

Главный редактор
Б. П. ТУМАНЯН

Научно-редакционный совет:

А. Ю. КОПЫЛОВ
Е. А. ЛУКАШЕВ,
Е. А. МАЗЛОВА,
М. Л. МЕДВЕДЕВА,
О. И. СТЕКЛОВ,
Ю. П. СТЕПИН
В. С. ШУПЛЯКОВ,
Ф. М. ХУТОРЯНСКИЙ

Редакция:

Н. Н. ПЕТРУХИНА (редактор,
ответственный секретарь),
О. В. ЛЮБИМЕНКО (редактор),
В. В. ЗЕМСКОВ (оформление
и верстка)

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В. А. Винокуров, В. И. Фролов, М. П. Крестовников, С. В. Лесин
ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО КРЕКИНГА
ТЯЖЕЛОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ 2

Бусенна Али, И. М. Колесников, Белакруф Амина, Герби Абдалла
КИНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В ЦЕОЛИТАХ ТИПА LTA..... 6

И. М. Колесников
ПИКО- И ФЕМТОКАТАЛИЗ 10

ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

С. В. Геллер
НОВЫЙ ВОЛНОВОЙ ДИСПЕРГАТОР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
СВЕРХСТОЙКИХ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ..... 13

Э. А. Микаэлян, В. П. Дорохин
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ..... 18

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

К. А. Демиденко, В. В. Зенков, А. С. Хохлов
К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА НЕФТИ..... 22

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Ю. О. Малышев
ПЕЧЬ ПРТ 50-500 ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ
РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК МТШ-90..... 25

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В. Н. Башкин, Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ
ТУНДРОВЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ ДОБЫЧИ ГАЗА 30

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. В. Бескорвайный, Е. А. Бочкова,
А. А. Новиков, М. С. Котелев
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БИОРЕАКТОРА
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА РЕАКЦИЕЙ ВОДЯНОГО ГАЗА..... 34

И. А. Буртная, О. О. Гачечиладзе
ПЕРВАПОРАЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ
ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ ШИН. СТАТЬЯ ВТОРАЯ..... 37

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ, ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

А. Л. Лapidус, И. А. Голубева
ПРОИЗВОДИТЕЛИ ГАЗОВОЙ СЕРЫ В РОССИИ,
ЭКОЛОГИЯ И МИРОВОЙ РЫНОК СЕРЫ..... 40

Адрес редакции:

111116, Москва, ул. Авиамоторная, 6.
Тел./факс: (495) 361-11-95.
e-mail: tps@list.ru
Интернет: www.nitu.ru

При перепечатке любых материалов
ссылка на журнал «Промышленный сервис»
обязательна.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации в материалах,
в том числе рекламных, предоставленных
авторами для публикации.

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средствам массовой коммуникации.
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-44240 от 17.03.2011 г.
ISSN 2224-9656

Подписной индекс в каталоге
агентства «Роспечать» 46831
Материалы авторов не возвращаются.

Тираж 1000 экз.

Отпечатано ООО «Стринг»
E-mail: String_25@mail.ru

Особенности термического крекинга тяжелого нефтяного сырья в электромагнитном поле

В. А. Винокуров, В. И. Фролов, М. П. Крестовников, С. В. Лесин
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Приведены результаты исследования термического крекинга тяжелой битуминозной нефти и прямогонного мазута при воздействии высокочастотного электромагнитного поля. Установлено, что при воздействии на тяжелое углеводородное сырье источника электромагнитного поля мощностью 0,15 кВт можно получать до 80% светлых углеводородных фракций при температурах крекинга не выше 400°C. Представлены принципиальная схема, условия проведения процесса, выходы и физико-химические характеристики продуктов крекинга.

Ключевые слова: электромагнитное поле, крекинг, тяжелое нефтяное сырье, мазут.

В связи с увеличением доли тяжелых нефтей в структуре запасов России задача переработки тяжелого углеводородного сырья становится все более актуальной. Основная проблема заключается в том, что энергетические затраты на получение единицы продукции (в основном компонентов моторных топлив) непропорционально растут по мере утяжеления фракционного состава сырой нефти [1]. Потенциальные возможности модернизации традиционных процессов переработки нефти (каталитического крекинга, гидрокрекинга) практически исчерпаны, и в ближайшей перспективе заметный прогресс в данной области не ожидается.

Ранее были опубликованы результаты исследования волнового воздействия (акустического, электромагнитного) на термический крекинг вакуумного газойля и отработанного смазочного масла [2–4]. В настоящей работе исследовано влияние электромагнитного излучения высокой частоты на термическую деструкцию битуминозной нефти Русского месторождения (НРМ) и прямогонного мазута (ПМ). Обработку углеводородного сырья осуществляли на пилотной установке, созданной на кафедре физической и коллоидной химии РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. Установка позволяет проводить предварительную обработку тяжелого углеводородного сырья путем его прокачивания через трубопровод, в котором создается электромагнитное поле частотой 49,5 МГц с помощью высокочастотного активатора мощностью 0,15 кВт при температуре 50°C и атмосферном давлении. Принципиальная схема установки представлена на **рис. 1**.

