрывает каплю мазута, увеличивая дисперсность подаваемого в горелку топлива. В результате увеличивается поверхность контакта топлива с воздухом, улучшается качество топливовоздушной смеси.

Одновременно в факеле происходят каталитические реакции, ведущие к уменьшению вредных газовых выбросов. Возможность снижения количества вдуваемого воздуха при сжигании

ВМЭ весьма важна, поскольку КПД котельного агрегата при уменьшении коэффициента избытка воздуха на 0,1 % увеличивается на 1 %. Время пребывания капель в реакционном объеме топki возрастает за счет удлинения их траектории в процессе турбулентного перемешивания, увеличивается удельная реакционная поверхность капель топлива. Скорость сгорания топлива в виде мелких капель увеличивается и сопровождается выделением меньшего количества твердых продуктов, чем у крупных капель мазута, разрушаются смолисто асфальтеновые структуры. При чем, ВМЭ обладает высокой устойчивостью – не менее 1 года. После столь длительного хранения она не претерпевает каких-либо изменений (не происходит не только расслоения, но и укрупнения капелек воды). ВМЭ сохраняет стабильность при нагревании до 90–95 °С (несмотря на то, что вязкость при этих температурах значительно уменьшается), а при избыточном давлении  $p = 0,30-0,4$  МПа и выше – при температуре до 100–110 °С. Не влияют на устойчивость ВМЭ и низкие температуры. Замороженная ВМЭ после отогревания сохраняет свою структуру.

### Выводы

Использование водно-мазутной смеси улучшает экономические и экологические характеристики энергетических котлов и технологических печей за счет:

1. Снижения CO - выбросов,  $N_{ox}$ , бенз(а)пирена и др. вредных веществ;
2. Интенсификации процесса сжигания топлива;
3. Снижения эксплуатационных расходов за счет снижения затрат на периодическую чистку поверхностей нагрева котлов и печей;
4. Возможности огневого обезвреживания и утилизации сбросных вод, загрязненных нефтепродуктами и др. вредными веществами.

По сравнению со сжиганием чистого мазута сажеобразование снижается не менее, чем на 80-90%, выбросы оксидов азота снижаются на 30-55%, монооксида углерода на 85-95%, бенз(а)пирена и других полициклических ароматических углеводородов на 60-90%. Происходит более глубокое выгорание топлива, уменьшаются золыстые отложения по газовому тракту; повышается надежность работы котельного оборудования.

Предлагаемый метод является эффективным решением проблемы надежного и экономичного сжигания обводненного мазута в условиях промышленной эксплуатации энергетического оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Румынский А.А. Подготовка мазута к сжиганию для улучшения технико-экономических и экологических характеристик котельных установок // Новости теплоснабжения. – 2000. - № 4.
2. Каютин О.В., Кулагина Т.А., Грищенко М.Е. Эффективное использование жидкого топлива // Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2009. - № 6 (14).
3. Морозова Е.А. Разработка и исследование технологии эмульгирования мазута с целью оптимизации режимов горения в топке для повышения надежности, экономичности и экологической безопасности энергетических котлов: дисс. ...канд. техн. наук: 05.14.01 / Е.А. Морозова; рук. работы Н.А. Зройчиков. – М.: МЭИ, 2008. – 143 с.



## РЕЖИМЫ ДЕФОРМАЦИИ ОДИНОЧНОГО ПУЗЫРЬКА В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

*В.А. Архипов, И.М. Васенин, А.С. Усанина*

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

В работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования режимов деформации одиночного пузырька воздуха при стационарном всплытии в вязкой жидкости в зависимости от определяющих критериев подобия: чисел Рейнольдса  $Re$ , Бонда  $Bo$  и Вебера  $We$ . Движение пузырьков газа в жидкости, режимы их деформации и дробления, механизмы потери устойчивости являются одними из классических задач гидродинамики, которые в течение многих лет привлекают внимание исследователей [1, 2]. Интерес к физике процессов в пузырьковых средах обусловлены тем, что пузырьки играют ключевую роль в целом ряде прикладных задач, связанных с флотацией, кавитацией, теплообменом при кипении, подводной акустикой, барботажем и т.д. Во всех указанных задачах определяющими факторами являются размеры и форма пузырьков, режимы их движения и механизмы потери устойчивости, приводящие к деформации и дроблению дисперсной фазы.

Деформация и разрушение пузырьков – чрезвычайно сложный процесс и характеризуется взаимодействием сил поверхностного натяжения, вязкости и инерции. Проведенные в настоящей работе оценки показали, что условия для начала деформации и дробления пузырька можно осуществить с помощью всплытия пузырька воздуха в области значений чисел Рейнольдса  $Re \sim 1$  по механизму Релея-Тейлора, при числах Бонда  $Bo$ , близких к критическому значению  $Bo_* = 90$  [3]. Экспериментально доказано, что в области малых чисел Рейнольдса деформация первоначально сферического пузырька происходит из-за развития неустойчивости Рэлея-Тейлора при достижении критического значения числа Бонда. В экспериментах получено, что это критическое значение  $Bo_*$  соответствует потере устойчивости эллипсоидальной формы пузырька. Экспериментальные данные проанализированы совместно с теоретическим решением соответствующей задачи для случая осесимметричных возмущений сферической поверхности раздела фаз.

Для исследованных диапазонов основных критериев подобия экспериментально определены границы зон существования трех характерных конфигураций пузырька – сферы, сплюснутого эллипсоида вращения и сферического сегмента в координатах  $Re-Bo$  и  $Re-We$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 10-08-90700 моб\_ст, № 08-08-00064а) и в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы при поддержке государственного контракта П474 от 04.08.2009г «Создание и переработка высокоэнергетических наполненных полимерных композиций».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Bubbles, drops and particles / R. Clift, J. R. Grace, M. E. Weber. New York: Academic Press, 1978.
2. Jinsong Hua, Jing Lou. Numerical simulation of bubble rising in viscous liquid // Journal of Computational Physics. - 2007. - № 222-Р. 769-795
3. Газовая динамика двухфазных течений в соплах / И. М. Васенин, В. А. Архипов, А. А. Глазунов и др. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986.-286с.

Раздел VIII

---

КРУГЛЫЕ СТОЛЫ

# ЧАСТЬ 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ

*Б.И. Борде*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Рассматривается развитие задач проектирования и сопровождения неоднородных вычислительных систем и управляемых объектов [1, 2-4, 6]. С развитием вычислительных систем усложнялись модели и разнообразие компонент. Компоненты системы могут описываться в формализованном задании на моделирование и проектирование. Проектирование можно выполнять локально на рабочей станции или в виде сетевых сервисов, а сопровождение лучше выполнять в виде сетевых сервисов на базе автономного дата центра предприятия [1, 5, 6]. Структуру вычислительной системы можно реализовать на различных физических принципах действия с разной производительностью и устойчивостью к окружающей среде. В ответственных случаях необходимы [6] дублирующие информационные системы на различных принципах действия.

Процесс проектирования и испытаний нового объекта является итерационным с получением информации и обучением в каждом итерационном цикле. В каждом итерационном цикле выполняются процедуры синтеза, анализа и принятия решения. Процедура анализа решения для известных компонент выполняется автоматически, а синтез и принятие решения выполняются инженером с инструментальной поддержкой. В формализованном задании описывается множество вариантов создаваемого объекта или изменения объекта в процессе жизненного цикла его сопровождения. Формализованное задание состоит из синтаксически и семантически однородных разделов: начальной установки, внешних воздействий, покомпонентного описания системы, управления и раздела новых компонент. Компоненты могут относиться к различным уровням абстракции. Основное внимание уделено накоплению знаний в процессе итерационного проектирования объекта и созданию обобщенных многофункциональных абстрактных и конкретных моделей компонент в различных синтаксических средах для повышения достоверности моделей.

Используются различные модели в зависимости от требуемых результатов. Например, функциональные модели используются для оценки поведения объекта, символьные модели для принципиальных схем, а объемные модели для размещения объектов и отображения поведения и параметров непосредственно на них. Полученные на этапе проектирования модели используются для сопровождения объектов.

Основные ресурсы оцениваются автоматически, а производительность должна оцениваться оператором. При известной производительности критерии эффективности [3, 4] вычисляются автоматически. В процессе проектирования желательно сравнивать предполагаемые и фактические результаты поведения и только при их близости отдавать предпочтение более эффективному варианту. Многовариантное проектирование относят [1] ко второму уровню сложности задач проектирования.

Структуры отличаются компонентами или отношениями компонент. Для вычислительных систем отношение может представляться общим каналом передачи данных в виде соединения для стационарных компонент и возможностью обмена сообщениями для мобильных компонент.

Многоуровневая САПР COD (Conceptual Object Design) служит для синтеза и анализа множества вариантов структур и автоматического их преобразования во множество проектных решений для промышленных САПР. COD состоит из множества подсистем:

$$\text{COD} = \langle \text{HSC}, \text{COMM}, \text{SAT}, \text{AAT} \rangle, \quad (1)$$

где **HSC** (Human Control) – подсистема управления проектированием, служит для снижения нагрузки на человека при переходе на второй уровень сложности задач проектирования; **COMM** – коммуникационная подсистема проектирования. Обеспечивает возможность проектирования объектов в сети Интернет; **SAT** (Synthesis Automation Tools) – инструментальные средства автоматизированного синтеза объектов; **AAT** (Analysis Automation Tools) – инструментальные средства автоматического анализа поведения, оценки ресурсов и сравнения объектов.

Пользователь САПР COD выбирает требуемый результат проектирования или анализа, а не последовательность проектных процедур и операций для достижения цели. Таким образом, снижается нагрузка на пользователя и повышается уровень интеллекта комплекса. Формализуемая часть подсистемы управления проектированием представлена в форме оболочки САПР COD, которая может быть реализована различными средствами. Представлены реализации оболочки для различных операционных систем на базе многофункционального редактора, входящего в инструментальные средства IBM Visual Age, сетевых программ просмотра (Mozilla) и инструментальной среды ECLIPSE.

В процессе проектирования формализованное задание на языке высокого уровня, представляющее множество технических решений, преобразуется в текстовую или табличную форму уровня одного варианта решения, которая может быть преобразована в текстовый, командный или табличный формат конкретной САПР или формализованное задание. Количество вариантов определяется формализованным заданием.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданы методы проектирования и использования локального и сетевого сервисного вариантов программно-методического комплекса для различных платформ [2, 3, 4]. Открытый модульный принцип с единым представлением варианта объекта в различных синтаксических средах позволил развить сервисы системы виртуальных машин с возможностями серверов, рабочих станций и мобильных клиентов. Основная передача результатов производится в текстовой форме с интерпретацией на стороне клиента в сетевой программе просмотра результатов, что позволяет минимизировать трафик. Методические материалы и документы размещаются на сетевом сервере, а выполнение формализованных заданий производится на серверах приложений. К серверам приложений подключаются аппаратные средства ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Юдин Е.Г., Кузьмик П.К., И.П. Норенков. Этапы жизненного цикла сложных промышленных изделий в концепции CALS технологий. Вестник МГТУ. Серия Приборостроение. – 2002. №1.
2. Борде Б. И. Программно-методический комплекс многовариантного проектирования неоднородных вычислительных систем / Б. Борде // Доклады конференции CAD/CAM/PDM – 2008. М.: ИПУ РАН, 2008. – с. 23-26.
3. Борде, Б. И. Программно-методический комплекс «Основы САПР неоднородных вычислительных устройств и систем» Красноярск. – КГТУ. – 2006. – CDROM (языки русский, англ.). Номер гос. регистрации НТЦ ИНФОРМРЕГИСТР 0320702238.
4. Борде, Б. И. Основы САПР неоднородных вычислительных устройств и систем / Б. И. Борде // Учеб. пособие с грифом Минобразования. 2-е изд., перераб. и доп. / Красноярск. – ИПЦ КГТУ. – 2001. – 350 с.
5. Борде Б. И. Автоматизация анализа и представления множества результатов неоднородных вычислительных систем. / Б. Борде // Доклады конференции CAD/CAM/PDM – 2007. М.: ИПУ РАН, 2007-с.42-45.
6. СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. Процессы жизненного цикла систем. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 — 2005.

# **АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ВОДЫ СФУ И ЕЕ АРХИТЕКТУРА**

*П.А. Барыбин, В.П. Довгун*

ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

В настоящее время назрела острая необходимость пересмотра системы учета энергопотребления в Сибирском Федеральном Университете (СФУ). Без сомнения ко многому обязывают и принятый ФЗ Об энергосбережении [1] и План мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности [2].

Текущий уровень с ручным снятием показаний с приборов учета не удовлетворяет сложившихся требований к энергоучету. Сформировался ряд новых значимых предпосылок для начала создания Автоматизированной Информационно-Измерительной Системы (АИИС) учета потребления энергоресурсов и воды СФУ.

В докладе рассмотрен ряд причин, в том числе техническое состояние оборудования, расширение энергетической сети образованного СФУ, удовлетворение требований ФЗ Об энергосбережении [1] в части энергетической эффективности зданий и возможность использования АИИС в учебном производстве для подготовки высококвалифицированных кадров, умеющих работать с современными системами учета.

## **Архитектура АИИС учета потребления энергоресурсов СФУ**

В рамках создания АИИС требуется разработка программной поддержки для обработки и обмена данными в системе.

Следует выделить ключевые моменты перед определением архитектуры АИИС.

1. На обеспечение функционирования СФУ требуются следующие ресурсы, по которым должен вестись учет в рамках АИИС: электроэнергия (активная и реактивная), тепловая энергия, горячая вода, холодная вода, стоки.
2. Территориальная распределенность образовательных площадок СФУ по г.Красноярску и их размещение в промышленных и густонаселенных районах города.
3. Наличие на каждой образовательной площадке службы заместителя главного энергетика ответственного за состояние энергохозяйства, а так же самостоятельный учет потребленных ресурсов с последующей передачей данных на верхний уровень - в отдел главного энергетика СФУ.

В докладе рассматривается архитектура АИИС:

- функциональный модуль «Учет потребления ресурсов», осуществляющий сбор данных коммерческого учета по основным видам ресурсов (электрическая энергия, тепловая энергия, вода и топливо) образовательных площадок СФУ и модуль передачи информации со средств учета на серверный компонент подсистемы;
- серверный компонент подсистемы, включающий комплекс баз данных системы, средства аналитической обработки информации, формирования отчетов и средств импорта-экспорта данных (импорта-экспорта для подсистем уровня образовательных площадок СФУ, информационных систем бухгалтерского учета и импорта со средств учета ресурсов);
- комплекс автоматизированных рабочих мест (АРМов) структурных подразделений СФУ, в том числе уровня образовательных площадок, выполняющих работы, связанные с учетом, контролем и оптимизацией потребления ресурсов.

Относительно разработки программно-технических средств следует отметить, что «стандартного», общепринятого программного обеспечения для АИИС не существует. В настоящее время существует огромное многообразие вариантов и версий как от самих производителей оборудования так и от сторонних производителей ПО. Кроме того, имеющийся в штате персонал



Рис. 1. Архитектура программно-технического комплекса АИИС СФУ

может с успехом разработать качественное ПО.

Для коммерческих АИИС, средства измерения подлежат необходимой процедуре аттестации и сертификации, но если рассматривать ПО как средств транспортировки данных (преобразования физических величин не ведется), это требование не столь актуально, достаточно, например, на этапе опытной эксплуатации системы, убедиться в совпадении показаний реальных счетчиков с данными, полученными с ПО.

В докладе рассмотрена структура программно-технических средств с указанием функций пользователей АРМов и структура информационной компоненты АИИС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон от 11 ноября 2009 г. № 261-ФЗ.
2. План мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации, направленных на реализацию Федерального закона. Распоряжение от 1 декабря 2009 г. № 1830-р.
3. Бобряков А.В., Воробьев А.С., Тихонова Е.А. Разработка программно-технических средств функциональной подсистемы «Энергобюро учебного заведения»// Энерго и ресурсосбережение - 21 век : Тез. докл. региональной. науч. конф. – Орел, 2004.



## ЧАСТЬ 2. ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

### ЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА – ПРИОРИТЕТ УСПЕШНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*И.В. Павлов<sup>1</sup>, О.В. Левицкая<sup>1</sup>, В.П. Твердохлебов<sup>2</sup>, Ф.А. Бурюкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ОАО «АНПЗ ВНК», г. Ачинск, Россия

<sup>2</sup> ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Подготовка, переподготовка кадров и повышение квалификации - важное звено в поддержании баланса спроса и предложения рабочей силы. Изменяя профессиональную направленность подготовки, уровень квалификации, а также осуществляя первичную подготовку для конкретных рабочих мест, предприятие может обеспечить максимальное соответствие структуры работников структуре рабочих мест, с учетом всего спектра требований, предъявляемых к качеству рабочей силы.

Для достижения целей эффективного обучения ОАО «АНПЗ ВНК» обеспечивает:

- Надлежащий уровень подготовки работника, соответствующего требованиям рабочего места (должности).
- Условия для мобильности работника, как предпосылки к лучшему использованию и обеспечению занятости.
- Возможности для продвижения работника как условия формирования мотивации и удовлетворенности трудом.