Физико-химические характеристики НРМ и ПМ представлены ниже.

Нефть Русского месторождения
Плотность при 20°C, кг/м³ 941,3

Кинематическая вязкость	
при 20°C, мм ² /с	595,8
Содержание, % мас.	
серы	0,389
воды	0,50
Фракционный состав	
н.к., °C	220
выход фракций, % мас.	
220–230°C	0,41
230–240	0,50
240–250	0,64
250–260	0,69
260–270	0,75
270–280	0,76
280–290	0,82
290–300	0,93
300–310	1,06
310–320	1,09
320–330	1,00

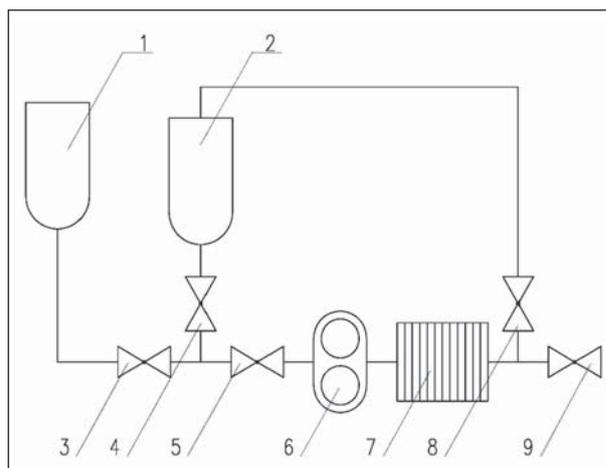


Рис. 1. Принципиальная схема пилотной установки переработки тяжелого углеводородного сырья с применением электромагнитного излучения при атмосферном давлении (обозначения см. в тексте)

330–340	1,17
340–350	1,16
н.к.–350.....	11,25
350–538	22,69
н.к.–538.....	33,94
остаток >538°С	65,51
потери.....	0,55

Прямогонный мазут

Плотность при 20°С, кг/м ³ (ГОСТ 3900–85).....	914,3
Фракционный состав (ГОСТ 2177–99, метод Б) н.к., °С.....	171
выход фракций, % мас. 171–180°С	0,3
180–240	2,7
240–300	8
300–350	19
к.к., °С.....	350
остаток в колбе.....	69,3
потери.....	0,7

Эксперименты проводили согласно следующей методике. В емкость 1 (см. рис. 1) вместимостью 5 дм³ загружается сырье и нагревается до температуры 50°С. После этого включается шестеренчатый насос 6 и настраивается необходимое значение расхода сырья (0,1–0,5 м³/ч). Далее открываются краны 3, 5, 8, 4, сырье подается в систему, кран 3 закрывается, и устанавливается режим циркуляции по контуру 6 → 7 → 2 → 6 (насос → активатор → накопительная емкость → насос). После этого включается электромагнитный активатор 7, настраивается на частоту электромагнитного излучения 49,5 МГц, и сырье подвергается электромагнитной обработке в течение 4 ч. По окончании этого

периода активированное сырье через кран 9 сливается в колбу для термической деструкции. Термическая деструкция проводится при температуре 397°С, при этом выделяется широкая фракция 26–360°С, которая затем подвергается фракционной перегонке в автоматическом режиме на аппарате АРНС-20 «Линте Л®» (ОАО БСКБ «Нефтехимавтоматика») с выделением бензиновой и дизельной фракций, а также остатка >350°С.

На *рис. 2, а* представлены кривые фракционной разгонки продуктов термической деструкции неактивированного и активированного прямогонного мазута. Как видно, после электромагнитной активации выход светлых фракций крекинга увеличивается примерно в 2 раза. На *рис. 2, б* представлены аналогичные кривые для нефти Русского месторождения. Видно, что после электромагнитной активации выход светлых фракций увеличивается примерно в 6 раз.

В *табл. 1* и *2* представлены материальные балансы процессов деструкции прямогонного мазута и нефти Русского месторождения после их активации высокочастотным электромагнитным полем.