С позиции производственно-технического назначения в обучении рабочих выделяют: подготовку новых рабочих; переподготовку и обучение рабочих вторым (смежным) профессиям; повышение квалификации.

В отношении специалистов и руководителей обучающая функция Ачинского НПЗ проявляется, прежде всего, в организации повышения их квалификации.

Обучение проводится своими силами или с привлечением высококвалифицированных сторонних организаций. При подборе внешнего обучения предприятие выбирает программы, которые наиболее подходят по следующим показателям: своевременность, результативность, квалификация преподавателя, стоимость. Обучающие центры обладают опытом взаимодействия с реальным сектором экономики и ориентированы на практические потребности завода, используют гибкие программы, адаптированные под заказчика.

Следует отметить, что обучение вне рабочего места более эффективно, имеет большую теоретическую направленность, дает разностороннюю подготовку, но требует значительных затрат. Обучение вне рабочего места может применяться для всех категорий работников, но в большей степени характерно для руководителей, специалистов и служащих.

Однако, при внутреннем обучении разрабатываются и реализуются программы, адаптированные к специфике конкретного производства. Для преподавания выбираются лучшие специалисты предприятия. Обучение работников непосредственно на рабочем месте носит оперативный и всегда вполне конкретный характер - так как такое обучение ориентировано, прежде всего, на освоение конкретного трудового процесса, выполнение конкретной работы. Этот тип обучения не требует больших расходов и сокращает период адаптации работника.

Рассмотрим схему процесса обучения персонала, представленную на рис. 1.

**Анализ потребности в обучении** вытекает из стратегических целей предприятия, оперативных задач, стоящих перед отдельными структурными подразделениями и сотрудниками, а также основывается на требованиях государственных и контролирующих органов.

**Планирование и проектирование обучения.** Для этого на предприятии ежегодно разрабатывается «План обучения развития работников общества». Перспективный план обуче-

ния может корректироваться в соответствии: реальной необходимостью предприятия, предложения по совершенствованию процессов, действующих на предприятии, изменениями стандартов деятельности предприятия, появлением новых сотрудников.

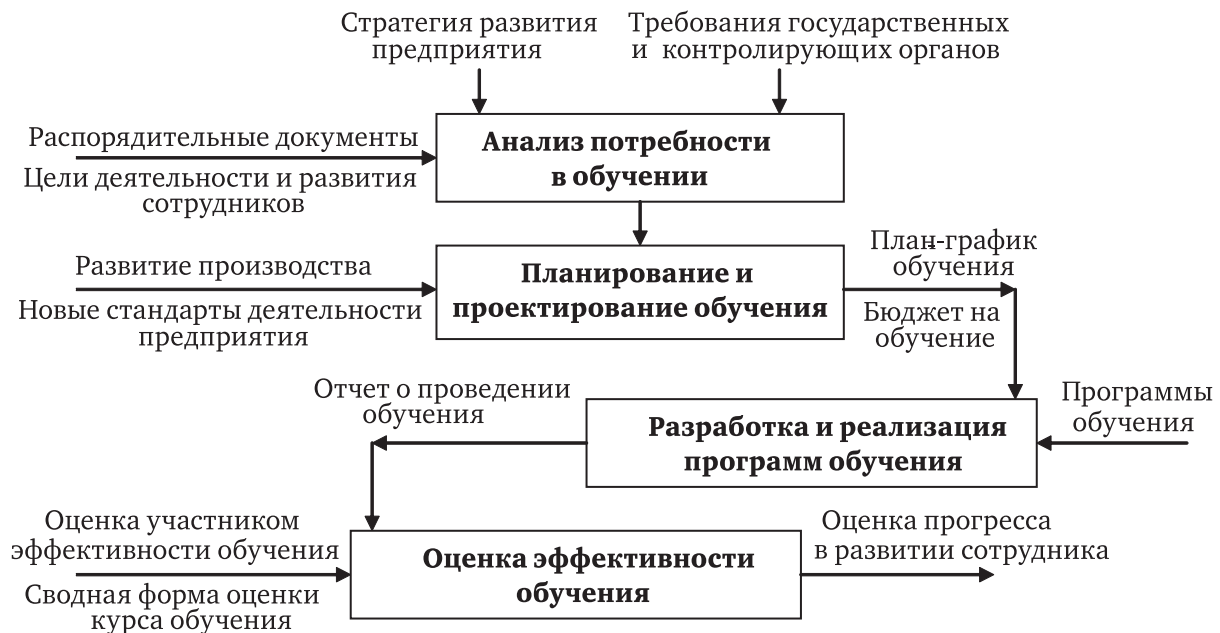


Рис. 1. Схема процесса обучения персонала в ОАО «АНПЗ ВНК»

**Разработка и реализация программ.** При разработке и реализации программ обучения учитываются следующие факторы:

- соответствие программы обучения стратегическим целям и оперативным задачам предприятия. Соответствие учебных программ профессионально-технического обучения требованиям контролирующих органов и стандартам предприятия;
- качественная потребность в обучении целевых категорий персонала. Численность и характеристики сотрудников, нуждающихся в обучении в данный момент или в будущем;
- содержание обучения и стоимость программы. Условия для проведения обучения и компетентность преподавателей.

Оценка эффективности обучения позволяет вносить коррективы в программы обучения и делать их более эффективными. Критериями эффективности обучения являются:

- Мнение обучающихся: о содержании учебной программы; ее практической ценности, доступности для понимания; о качестве преподавания (квалификация преподавателя, стиль преподавания, используемые методы обучения); об общих условиях и обстановке во время обучения; о степени достижения целей обучения. Методы изучения – анкеты, опросники, интервью (тотальное или выборочное, стандартизированное или в свободной форме).

- Усвоение учебного материала - полнота усвоения знаний и прочность приобретенных навыков. Методы изучения – устные опросы, контрольные работы, тестирования, устные или письменные зачеты и экзамены, проектные работы.

- Поведенческие изменения - в соответствии с этим критерием определяется, каким образом изменяется поведение работников после прохождения курса обучения, когда они возвращаются к своей работе. Методы изучения – интервью руководителей, наблюдение.

- Рабочие результаты – результаты производственной деятельности сотрудников, прошедших обучение. Методы изучения – опрос участников, оценка руководителем.

Таким образом, эффективная система обучения персонала на Ачинском НПЗ основана на балансе интересов. С одной стороны, такая система должна быстро реагировать на изменения потребностей производства в рабочей силе, а с другой - предоставить работникам возможность для обучения в соответствии с их интересами. Отсюда - повышенные требования к гибкости системы переподготовки и повышения квалификации, к ее способности быстро менять содержание, методы и организационные формы в соответствии с потребностями производства и ситуацией на рынке труда.

## НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ – ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ, ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

П.С. Чубик, А.И. Чучалин, А.В. Замятин, Д.Г. Демянюк

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Томский технологический институт, ныне Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – первый технический вуз в азиатской части России был основан в 1896 г. как институт практических инженеров. За более чем вековую историю университет подготовил свыше 130000 специалистов. Выпускники ТПУ активно участвовали в проектировании, строительстве и пуске «индустриальных гигантов» Сибири: Кузнецкого металлургического комбината, шахт и рудников Кузбасса, заводов Новосибирска, предприятий Урала и Дальнего Востока, а также в открытии, разработке и освоении Сибирских недр. Сегодня выпускники ТПУ – руководители и ведущие специалисты крупнейших научно–производственных организаций, промышленных предприятий, вузов и научно–исследовательских институтов Сибири.

В настоящее время в ТПУ обучается свыше 22000 студентов, большинство – по инженерным направлениям и специальностям, связанным с приоритетными направлениями развития ресурсоэффективных технологий. Подготовка бакалавров осуществляется по 21 направлению, магистров – по 94 программам, дипломированных специалистов – по 66 специальностям. Ежегодно университет выпускает около 3000 специалистов. Более 30% выпускников специализируется в наукоемких и комплексных межотраслевых технологиях.

Университет активно проводит политику интеграции в мировое научно–образовательное пространство. Интенсивно развиваются международные связи университета с научными учреждениями США, Великобритании, Германии, Франции, Японии, Южной Кореи, Китая и других стран. Университет имеет более 200 соглашений о сотрудничестве с зарубежными вузами, научными центрами и компаниями, является членом 12 международных ассоциаций и консорциумов, в том числе *Conference of European Schools for Advanced Engineering Education and Research (CESAER)* и *Consortium Linking Universities of Science and Technology for Education and Research (CLUSTER)*, в которых ТПУ – пока единственный среди российских вузов.

ТПУ активно участвует в различных конкурсах, процедурах сертификации и аккредитации, что позволяет ему развивать систему качества для непрерывного совершенствования продукции и услуг, увеличивая тем самым конкурентоспособность вуза и его выпускников.