После крекинга активированного сырья значительно снижается его температура начала кипения (с 171 до 110°С для прямогонного мазута и с 220 до 84°С для нефти Русского месторождения), и образуются бензиновые и дизельные фракции. При этом выход бензиновой фракции незначителен и не превышает 8%. Выход дизельной фракции из нефти Русского месторождения увеличивается в 6,5 раза, из прямогонного мазута — в 2,5 раза, т. е. при термодеструкции активированного сырья образуется в основном

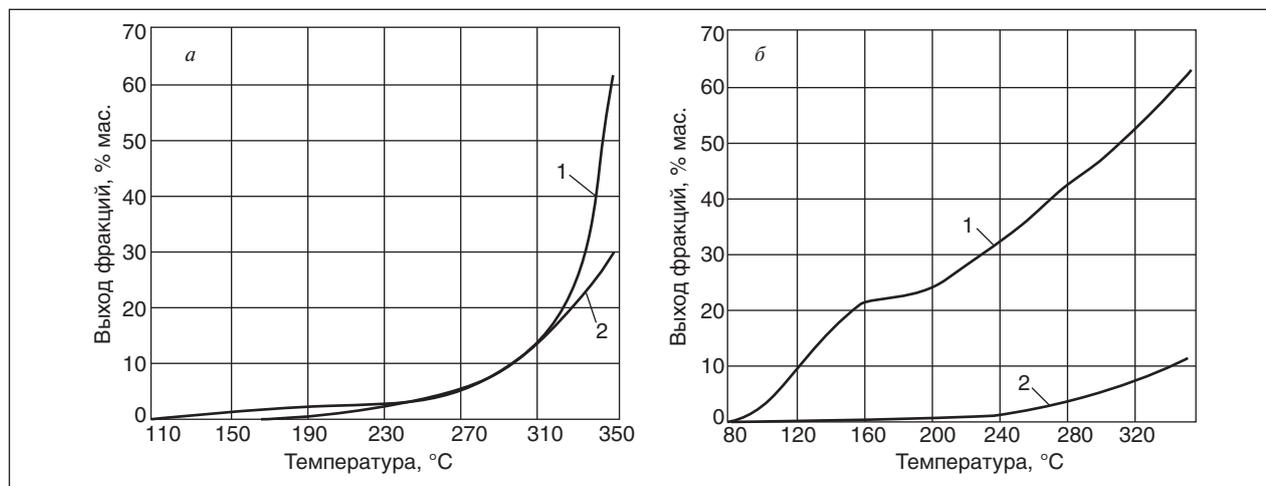


Рис. 2. Кривые разгонки продуктов термической деструкции активированного (кривая 1) и неактивированного (кривая 2) мазута (а) и продуктов термической деструкции активированной (кривая 1) и неактивированной (кривая 2) нефти Русского месторождения (б)

Табл. 1. Материальный баланс процесса деструкции активированного мазута

Наименование	Выход	
	кг	% мас.
Взято		
Прямогонный мазут	28,64	100
Итого	28,64	100
Получено		
Газ C ₁ -C ₄	0,57	2,0
Бензиновая фракция 110–180°C	1,58	5,5
Дизельная фракция 180–350°C	20,94	73,1
Остаток >350°C	4,04	14,1
Потери	1,52	5,3
Итого	28,64	100

дизельная фракция. При термодеструкции не наблюдается образования заметных количеств кокса, а выход углеводородных газов составляет 1–2%, что значительно ниже, чем при использовании традиционных технологий переработки [1].

Характеристики полученных фракций и остатков представлены в **табл. 3**.

Как видно, полученная дизельная фракция по температуре застывания соответствует зимнему дизельному топливу, однако требует гидроочистки. Получаемый остаток >350°C по вязкости и температуре застывания соответствует мазуту М 100.

Таким образом, высокочастотная обработка тяжелого углеводородного сырья с последующей деструкцией его при температуре 397°C и атмосферном давлении способствует образованию в основном дизельных фракций, исключает коксообразование и снижает выход углеводородных газов до 1–2%.

Исследование проводится в рамках Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы». Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства

Табл. 2. Материальный баланс процесса деструкции активированной нефти Русского месторождения

Наименование	Выход	
	кг	% мас.
Взято		
Нефть Русского месторождения	27,17	100
Итого	27,17	100
Получено		
Газ C ₁ -C ₄	0,27	1,0
Бензиновая фракция 84–180°C	2,15	7,9
Дизельная фракция 180–350°C	20,35	74,9
Остаток >350°C	1,74	6,4
Потери	2,66	9,8
Итого	27,17	100

Табл. 3. Характеристики фракций и остатков, полученных термодеструкцией активированной нефти Русского месторождения

Показатели	Бензиновая фракция	Дизельная фракция	Остаток >360°C
Плотность, кг/м ³	731	885	–
Температура, °C			
застывания	–	–27	15
вспышки в открытом тигле	–	–	71
Содержание серы, % мас.	–	0,26	–
Групповой состав, % мас.			
изопарафины + нафтены	–	74,04	–
ароматические			
моноциклические	–	20,2	–
бициклические	–	5,5	–
полициклические	–	Отс.	–
Октановое число (ИМ)	79,9	–	–
Кинематическая вязкость при 80°C, мм ² /с	–	–	52

образования Российской Федерации (Государственный контракт от «08» июля 2011 г. № 16.516.11.6077).

Литература

1. Рудин М. Г., Сомов В. Е., Фомин А. С. Карманный справочник нефтепереработчика. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2004. — 336 с.
2. Винокуров В. А., Фролов В. И., Крестовников М. П. и др. Исследование термического крекинга отработанных смазочных масел при волновом воздействии // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2011. — № 12. — С. 8–16.
3. Винокуров В. А., Фролов В. И., Крестовников М. П. и др. Исследование влияния волнового воздействия на нефти // Там же. — 2012. — № 3. — С. 3–8.
4. Винокуров В. А., Фролов В. И., Крестовников М. П. Исследование низкотемпературного крекинга вакуумного газойля под действием электромагнитного излучения // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. — 2010. — № 2. — С. 61–70.

V. A. Vinokurov, V. I. Frolov, M. P. Krestovnikov, and S. V. Lesin

Particularities of Heavy Hydrocarbon Feedstock Thermal Cracking in Electromagnetic Field

The article presents the research results of heavy bituminous crude and atmospheric residue thermal cracking influenced by high-frequency electromagnetic field. It has been established that by influencing on heavy feed by electromagnetic field source with power 0.15 rW, one can obtain up to 80% of light hydrocarbon fractions at cracking temperature lower than 400°. Principal flow chart, the process conditions, material balance and the main products' characteristics are presented.

Key words: electromagnetic field, cracking, heavy hydrocarbon feedstock, atmospheric residue.

Вниманию специалистов!

С. В. Дейнеко

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА

В учебном пособии излагаются основы теории надежности систем трубопроводного транспорта нефти и газа и их практическое применение для решения научных и инженерных задач. Приводится анализ и классификация отказов газонефтепроводов, а также обработка статистических данных по отказам.

Рассматриваются методы обеспечения надежности на стадии проектирования и оценки надежности газонефтепроводов на стадии эксплуатации. Рассматриваются теория, критерии и показатели надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем.

Представлены методология исследования и оценки эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта; методика построения структурных схем надежности газонефтепроводов; методика построения моделей надежности объектов газонефтепроводов; методика компьютерного моделирования в Excel для решения задач надежности; методы оценки достоверности построенных моделей надежности. Практическая реализация методов приводится в ранее изданных книгах «Оценка надежности газонефтепроводов. Задачи с решениями» и «Построение моделей надежности газонефтепроводов методом компьютерного моделирования. Лабораторный практикум», которые дополняют данное учебное пособие.

Учебное пособие предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов специальности 130501 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ», а также может быть использовано инженерно-техническим персоналом, связанным с оценкой эксплуатационной надежности газонефтепроводов.

М.: Издательство «Техника», 2011. — 176 с.

Кинетическое исследование распределения ионов металлов в цеолитах типа LTA

Бусенна Али, И. М. Колесников, Белакурф Амина, Герби Абдалла
 Университет им. Мухаммеда Бугара (г. Бумердес, Алжир),
 РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Представлены результаты модифицирования цеолита LTA ионами кобальта, никеля, молибдена, вольфрама, ванадия, церия. Исследована возможность использования полученных цеолитов в качестве катализаторов изомеризации *n*-гексана.

Ключевые слова: цеолит, катализатор, ионный обмен, изомеризация, углеводороды.

Обмен ионами. Цеолит, содержащий ионы молибдена, никеля, кобальта, ванадия, вольфрама и церия, получали при активировании исходного цеолита оксалатом аммония в растворе солей, подкисленном до pH = 5–6,2. Ионный обмен цеолита LTA осуществляли в водных растворах солей при использовании цеолита в форме шариков диаметром 4 мм [1]. Было установлено, что стабильность цеолита обеспечивается даже при pH > 5,5. Такая кислотность среды достаточна для растворенных катионов, замещающих ионы в цеолите.

Цеолит предварительно обрабатывали оксалатом аммония. Готовили водный раствор оксалата аммония, который активирует цеолит для протекания процесса обмена ионов в решетке цеолита на ионы металлов: молибдена, никеля, кобальта, ванадия, вольфрама и церия. При этом в растворе образуются комплексы, которые стабилизируются при pH = 10–11. Кислотность смеси катионов в растворе доводили до pH = 10–11 для того, чтобы можно было стабилизировать сформированные комплексы. Полученный раствор добавляли к цеолиту. Реакционную смесь подкисляли до pH = 6–6,2 или 2–2,2 с целью разрушения комплекса ионов металла с оксалатом аммония и высвобождения катионов металлов [2–4]. Кислый раствор обеспечивал стабилизацию двухвалентных катионов в решетке цеолита [5].