Система менеджмента качества ТПУ в 2001 г. впервые в высшей школе России была успешно сертифицирована на соответствие международному стандарту *ISO 9001:2000* в *National Quality Assurance (NQA)* – авторитетной организации Великобритании. В 2002 г. ТПУ принял участие в конкурсе Минобразования РФ «Внутривузовские системы обеспечения качества высшего образования» и стал его лауреатом. В 2006 г. университет стал победителем конкурса на соискание Премии Правительства РФ в области качества.

С 1995 г. ТПУ регулярно подвергает свои образовательные программы внешней оценке с участием отечественных и зарубежных экспертов. Так, с 1995 по 2000 гг. 10 образовательных программ университета успешно прошли аудит в Аккредитационном независимом центре инженерных специальностей. В 2000 г. *Global Alliance for Transnational Education (GATE)* сертифицировал четыре программы подготовки специалистов в области техники и технологии на английском языке. В 2005 г. образовательная программа «*Computer Engineering*» успешно прошла аудит в Канадском инженерном аккредитационном совете (*Canadian Engineering Accreditation Board – CEAB*). В 2006 г. образовательная программа подготовки бакалавров по направлению «*Electrical Engineering*» прошла оценку в Американском совете по технике и технологии (*Accreditation Board for Engineering and Technology – ABET*).

С 2003 г. по 2010 г. более 20 программ подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов в области техники и технологий ТПУ успешно прошли общественно–профессиональную аккредитацию в Ассоциации инженерного образования России (АИОР), в том числе 15 программ с присвоением европейского знака качества *EUR–ACE Label* и занесением

их в регистр Европейской сети аккредитации инженерного образования (*ENAEЕ*) и Европейской федерации инженерных организаций (*FEANI*). На базе ТПУ работает Аккредитационный центр АИОР, аккредитовавший свыше 100 инженерных программ более чем в 20 ведущих вузах России, в том числе МЭИ, МИРЭА, МИСИС, МИЭТ, ЛЭТИ, СФУ, ЮФУ и др.

Университет осуществляет повышение квалификации инженерных кадров по 250 программам и профессиональную переподготовку по 30 программам. В том числе, разработаны и реализуются 106 программ повышения квалификации (72 часа) в области энергетики, в том числе: энергосбережение на предприятиях и в организациях, учет энергоресурсов, электроэнергетика, системы электроснабжения объектов нефтегазовой промышленности и др., а также 8 программ профессиональной переподготовки (более 500 часов) в области энергетики: промышленная теплоэнергетика, электроснабжение, автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и др. В 2009 г. более 300 специалистов-энергетиков прошли повышение квалификации и переподготовку в ТПУ по данным программам.

Переподготовка, повышение квалификации и непрерывное профессиональное совершенствование компетенций инженерных кадров, работающих на производстве, является чрезвычайно актуальным и не менее важным, чем подготовка специалистов в вузах по основным образовательным программам.

Для комплексного решения проблемы повышения «*de facto*» и мирового признания «*de jure*» качества высшего профессионального образования в области техники и технологий в российских вузах, а также уровня квалификации работающих на производстве отечественных инженеров целесообразно использовать зарубежный опыт и осуществлять взаимодействие с международными общественно – профессиональными инженерными организациями, такими как *ENAEЕ*, *Washington Accord*, *FEANI*, *APEC Engineer Register*, *EMF*.

Сертифицированные профессиональные инженеры, внесенные в соответствующие национальные и международные регистры, составляют, по сути, инженерную элиту ведущих промышленных компаний. Они выполняют «прорывные» проекты и создают перспективные разработки в области техники и технологий, оказывая существенное влияние на обеспечение конкурентоспособности экономик развитых стран.

Томский политехнический университет активно участвует в работе, которую ведут АИОР и СНИО по развитию национальной системы общественно–профессиональной аккредитации образовательных программ в области техники и технологий в вузах страны и формированию национальной системы сертификации и регистрации российских профессиональных инженеров. В ТПУ планируется создание Центра международной сертификации технического образования и инженерной профессии, авторизованного Российскими мониторинговыми комитетами *FEANI* и *APEC Engineer Register*, созданными на базе СНИО.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чубик П.С., Чучалин А.И., Замятин А.В. Нормативно–организационные документы системы сертификации и регистрации профессиональных инженеров в Российском регистре Инженеров *APEC* и международном *APEC Engineer Register*. –Томск: Изд–во ТПУ, 2010, –80 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ I. ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Региональный сценарий развития атомной энергетики на базе энергоэффективных и энергобезопасных технологий XXI века (по итогам работы секции Конгресса по атомной энергетике «Сибирь атомная. XXI век», январь 2010 г., г. Железногорск) <i>П.М. Гаврилов</i>	4
Атомная энергетика в решении проблем энергетической безопасности. <i>Н.Н. Пономарев-Степной, А.Ю. Гагаринский, С.А. Субботин, В.Ф. Цибульский</i>	6
Проблемы развития энергетики и безопасность гидротехнических сооружений Красноярского края <i>В.В. Москвичев, В.Ф. Шабанов</i>	8

### РАЗДЕЛ II. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОБЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА

#### Часть 1. Электроэнергетика

Методические и практические вопросы полуволновой технологии передачи электроэнергии. <i>С.М. Зильберман</i>	12
Потенциал развития электроэнергетики и его освоение <i>Ф.Л. Бык, В.Г. Китушин</i>	17
Инновационное развитие энергетики в России на базе концепции SMART GRID: оценка возможностей <i>И.О. Волкова, Б.Б. Кобец</i>	19
Определение оптимальной компенсации реактивной мощности в системах распределения электрической энергии <i>А.А. Герасименко, В.Б. Нешатаев</i>	21
Техноценозы в электротехнических системах <i>А.Ю. Южанников</i>	23
Макродиагностика как средство планирования оптимальных объемов ремонтов и модернизации оборудования энергопредприятия <i>В.Г. Китушин, Ф.Л. Бык, Е.В. Иванова</i>	25
Надзор за качеством выполнения работ (оказания услуг), включая изготовление оборудования, поставляемого на объекты энергетики, – эффективный способ повышения уровня безопасности объектов энергетики <i>В.Я. Потапов, Т.В. Горяева, А.В. Моисеенко, Е.Ю. Капралов, А.П. Чурилов, А.М. Касимов</i>	27
Комплексный экономико-экологический анализ применяемых технологий охлаждения ТЭС <i>В.В. Колмогоров</i>	29
О влиянии солнечных бурь на надежность энергосистем <i>А.А. Буралков, В.В. Кибардин</i>	32
Анализ и прогнозирование аварий в электроэнергетике методами астрологии <i>А.А. Буралков</i>	34
Проблемы и перспективы развития систем управления энергоблоком при аварии во внешней сети <i>А.И. Галанова, С.И. Новиков</i>	36
Диагностика электроэнергетического оборудования с помощью анализа регистрируемого электромагнитного излучения <i>Ю.Ю. Рогожников, Д.А. Каманин, Ю.М. Овсянников</i>	38

Исследование четырехфазных линий электропередач .....	40
<i>Ю.А. Ершов, А.М. Дяков</i>	
Особенности передачи технологической информации .....	42
по силовым высоковольтным линиям	
<i>Ю.А. Ершов, А.В. Малеев</i>	
Новые экологически чистые энергетические технологии на органическом топливе .....	44
<i>В.М. Батенин, В.М. Масленников, Ю.А. Выскубенко, В.Я. Штеренберг</i>	
Моделирование установившихся режимов в сетях с импульсными преобразователями .....	46
<i>В.П. Довгун, Н.П. Боярская, П.А. Барыбин</i>	

## **Часть 2. Гидроэнергетика**

Оценка соответствия проекта Богучанской ГЭС требованиям гидрологической безопасности ..	48
<i>А.М. Мартынова, С.Ю. Филиппова, Д.В. Мартынов</i>	
Нетрадиционные способы управления селективным водозабором .....	50
<i>В.И. Букреев, А.В. Чеботников</i>	
Расчет оптимальных краткосрочных режимов работы каскада гидроэлектростанций .....	52
методом проекции градиент	
<i>К.С. Колясников</i>	
Сравнение различных типов микроГЭС .....	54
<i>Е.А. Спиринов, А.А. Никитин, М.П. Головин, А.Л. Встовский</i>	
Электроснабжение летней дойки от микроГЭС .....	56
<i>А.В. Бастрон, Н.В. Коровайкин, Л.П. Костюченко</i>	
Методы и программная система мониторинга и прогнозирования притоков рек .....	58
(на примере Новосибирского водохранилища)	
<i>О.К. Альсова, В.В. Губарев</i>	
Требования безопасности плотин и их соблюдение в проектах развития .....	60
и функционирования гидроэнергетики	
<i>А.М. Мартынов, Е.В. Мартынова</i>	
Мониторинг стока рек в водохранилища ГЭС с использованием данных .....	63
дистанционного зондирования	
<i>В.Б. Кашкин, В.Ю. Ромасько</i>	
Некоторые эколого-технологические риски создания крупных .....	65
гидротехнических объектов на севере Сибири	
<i>Б.Н. Нефедов</i>	