Ионы в решетке цеолита заменяли ионами металлов в количестве 3, 4 и 5%. Кинетику разложения комплекса металлов в кислой среде контролировали фотоколориметрическим методом, фиксируя изменение оптической плотности во времени, что позволяет следить за изменением концентрации катионов, задержанных цеолитом. Определяли удельную поверхность, объем пор и радиус пор в расчете на 1 г образца полученных цеолитов. Для анализов использовали частицы цеолитов размером 0,5 мм. Образцы цеолитов прокачивали при 500°C в течение 2 ч для удаления из них влаги и примесей органических

веществ. Общий объем пор определяли по адсорбции газообразного бензола по стандартной методике [6]. Полученные результаты показывают, что цеолиты, содержащие ионы металлов, проявляют значительное сопротивление воздействию кислот даже при pH < 2. Анализ цеолитов методом X-флуоресценции показал, что 4,5% ионов цеолита LTA заменено ионами металлов из раствора.

При ионном обмене ионов цеолита на ионы указанных выше металлов свойства раствора изменялись. Для количественного определения изменения свойств растворов изучали кинетику накопления соответствующих ионов в решетке цеолита с помощью фотоколориметра. Количественное накопление ионов в решетке цеолита определяли по изменению оптической плотности раствора. Результаты исследования кинетики ионного обмена представлены на **рис. 1** (V и Ce — соответственно ионы ванадия и церия, 5 — количество замененных ионов, %). Видно, что процесс ионного обмена описывается экспонентой, что отражено законом Ламберта–Бэра в виде зависимости оптической плотности раствора от концентрации в нем солей.

Данные о скорости обмена ионов из решетки цеолита на ионы солей представлены в **табл. 1**.

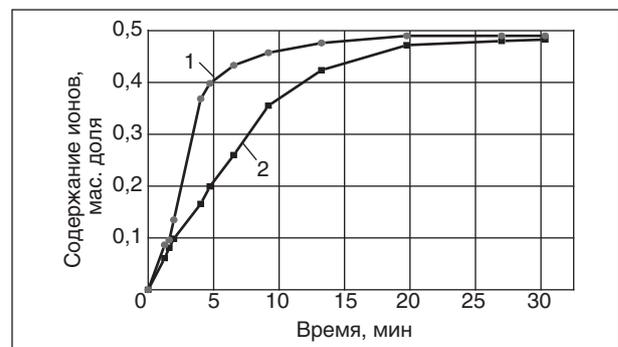


Рис. 1. Кинетика накопления ионов в решетке цеолита: 1 — ZV5; 2 — ZCe5

Табл. 1. Скорость ионного обмена

Катионы	pH раствора при разрушении комплекса	Количество замененных ионов в решетке цеолита, г	Константа скорости ионного обмена, мин ⁻¹
Ni ⁺²	6–6,2	0,436	0,230
Mo ⁺⁶	6–6,2	0,526	0,273
W ⁺⁶	6–6,2	0,4217	0,250
Co ⁺²	6–6,2	0,151	0,272
V ⁺⁴	2–2,2	0,496	0,207
Ce ⁺⁴	1,9–2,0	0,487	0,0524

Примечание. Количество замененных ионов во всех цеолитах — 5%.

Табл. 2. Характеристики полученных цеолитов

Цеолит	pH синтеза	Удельная поверхность, м ² /г	Объем пор, 10 ⁻³ см ³ /г	Средний радиус пор, 10 ⁻⁸ м	Степень обмена, мэкв/г
Исходный	6–6,2	474,0	0,690	0,0289	0,260
ZNi5	6–6,2	189,60	1,1440	1,206	0,176
ZNi4		417,12	1,1437	0,548	–
ZNi3		474,00	1,1424	0,482	–
ZV5	2–2,2	341,28	1,2578	0,737	0,360
ZV4		398,16	1,2525	0,629	–
ZV3		398,16	1,2519	0,628	–
ZCe5	1,8–2,0	208,56	1,3108	1,257	0,240
ZCe4		322,32	1,1445	0,710	–
ZCe3		360,24	1,1424	0,634	–
ZW5	6–6,2	265,44	1,3108	0,987	0,310
ZW4		284,40	1,1437	0,804	–
ZW3		284,40	1,1423	0,803	–

Видно, что константа скорости ионного обмена существенно зависит от природы иона, который внедряется в решетку цеолита. Ионы Mo⁶⁺ и Co²⁺ участвуют в процессе ионного обмена с максимальной скоростью, а ион Ce⁴⁺ — с минимальной. Это важно учитывать при использовании этих цеолитов в производстве цеолитсодержащих катализаторов гидроочистки нефтяных фракций от соединений серы.

Далее определяли удельную поверхность, объем пор и средний радиус пор по адсорбции бензола для цеолитов, содержащих обмененные ионы разной природы при разной степени ионного обмена (табл. 2).

Видно, что удельная поверхность цеолитов зависит как от природы иона, замещающего ион натрия в решетке, так и от степени замещения

иона натрия в решетке другими ионами. Это связано с тем, что ионы металлов в решетке цеолита уменьшают средний радиус пор.

Затем X-флуоресцентным методом определяли (с формальной точки зрения) содержание оксидов металлов, ионы которых содержатся в решетке цеолита типа ZMe5 (табл. 3).

Сравнительные данные X-флуоресцентного анализа показаны на рис. 2.

С помощью электронной микроскопии установлена пористая структура цеолитов до обмена ионов натрия и после обмена их на другие ионы (рис. 3).

Каталитическую активность цеолитов изучали в реакции изомеризации *n*-гексана по методике [7, 8]. Каталитическую активность

Табл. 3. Содержание оксидов металлов в цеолитах

Цеолит	Содержание оксидов металлов, %									Сумма, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	NiO	V ₂ O ₅	WO ₂	CeO ₂	
Исходный	32,53	29,15	0,73	0,19	16,55	0,0037	–	–	–	99,53
ZNi	32,52	29,12	0,01	0,05	15,30	4,98	–	–	–	99,90
ZCe	33,0	29,44	–	–	15,80	–	–	–	4,78	99,90
ZV	32,65	28,98	–	–	15,40	–	4,96	–	–	98,97
ZW	32,20	29,11	–	–	16,10	–	–	4,30	–	99,80

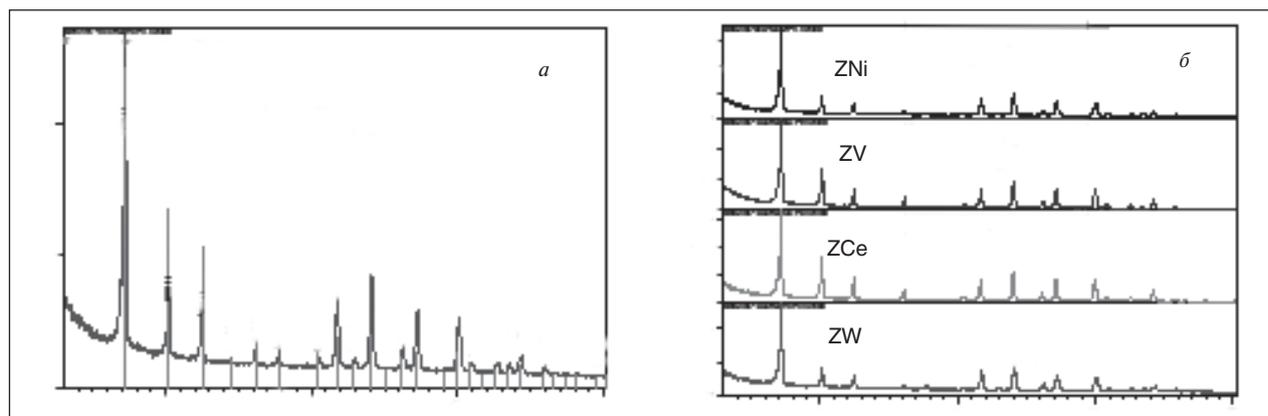


Рис. 2. X-флуоресценция: *a* — исходного цеолита; *б* — цеолитов после ионного обмена

Табл. 4. Результаты оценки каталитической активности цеолитов

Углеводороды	ZNi		ZCe		ZV		ZW	
	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>X</i>	<i>S</i>	<i>X</i>	<i>S</i>
2,2- и 2,3-Диметилбутаны	1,77	5,17	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	41,92	45,29
Вторичные изопарафины	0,70	2,05	1,06	6,17	9,38	10,6	7,77	8,54
Олефины	12,74	37,22	1,12	6,52	75,13	84,78	2,10	2,31
Ароматические	1,021	2,98	0,285	1,66	0,837	0,95	0,322	0,0035
Нафтены	15,8	16,2	14,7	85,	Отс.	Отс.	39,9	43,95
Циклоолефины	1,37	4,00	Отс.	Отс.	Отс.	0,48	Отс.	Отс.

Примечание. *X* — степень превращения *n*-гексана, %; *S* — селективность, %.

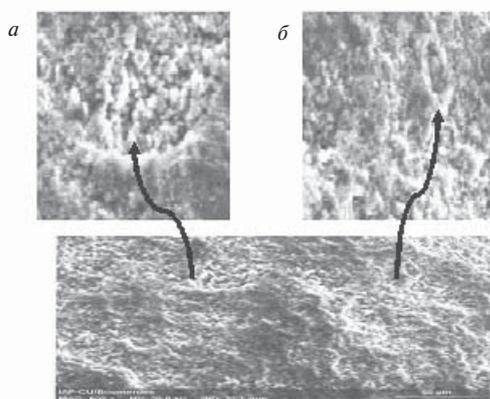


Рис. 3. Пористая структура цеолита после ионного обмена (*a*) и исходного цеолита (*б*)

определяли при температуре в слое катализатора 300°C, давлении 0,1 МПа и объемной скорости подачи сырья 8 ч⁻¹. Состав продуктов реакции определяли хроматографическим методом. Результаты анализа реакционной смеси приведены в **табл. 4**.