## **Часть 3. Теплоэнергетика**

Энергоэффективное и экологически безопасное использование канско-ачинских углей .....	67
в теплоэнергетике	
<i>М.С. Пронин</i>	
Динамика закупок на рынке инжиниринговых услуг теплоэнергетики в 2008-2009 гг. ....	69
Рекомендации по размещению и публикации предложений по проведению конкурсных торгов	
<i>А.С. Черноскотов</i>	
Экологический потенциал ТЭС сжигающих Канско-Ачинские бурые угли .....	71
<i>И.П. Иванов, Д.И. Иванов, М.П. Баранова, С.А. Михайленко</i>	
Перспективные угольные энергоблоки конденсационных электростанций .....	73
<i>Г.В. Ноздренко, Е.Е. Русских, В.С. Шепель</i>	
Математическое моделирование процессов в топочных камерах пылеугольных котлов .....	75
<i>А.А. Дектерев, А.А. Гаврилов, Н.С. Суржикова, Е.С. Тэпфер, Ю.М. Чернецкий</i>	



Математическое моделирование четырехвихревой схемы сжигания в пылеугольном котле . . . . .	76
БКЗ 320 (270)-140 Красноярской ТЭЦ-1	
<i>С.Г. Козлов, А.П. Скуратов, П.Г. Савченко</i>	
Котел-утилизатор твердых бытовых отходов с рециркуляцией дымовых газов как способа . . . . .	77
сокращения вредных выбросов	
<i>В.А. Бурков, С.В. Князев, В.И. Лебедев, Н.С. Князев</i>	
Энергоэффективное использование угля на основе концепции «Термококк» . . . . .	78
<i>С.Р. Исламов</i>	
Энергетическая эффективность термохимической конверсии топлив в парогазовых установках . . .	80
<i>А.Ф. Рыжков, А.В. Попов, Т.Ф. Богатова, В.Е. Силин</i>	
Получение экологически чистого топлива из продуктов углепереработки . . . . .	83
<i>В.А. Кулагин, С.В. Лебедев, М.П. Баранова</i>	
Новые принципы создания тепловых генераторов на основе методов импульсного сжигания . . .	85
углеводородов непосредственно в водном теплоносителе	
<i>В.С. Тесленко, А.П. Дрожжин, Р.Н. Медведев, В.И. Манжалей, В.Ю. Ульяницкий</i>	
Повышение эффективности котлов путем интенсификации теплоотдачи в конвективной . . . . .	87
части котлов	
<i>Д. Нешумаев, А. Отс, А. Пообус</i>	
Численный анализ сопряженной задачи конвективного теплопереноса в замкнутом объеме . . .	89
<i>Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет</i>	
Компьютерное моделирование процесса образования продуктов реакции при сжигании . . . . .	91
жидких топлив	
<i>А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, И.Э. Волошина, М.Ж. Рыспаева</i>	
Природоохранная технология складирования золошлаковых отходов ТЭС в накопителях . . . . .	93
овражно-балочного типа	
<i>Н.С. Канаш</i>	
Малозатратные методы повышения экономичности ТЭЦ . . . . .	95
<i>С.А. Иванов, П.Г. Сафронов</i>	
Анализ влияния отклонений параметров на перерасход топлива при работе . . . . .	97
теплофикационных энергоблоков	
<i>П.А. Щинников, А.И. Дворцовой</i>	
Исследование влияния различных параметров рабочего тела и незначительных . . . . .	99
конструктивных изменений тепловой схемы на КПД энергоблока	
<i>А.П. Цыганок, А.Е. Романов</i>	
Оптимизация параметров теплофикационных ГТУ и ПГУ с учетом переменного режима работы . .	100
<i>А.М. Клер, А.Ю. Маринченко, Ю.М. Потанина</i>	
Эксплуатационные повреждения и разрушение металла деталей горячего тракта . . . . .	102
газотурбинных установок	
<i>С.П. Яковлева, Д.С. Черных, С.Н. Махарова, Н.Н. Степанова, Н.И. Виноградова, Н.В. Казанцева</i>	
Разработка методики оценки остаточного ресурса теплоэнергетического оборудования . . . . .	104
<i>А.А. Меденков, А.С. Климов, С.В. Князев, В.И. Лебедев</i>	
Анализ эффективности инвестирования в теплоснабжение с учетом интересов . . . . .	106
участников инвестиционного процесса	
<i>Ю.Г. Муци, В.А. Муци</i>	
Эксергетический анализ систем комбинированного теплоснабжения . . . . .	108
с термотрансформаторами на низкокипящих веществах и новыми циклами	
<i>Г.В. Ноздренко, О.К. Григорьева, П. Бямбацогт</i>	
Технико-экономически и экологически обоснованные методы повышения . . . . .	110
тепловой мощности систем теплоснабжения	
<i>А.Г. Батухтин</i>	

Математическое моделирование теплогидравлических режимов работы водяных систем отопления зданий в нерасчетных условиях эксплуатации (поиск оптимальных решений повышения энергоэффективности)	112
<i>В.И. Карпов</i>	
Разработка автоматизированной системы неразрушающего контроля и диагностики металла с функцией определения остаточного ресурса	114
<i>А.С. Климов, А.А. Меденков, В.И. Петров, С.И. Каковихина</i>	
Локализация дефектов по интегральным сигналам акустической эмиссии	116
<i>А.А. Меденков, А.С. Климов, И.Е. Сметанников, И.Г. Буймова</i>	
Информационно-аналитическое обеспечение теплоэнергетических систем	118
<i>Д.И. Буженик, Р.С. Кузнецов, В.П. Чипулис</i>	

#### **Часть 4. Электрометаллургия**

Плазменная электротехнология и оборудование для переработки углеродсодержащих техногенных отходов	120
<i>А.И. Алиферов, А.С. Аньшаков, П.В. Домаров, В.С. Чередниченко</i>	
Исследование тепловых процессов при гранулировании алюминиевых сплавов	122
<i>А.П. Скуратов, А.А. Пьяных</i>	
Повышение энергоэффективности металлургического оборудования за счет применения многофазных асинхронных электромеханических систем	123
<i>А.В. Бражников, Г.С. Гетто, И.Р. Белозеров, Д.Ю. Золотых</i>	
Повышение безопасности конструктивных элементов энергетических установок при циклических нагрузках	125
<i>В.А. Булатов, Б.В. Палагушкин, О.Т. Сидоров, Ю.В. Демин, А.И. Мозилов</i>	
Повышение энергоэффективности производства чугуна и ферросплавов при использовании карельского шунгита	127
<i>В.М. Страхов</i>	
Контроль выхода по току на современных электролизерах	129
<i>А.А. Власов, М.В. Молин, В.Ю. Бажин</i>	
Дожигание анодного газа алюминиевого производства в автономной установке	131
<i>Ю.И. Сторожев, Я.И. Петрова</i>	

#### **Часть 5. Возобновляемые и альтернативные источники энергии**

Возобновляемая энергетика как один из эффективных путей выхода России из кризиса	133
<i>П.П. Безруких</i>	
Российская биоэнергетика и развитие внутреннего рынка. Нужна ли мировому сообществу альтернативная или возобновляемая энергетика?	135
<i>Е.С. Панцхава</i>	
Об использовании ВИЭ в РФ. Законодательная база	137
<i>П.А. Понкратьев</i>	
Технологии преобразования и аккумулирования ветровой и гидроэнергии	138
<i>В.В. Елистратов</i>	
Перспективы и целесообразность использования ВИЭ в Красноярском крае, республиках Хакасия и Тыва	140
<i>Н.В. Цугленок, А.В. Бастроц, А.В. Чебодаев, Н.Б. Михеева</i>	
Перспективы использования ветроэнергетических установок в системах автономного электроснабжения северных территорий Красноярского края	142
<i>В.А. Тремясов, А.В. Бобров</i>	

Моделирование и оценка гидроэнергетических, ветроэнергетических и биоэнергетических ресурсов региона <i>Ю.С. Васильев, В.В. Елистратов, Г.И. Сидоренко</i>	144
Состояние, проблемы и перспективы развития мировой и российской ветроэнергетики <i>Ш.Н. Назыров, А.В. Уманский</i>	146
Выработка тепловой энергии при сжигании биотоплива и торфа <i>В.Ю. Безруких</i>	148
Нужна ли России большая ветроэнергетика?! <i>В.Г. Николаев</i>	149
Комплексное использование германий содержащих углей с получением исходного сырья для производства солнечных батарей на основе германия, а также тепловой и электрической энергии <i>О.И. Подкопаев</i>	152
Каталитическая интенсификация процессов переработки возобновляемого растительного сырья в биотоплива <i>Б.Н. Кузнецов</i>	153
Использование энергии возобновляемых источников в процессе освоения северных территорий <i>И.М. Кузнецов</i>	155
Развитие солнечной энергетики <i>Д.С. Стребков</i>	157
Фундаментальные исследования возобновляемых источников энергии. в Московском университете <i>А.А. Соловьев</i>	158
О возможностях расширения фактологической базы для оценки ресурсов солнечной и ветровой энергии <i>С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова</i>	160
Опыт регионального анализа ресурсов ВИЭ на территории России на основании расчетов суммарного удельного нормированного потенциала <i>Л.В. Нефедова</i>	163
Оценка энергоресурсов биомассы леса методом лазерной локации <i>И.М. Данилин, А.И. Данилин, Д.А. Свищев</i>	165
Возможности комплексного использования энергетических топлив для местной энергетики <i>Т.А. Кулагина, В.В. Куповых</i>	167
Акустическая паровая внутрикапельная кавитация – новое направление для создания эффективных энергосберегающих и экологически чистых технологий <i>Г.С. Юр, С.В. Титов, Ю.В. Демин, А.И. Мозилов</i>	173
Концептуальный подход к формированию программ развития биотехнологий в регионе <i>Г.Я. Белякова, С.А. Беляков</i>	174
Кластерный подход при формировании технопарков рационального природопользования <i>Н.И. Бугаенко</i>	176
Автономный энергетический центр по утилизации отходов сельскохозяйственных предприятий <i>П.П. Шишкарёв, М.С. Карцев, Д.А. Катков, П.М. Готовцев, А. Паван</i>	179
О целесообразности создания ветроводородных комплексов в районах Крайнего Севера <i>Д.Д. Зольникова, Д.Д. Скорлуханов, А.А. Евдокимов</i>	186
Применение метода дорожного картирования для развития возобновляемой энергетики Красноярского края <i>А.Е. Гильманов, Ю.Н. Фадеев</i>	187

Об управлении ростом «культурной биогеохимической» (по Вернадскому) ..... 190 или «цивилизационной» энергии человечества в 21-м веке <i>Н.С. Печуркин</i>	190
Перспективные направления развития энергетики в Туве ..... 192 <i>Г.Ф. Балакина, В.И. Котельников, М.П. Куликова, А.Е. Рязанова</i>	192
Газификация как одна из наиболее эффективных технологий получения электрической. . . 194 и тепловой энергии из биомассы <i>М.С. Карцев, Д.А. Катков, П.П. Шишкарев, В.Б. Осипенко</i>	194
Проблемы и перспективы развития малой гидроэнергетики в регионах России ..... 195 <i>Я.И. Бляшко</i>	195
Эффективная энергетика и надежное оборудование ..... 197 <i>А.С. Исаакян</i>	197
Опыт реализации магистерской программы «Возобновляемые источники энергии» ..... 199 в Национальном исследовательском Томском политехническом университете <i>Б.В. Лукутин, А.П. Суржиков</i>	199
Отработанные железнодорожные шпалы – экологически безопасный, возобновляемый. . . . . 201 вид топлива <i>П.П. Шишкарев, М.С. Карцев, Д.А. Катков, П.М. Готовцев</i>	201
Энергоэффективные системы солнечного горячего водоснабжения ..... 204 <i>А.В. Бастрон, Е.М. Судаев</i>	204
Перспективы использования ВИЭ в Томской области ..... 206 <i>С.С. Чернов, А.А. Отрощенко, Е.П. Полингер</i>	206
Использование водоугольного топлива в энергетике ..... 208 <i>Д.В. Слабодчикова</i>	208
Производство топлива из органического сырья ..... 212 <i>В.Б. Кусков, Я.В. Кускова, Н.В. Николаева</i>	212
Древесные отходы в лесном комплексе Сибири ..... 213 <i>В.А. Соколов, О.П. Втюрина, А.А. Лалетин</i>	213
Торфяные ресурсы в малой теплоэнергетике ..... 214 <i>В.И. Суворов, О.С. Мисников</i>	214
Критериальные подходы к оценке процессов переработки торфяного сырья ..... 215 <i>Б.В. Палюх, Б.Ф. Зюзин, О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев</i>	215
Энергоэффективность и альтернативная энергетика – одна из основных точек роста ..... 217 русской экономики в целом и красноярской экономики в частности <i>В.А. Костин, Н.И. Бугаенко</i>	217
Расширение области применения возобновляемых источников энергии и биотехнологий. . . . . 219 в рамках частно-государственного партнёрства <i>Н.И. Бугаенко</i>	219
Перспективы создания биоэнергетической индустрии переработки сельскохозяйственных . . . 223 отходов <i>И.П. Иванов, Д.И. Иванов, М.П. Баранова, С.А. Михайленко</i>	223

### **РАЗДЕЛ III. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЭК РОССИИ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Оценка влияния новых технологий на снижение энергоемкости промышленности ..... 226 <i>О.В. Мазурова</i>	226
Прогнозирование спроса на энергоносители в регионе с учетом их стоимости ..... 228 <i>Е.В. Гальперова</i>	228

Внедрение технологии термической подготовки на ТЭС – реальный способ . . . . .	230
комплексного решения проблем современной теплоэнергетики <i>В.А. Дубровский, М.В. Зубова, Н.В. Третьяк</i>	
Формирование мотивации к энергосбережению генерирующих компаний . . . . .	231
в современных условиях <i>О.В. Новикова</i>	
Основные тенденции повышения энергоэффективности. Реализация программ . . . . .	233
энергосбережения предприятий на основе топливного баланса <i>Г.Э. Афанасьев</i>	
Направления взаимодействия государства и бизнеса в реализации межотраслевого . . . . .	234
мегапроекта Восточно-Сибирского нефтегазового комплекса <i>Н.И. Пляскина, В.Н. Харитонова</i>	
Снижение энергопотребления при транспортировке газа за счет оптимизации характеристик . .	241
центробежных компрессоров газоперекачивающих агрегатов (ГПА) <i>Ю.Б. Галеркин, К.В. Солдатова</i>	
О переводе котельной студенческого городка СФУ на когенерацию. . . . .	242
<i>Л.Н. Подборский</i>	
Проблема целесообразности смещения светового пятна на вечерний максимум . . . . .	243
электронагрузки в летний период в Российской Федерации как средства экономии энергоресурсов <i>А.Ю. Чудновец</i>	
О сырьевой базе производства пылеугольного топлива для вдувания в горн. . . . .	245
доменных печей <i>М.Б. Школлер, Н.С. Князев, А.С. Полосухин, О.И. Саблина</i>	
Технология получения специальных материалов для производства . . . . .	246
электроугольных изделий и огнеупорных масс <i>М.Б. Школлер, В.В. Щеглов, О.В. Михайлова, К.С. Гончаров</i>	
Термохимический способ окускования дисперсных материалов . . . . .	248
<i>М.Б. Школлер, Е.А. Прокопович, С.В. Князев, В.И. Лебедев</i>	
Применение бурогоугольного полукокса из углей Канско-Ачинского бассейна . . . . .	250
для получения частично или полностью металлизированных продуктов <i>А.Е. Аникин, В.М. Динельт</i>	
Анализ влияния изменения часовых поясов на режим электропотребления . . . . .	252
<i>А.Ю. Чудновец, О.А. Гапончик, М.В. Токарская</i>	
Ванкорская газотурбинная электростанция – источник электрической и тепловой . . . . .	254
энергии на Ванкорском нефтяном месторождении <i>А.В. Черепанов</i>	
Энергосистема Ванкорского месторождения . . . . .	254
<i>О.Е. Попов</i>	
Концепция развития ядерной энергетики Украины до 2020 года . . . . .	255
<i>В.К. Бронников</i>	
Перспективы атомной и угольной энергетики в Сибири . . . . .	257
<i>В.И. Суслов, В.И. Федосеев, Р.Г. Хлебоброс</i>	

#### **РАЗДЕЛ IV. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕГАПОЛИСОВ**

Механизм реализации потенциала энергосбережения в системе теплоснабжения города . . . . .	260
<i>С.С. Чернов, К.С. Костюк, М.И. Панов, А.И. Колотов</i>	
Отходы как альтернативный источник энергии . . . . .	262
<i>Т.А. Кулагина, Е.Н. Писарева</i>	