Видно, что цеолит, содержащий ионы ванадия, проявляет наибольшую активность в реакции дегидрирования гексана с образованием олефинов, среднюю активность в этом процессе проявляют цеолиты ZNi и ZCe. Цеолит ZW проявляет высокую каталитическую активность в реакциях получения 2,2- и 2,3-диметилбутанов и нафтенов. Этот катализатор может применяться в процессах изомеризации парафиновых углеводородов с получением высокооктановых изомеров.

Литература

1. Paratin J. — Chem. Rev. — 2002. — N 102. — P. 4093.
2. Ajot H., Joly J. F., Lynch J. et al. — Stud. Surf. Sci. Catal. — 1991. — V. 62. — P. 583.
3. Jansen A. H., Koster A. J., DeJong K. P. — J. Phys. Chem. — 2002. — V. 106. — P. 11905.
4. Atay Z. N., Varnali T. — Turk. J. Chem. — 2002. — V. 26. — P. 303–309.
5. Wilkin R. T., Barnes H. L. — Amer. Mineralogist. — 1998. — V. 83. — P. 746–761.
6. Lazrev A. N. — Techniques Fondamentales d'Adsorption. — Moscou: Ed. Chimie, 1976. — P. 98–99.
7. Peter A. Jacobs. Carbonogenic Activity of Zeolites. — Moscow: Mir, 1983. — P. 127.
8. Jimnez C., Romero F. J. et al. — Applied Catalysis A: General. — 2003. — V. 249. — № 1. — P. 175–185.

A. Busenna, I. M. Kolesnikov, B. Amina, G. Abdallakh

Kinetic Investigation of Metal Ions Distribution in LTA Zeolites

The results of LTA zeolite modification with cobalt, nickel, molybdenum, tungsten, vanadium and cerium ions are presented. The possibility of modified catalysts utilization in n-hexane isomerization process is studied.

Key words: zeolite, catalyst, ion exchange, isomerization, hydrocarbons.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению и представлению материалов для публикации

1. Материалы для публикации представляются в виде файла в формате Microsoft Word for Windows — по электронной почте.
2. Титульный лист статьи, заверенный подписью автора, следует прислать по факсу или электронной почте (скан).
3. Материалы для публикации обязательно должны содержать аннотацию и ключевые слова на русском и (желательно) английском языках.
4. К материалам для публикации прилагаются сведения обо всех авторах: фамилия, имя, отчество, место работы полностью, e-mail, адрес (с индексом), телефон.
5. Статья должна быть написана хорошим литературным языком. В ней не должны содержаться базисные, общеизвестные, сведения по профильной научной тематике.
6. Объем материала не должен превышать 14 страниц, включая рисунки и таблицы. Рекомендуется использовать 12 шрифт с полуторным межстрочным интервалом.
7. При использовании единиц измерения необходимо придерживаться международной системы единиц СИ (давление — в МПа, плотность — в кг/м³ и т. д.).
8. Дублирование данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо.
9. Если авторы статьи ссылаются на собственные труды, то их общее количество не может превышать 50% списка литературы.
10. Ссылки на литературу приводятся в тексте в квадратных скобках, например [1, 2], [4–6]. Список литературы формируется в соответствии с очередностью упоминания цитируемых источников в тексте статьи (а НЕ в алфавитном порядке).
11. Графическая информация должна быть черно-белой (за исключением фотографий). Графики, диаграммы, схемы и др. рекомендуется представлять в файлах формата EPS или TIFF (300 dpi, CMYK или grayscale), за исключением рисунков, сделанных в программах Microsoft Office (Excel, Visio, PowerPoint и т. д.), которые представляются в оригинале. Рисунки должны быть четкими и выполняться на белом фоне. Каждый рисунок должен быть снабжен подрисуночной подписью. Оси графиков должны иметь подписи без сокращений. Элементы схем, чертежей и др. должны иметь подписи или обозначения, расшифровка которых должна содержаться в подрисуночной подписи.
12. Таблицы выполняются в форматах Microsoft Word или Excel. Каждая строка таблицы должна оформляться именно как отдельная строка. Разделение строк и столбцов таблицы с помощью знаков «пробел», «Enter» не допускается.
13. Простые формулы рекомендуется выполнять в Microsoft Word, более сложные — в Редакторе формул Microsoft Equation Editor или аналогичном редакторе. Все входящие в формулу параметры должны быть расшифрованы. Расшифровку приводят один раз, когда параметр встречается впервые. Выполнение формул в виде рисунков не допускается.

Подробнее о правилах публикации — на сайте www.nitu.ru.