Энергетика устойчивого развития – новая платформа энергообеспечения городов . . . . .	268
<i>А.В. Праховник, А.Л. Шпак</i>	
Ускоренное определение качества автомобильных бензинов . . . . .	271
<i>В.М. Екатеринбург, М.П. Баранова</i>	
Эколого-энергоресурсосберегающее устройство по утилизации низкопотенциального . . . . .	273
тепла ТЭЦ для таяния снега с целью решения экологических проблем г. Красноярска	
<i>В.А. Дубровский, А.И. Матюшенко, С.И. Островский, К.В. Гупалов,</i>	
<i>М.Ю. Потылицын, Ж.Л. Евтихов, Н.В. Третьяк</i>	
Быстродействующие АВР с микропроцессорным устройством управления . . . . .	275
<i>С.И. Гамазин, С.А. Цырук, А.И. Куликов</i>	
Гетерогенные равновесия в теплоаккумулирующих системах . . . . .	277
<i>З.Н. Есина, М. Р. Корчуганова</i>	
Современные возможности обеспечения экологической безопасности . . . . .	279
при обращении с промышленными отходами	
<i>В.М. Журавлев, Е.Н. Чернявская, Т.А. Кулагина, С.И. Клименков, Е.Н. Писарева</i>	
О применении эксергетических подходов к совершенствованию экономических . . . . .	283
методов хозяйствования	
<i>В.М. Журавлев, О.В. Кулешова</i>	
Региональные показатели энергоэффективности . . . . .	284
<i>М.С. Басс</i>	

## РАЗДЕЛ V. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ПЛАНЕТЫ

Глобалистика и энергетика в глобальном мире . . . . .	288
<i>И.А. Пфаненштиль, Л.Н. Пфаненштиль, В.Л. Пфаненштиль</i>	
Оценка экологических последствий развития энергетики . . . . .	290
<i>А.С. Шишкин</i>	
Анализ вариантов энергоэффективного снабжения Озерного горнообогатительного . . . . .	292
комбината (республика Бурятия)	
<i>С.Г. Федоров, А.С. Баранов, А.В. Терехин</i>	
Интегрированная система менеджмента в ОАО «АНПЗ ВНК» . . . . .	294
<i>В.А. Павлов, Т.Н. Моисеева, В.П. Твердохлебов, Ф.А. Бурюкин, Н.В. Гавголенко</i>	
Подземные резервуарные парки в арктических транспортно-технологических системах УВС . .	296
<i>В.П. Конухин</i>	
Комплексный метод к обеспечению экологической безопасности нефтедобывающего . . . . .	298
комплекса	
<i>В.М. Мелкозеров, С.И. Васильев, А.Я. Вельп</i>	
Исследование эксплуатационных характеристик полимерных сорбентов, используемых . . . . .	304
в природоохранных технологиях при освоении нефтяных месторождений	
<i>А.Я. Вельп, В.М. Мелкозеров, С.И. Васильев</i>	
Утилизации сероводородсодержащего газа в ОАО «АНПЗ ВНК». . . . .	306
<i>И.В. Павлов, Д.А. Мельчаков, В.П. Твердохлебов, Ф.А. Бурюкин, Н.В. Гавголенко</i>	
Особенности технологии производства низкосаistyвающих дизельных топлив. . . . .	308
<i>О.А. Дружинин, В.П. Твердохлебов, Ф.А. Бурюкин, Н.В. Гавголенко</i>	
Комплексный метод исследования смазочных материалов . . . . .	310
<i>Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Мальшева, Е.Г. Мальцева</i>	
Технология определения параметров температурной стойкости смазочных масел . . . . .	311
<i>Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Мальшева, Е.Г. Мальцева, О.Н. Петров</i>	



Технология определения предельного состояния работавших моторных масел . . . . .	313
<i>В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, Е.Г. Мальцева</i>	
Метод контроля влияния сталей СТ45 и ШХ15 на процессы термоокисления масла М10-Г2К . . .	314
<i>Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, А.А. Метелица, А.Н. Сокольников, Е.Г. Мальцева</i>	
Метод определения противоизносных свойств смазочных масел . . . . .	315
<i>Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, О.Н. Петров, Н.Н. Малышева</i>	
Предпосылки применения спириодных передач в приводах буровых машин . . . . .	317
<i>В.Н. Анферов, А.П. Ткачук, И.В. Галаюда, Ю.В. Корнеев</i>	
Перспективы технологии бурения параметрических скважин на нефть и газ . . . . .	319
предельно малым диаметром в условиях разведки месторождений в Восточной Сибири	
<i>В.Ф. Черныш, С.И. Васильев</i>	
О развитии саморегулирования в горном деле . . . . .	321
<i>В.В. Грицков</i>	
Управление структурой слитков из алюминиевых сплавов в процессе непрерывного литья . . .	323
<i>Р.М. Христинич, А.Р. Христинич</i>	
Регулирование безопасной глубины оттаивания вечномёрзлых оснований . . . . .	325
золотавалов тепловых электростанций	
<i>М.А.Симакова</i>	
Ресурсосберегающие технологии подготовки сезонно-мерзлых грунтов к разработке . . . . .	327
<i>С.И. Васильев, С.П. Ереско, В.Г. Жубрин, В.М. Мелкозеров</i>	
Перспективные направления переработки ресурсов торфяных месторождений . . . . .	329
<i>О.С. Мисников, А.Е. Тимофеев, Е.Ю. Черткова</i>	
Регулирование воздушного потока, окружающего лопасть ветроколеса, . . . . .	331
при изменении профиля лопасти	
<i>В.З. Манусов, С.Н. Удалов, Н.В. Зубова</i>	
Движение песчинки в ловильной камере сепаратора . . . . .	333
<i>П.М. Кондрашов, Н.Д. Булчаев</i>	

## **РАЗДЕЛ VI. ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ, ПОДГОТОВКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ**

Возможное развитие методов позитронной аннигиляционной спектроскопии . . . . .	336
для исследования наноявлений в нефтегазодобыче	
<i>В.И. Графутин, О.В. Илюхина, Г.Г. Мяснищева, Е.П. Прокопьев, Ю.В. Фунтиков</i>	
Исследование линии по гранулированию торфа с месторождения «Балашов лог» . . . . .	338
<i>К.В. Епифанцев</i>	
Обеспечение энергонезависимости регионов внедрением перспективных технологий . . . . .	339
добычи и переработки местных видов торфяного топлива	
<i>Д.О. Нагорнов, А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев</i>	
Топливные брикеты с низкой температурой воспламенения . . . . .	341
<i>В.Б. Кусков, Я.В. Кускова, Н.В. Николаева</i>	
Механохимический способ получения водоугольных суспензий как вариант . . . . .	343
использования углей	
<i>Е.В. Волоскова, В.А. Полубояров, А.А. Жданок, В.Н. Меленевский, О.В. Андрюшкова</i>	
Растворение ультрадисперсных углей разной стадии метаморфизма . . . . .	347
<i>Е.В. Волоскова, В.А. Полубояров, А.А. Жданок, Т.П. Милошенко, О.Ю. Фетисова, В.Н. Меленевский, О.В. Андрюшкова</i>	

Опыт разработки и реализации технологических комплексов по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива <i>В.И. Мурко</i>	352
Повышение эффективности и расширение технологических возможностей использования угольного топлива <i>И.И. Демченко, С.Б. Васильев</i>	357
Водоугольное суспензионное топливо из монгольских бурых углей <i>В.И. Мурко, В.И. Федяев, М.П. Баранова, С. Батмунх, Д. Балдандорж, Б. Сухбаатар</i>	359
Особенности реологического поведения суспензий при гидравлическом расчете трубопроводов <i>М.П. Баранова</i>	361
Теоретические и технологические основы получения водоугольных топливных суспензий из низкометаморфизованных углей <i>М.П. Баранова</i>	363
Анализ объёмов потребления топлива и ритмичности его поставок на Абаканской ТЭЦ. <i>Д.В. Явшева, А.С. Дулесов</i>	368
Исследование крупности твердой фазы в искусственном композиционном жидком топливе (ИКЖТ) <i>С.В. Луценко</i>	367
Моделирование в среде MATHCAD технологий пиролиза бурых углей <i>С.А. Семенов, Л.Ф. Гутчинский, И.О. Слободчиков</i>	368
Исследование процессов горения ИКЖТ (искусственного композитного жидкого топлива) в циклонном предтопке <i>А.И. Цепенюк, Ю.В. Овчинников, Ю.В. Стрижко</i>	370
Электро-гидроимпульсный метод получения водоугольного топлива <i>В.Б. Кашкин, А.В. Юрьев, А.А. Щитников</i>	372
Комплексное исследование технических систем добычи, переработки энергоресурсов и дальнего транспорта энергоносителей <i>А.М. Клер, Э.А. Тюрина</i>	374
Моделирование тепломассопереноса при подземной газификации угля <i>Г.В. Кузнецов, А.Н. Субботин</i>	375
Моделирование региональных систем газоснабжения <i>О.Н. Медведева, Н.Н. Осипова</i>	377
Потенциал повышения энергоэффективности газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов <i>А.А. Кибарин, Т.В. Ходанова</i>	379
Получение высококачественного окускованного топлива на основе буроугольного полукокса углей Канско-Ачинского бассейна <i>В.М. Динельт, В.М. Страхов, В.И. Ливенец, А.Е. Аникин</i>	381
Топливо-энергетический баланс как инструмент анализа и прогноза взаимодействий экономики и энергетики региона <i>В.Н. Чурашев, Н.И. Суслов, В.М. Маркова, Г.В. Чернова</i>	383
Перспектива новых видов альтернативного твердого топлива с заданными свойствами из вторичных горючих ресурсов в энергообеспечении Казахстана <i>В.М. Ким</i>	385
Расчет прочностной надежности трубопровода при наличии коррозионных дефектов <i>В.Н. Сызранцев, В.Н. Пермяков, В.В. Новоселов, С.Л. Голофаст</i>	385
Перспективы биоугольных технологий в энергетике <i>И.П. Иванов, Д.И. Иванов, М.П. Баранова, С.А. Михайленко</i>	391

**РАЗДЕЛ VII. ГИДРОДИНАМИКА БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ**

Фундаментальные исследования в гидродинамике и проблема энергоэффективности . . . . .	394
<i>В.А. Никулин</i>	
Опыт и перспективы использования суперкавитирующих аппаратов в технике и технологиях . .	396
<i>А.Ф. Немчин</i>	
Эффекты кавитационной нанотехнологии в различных производственных процессах . . . . .	398
<i>В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина</i>	
Гравитационные гидродинамические трубы при плотине Красноярской ГЭС . . . . .	406
<i>В.К. Витер</i>	
Численное моделирование прецессии вихревого ядра в отсасывающей трубе гидротурбины . . .	408
<i>А.А. Дектерев, А.В. Минаков, А.А. Сентябов</i>	
Плоскопараллельное течение идеальной среды около тела, ограниченного негладким . . . . .	410
<i>В.К. Коржев, Л.И. Вишневский</i>	
Численное моделирование кавитационных течений в гидравлических устройствах . . . . .	411
<i>К.А. Финников, А.А. Гаврилов, К.А. Демшин</i>	
Инновационный проект быстроходного катера представительского класса . . . . .	413
<i>С.Н. Климашевский, Л.И. Вишневский</i>	
Изучение эффектов кавитационного диспергирования твердофазных материалов. . . . .	415
<i>Л.В. Кашкина, В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина, О.П. Стебелева</i>	
Математическое моделирование процессов в суперкавитирующем испарителе. . . . .	417
<i>В.А. Кулагин, Т.А. Пьяных</i>	
Применение схем регулирования речного стока с выносом аккумулирующих емкостей. . . . .	419
<i>на притоки</i>	
<i>М.П. Федоров, В.В. Елистратов, В.И. Масликов</i>	
Анализ влияния кавитационной обработки природных и сточных вод. . . . .	421
<i>в суперкавитационном миксере</i>	
<i>В.В. Евстигнеев, В.А. Кулагин</i>	
Эффективное сжигание мазута . . . . .	423
<i>О.В. Каютин</i>	
Режимы деформации одиночного пузырька в вязкой жидкости . . . . .	428
<i>В.А. Архипов, И.М. Васенин, А.С. Усанина</i>	

**РАЗДЕЛ VIII. КРУГЛЫЕ СТОЛЫ****Часть 1. Информационные технологии и энергетические системы**

Исследовательский комплекс модельного проектирования и сопровождения . . . . .	430
<i>жизненного цикла объектов</i>	
<i>Б.И. Борде</i>	
Актуальность создания Автоматизированной Информационно-Измерительной . . . . .	432
<i>Системы учета потребления энергоресурсов и воды СФУ и ее архитектура</i>	
<i>П.А. Барыбин, В.П. Довгун</i>	

**Часть 2. Подготовка кадров для энергетического комплекса**

Эффективная система обучения персонала – приоритет успешного предприятия. . . . .	434
<i>И.В. Павлов, О.В. Левицкая, В.П. Твердохлебов, Ф.А. Бурюкин</i>	
Национальный исследовательский Томский политехнический университет – . . . . .	436
<i>центр подготовки, повышения квалификации и сертификации инженерных кадров</i>	
<i>П.С. Чубик, А.И. Чучалин, А.В. Замятин, Д.Г. Демянюк</i>	

---

## Замеченные опечатки

### Стр. 52, строка 13 снизу

#### Напечатано

Ограничения целевой функции (1) в задаче оптимизации запишем через вектор независимых переменных  $X$ .

$$\begin{aligned} W_{\min ij} &\leq A_1 * X_{ij} \leq W_{\max ij} \\ Q_{\min ij} &\leq A_2 * X_{ij} \leq Q_{\max ij} \\ X_{\min ij} &\leq X_{ij} \leq X_{\max ij} \end{aligned} \quad (3)$$

#### Должно быть

Ограничения целевой функции (1) в задаче оптимизации запишем через вектор независимых переменных  $X$ .

$$\begin{aligned} W_{\min ij} &\leq A_1 * X_{ij} \leq W_{\max ij} \\ Q_{\min ij} &\leq A_2 * X_{ij} \leq Q_{\max ij} \\ X_{\min ij} &\leq X_{ij} \leq X_{\max ij} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $W_{\min ij}, W_{\max ij}$  – минимальный и максимальный уровень воды в  $j$ -гидроузле в  $i$ -й расчетном периоде,  $Q_{\min ij}, Q_{\max ij}$  – минимальный и максимальный расход воды через  $j$ -гидроузел в  $i$ -й расчетный период, заданный федеральным агентством по водным ресурсам.  $A_1, A_2$  – матрицы коэффициентов при независимой переменной.

### Стр. 61, строка 26 снизу

#### Напечатано

В этих условиях для обеспечения безопасности ГТС должны быть пересчитаны схемы безопасных пропусков высоких вод через ГТС и увеличены резервные емкости водохранилища. Согласно СНиП 33-01-2003 [5] пропуск поверочного стока 0,01% (повторяемостью 1 раз в 10000 лет) должен осуществляться при не превышении ФПУ (форсировочного подпорного уровня), а пропуск стока вероятностью превышения 0,1% (повторяемостью 1 раз в 1000 лет) при не превышении НПУ (нормального подпорного уровня).

В практике регулирования уровнями наполнения и сработки водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада ГЭС в погоне за прибылью, в нарушении требований безопасности собственности ГЭС практикуют очень частые наполнения водохранилищ до ФПУ.

Так, превышение уровня Байкала над НПУ практикуется каждые 2-3 года, в некоторые годы продолжительностью стояния до четырех месяцев.

В результате форсировок уровня водохранилищ из-за отсутствия резервных емкостей на случай катастрофического притока воды, чрезвычайные ситуации с наводнениями в нижних бьефах АЕК ГЭС в последние два десятилетия участились, увеличились техногенные нагрузки на экосистемы территорий. Алгоритма принятия решений по управлению функционированием действующих ГЭС АЕК в соответствие с современными требованиями обеспечения безопасности ГТС и окружающей среды до сих пор нет.

#### Должно быть

В этих условиях для обеспечения безопасности ГТС должны быть пересчитаны схемы безопасных пропусков высоких вод через ГТС и увеличены резервные емкости водохранилища. Согласно СНиП 33-01-2003 [5] пропуск поверочного стока 0,01% (повторяемостью 1 раз в 10000 лет) должен осуществляться при не превышении ФПУ (форсировочного подпорного уровня), а пропуск стока вероятностью превышения 0,1% (повторяемостью 1 раз в 1000 лет) при не превышении НПУ (нормального подпорного уровня).

Алгоритма принятия решений по управлению функционированием действующих ГЭС АЕК в соответствие с современными требованиями обеспечения безопасности ГТС и окружающей среды до сих пор нет.

### Стр. 192, строка 3 сверху

#### Напечатано

Г.Ф. Балакина, В.И. Котельников, М.П. Куликова, А.Е. Рязанова

#### Должно быть

М.П. Куликова, Г.Ф. Балакина