Пико- и фемтокатализ

И. М. Колесников
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Впервые представлено новое направление в катализе — пикосекундный и фемтосекундный катализ. Приведены результаты алкилирования бензола хлористым изопропилом при облучении ультрафиолетовым светом.

Ключевые слова: пикосекундный, фемтосекундный, катализ, алкилирование, бензол, хлористый изопропилбензол.

Пико- и фемтокатализ — это раздел науки о катализе, изучающий элементарные каталитические стадии, которые протекают в течение пикосекунд (10^{-12} с) и фемтосекунд (10^{-15} с). Эти промежутки времени соответствуют продолжительности процессов электронно-колебательного возбуждения связей в молекулах. Такие процессы могут протекать при различных внешних воздействиях на молекулу реагента и, в частности, при воздействии лучей ультрафиолетового света (УФС).

При поглощении адсорбированной на поверхности катализатора молекулой энергии УФС происходит переход пары электронов с верхней заполненной молекулярной орбитали на нижнюю вакантную молекулярную орбиталь. Следовательно, электроны переходят с низшего колебательного уровня на один из высших колебательных подуровней с поселением одного или пары возбужденных электронов на высшем энергетическом подуровне. Время поглощения энергии УФС составляет несколько пико- или фемтосекунд. Заселение одного электрона на высшем энергетическом подуровне создает дуплет в УФ спектре. Перенос пары возбужденных спаренных электронов ($\downarrow\uparrow$) на высший энергетический подуровень определяет синглетное состояние связи, а перенос двух распаренных электронов ($\uparrow\uparrow$) определяет триплетное состояние связи или молекулы. Синглетное состояние молекулы энергетически неустойчиво и переходит в триплетное состояние вследствие деактивации синглета с выделением энергии в форме квантовых выходов. Это происходит по следующим причинам:

- безизлучательной релаксации или внутренней конверсии (изменение ориентации электронов);
- флуоресценции с переходом электронов на прежний энергетический уровень;
- переноса электрона на вакантную орбиталь полиэдра катализатора с выделением энергии, рассеиваемой в форме теплоты;

- химического преобразования связей в возбужденных молекулах;
- диссипации (рассеяния) энергии в решетке твердого тела.

Флуоресценция определяется тем, что вначале вещество избирательно поглощает часть света, а затем излучает свет такой же или меньшей длины волны. При опалесценции длина волны поглощаемого света в точности равна длине волны излучаемого света. Время жизни флуоресценции определяется по формуле:

$$1/\tau_0 = 3 \cdot 10^{-9} \nu_m^2 \Delta \nu \epsilon_m,$$

где τ_0 — собственное время жизни флуоресценции; ν — волновое число; $\Delta \nu$ — ширина полосы поглощения на уровне $1/2\epsilon_m$; ϵ_m — молярный коэффициент экстинкции (поглощения).

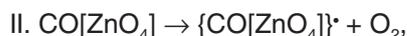
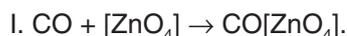
Лучи УФС возбуждают молекулы углеводородов, превращая их в доноры электронов. В катализаторе акцепторами электронов являются полиэдры с вакантными атомными и молекулярными орбиталями. Время возбуждения электронов в молекулах составляет несколько Фс, а передача электронов акцептору (полиэдру) может занимать 10–100 Пс. Под воздействием УФС возбужденная молекула углеводорода и каталитический центр формируют экситон — электронно-возбужденную молекулу, энергия и вероятность распределения заряда которой определяют состояние комплекса в форме дуплета, синглета или триплета. Для образования экситона достаточны волны длиной 175–450 нм.

Некоторые твердые тела являются фотоактивными катализаторами, другие менее активны в таких процессах. Высокой фотоактивностью обладает оксид цинка в реакции окисления оксида углерода. Этот катализатор отличается полупроводниковыми свойствами. В присутствии оксида цинка протекает темновая реакция окисления оксида углерода в диоксид, а также фотореакция при облучении смеси УФС с длиной волны 400 и 450 нм. Фотоката-

Табл. 1. Результаты экспериментов по алкилированию бензола без облучения

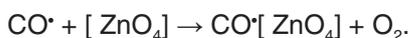
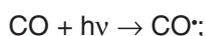
Температура, °C	Состав реакционной смеси, мольные доли			
	бензол	хлористый изопропил	изопропилбензол	диизопропилбензол
Алюмосиликатный катализатор				
25	0,992	0,325	0,006	–
45	0,913	0,261	0,073	0,008
65	0,875	0,193	0,115	0,017
Цеолиталюмосиликатный катализатор				
25	0,940	0,274	0,054	0,004
45	0,823	0,109	0,157	0,040
65	0,798	0,070	0,181	0,048

литическое окисление оксида углерода протекает с более высокой скоростью, чем темновая реакция. Это различие может быть связано с разными механизмами адсорбции реагентов на тетраэдрах $[ZnO_4]$. В темновой реакции на тетраэдрах адсорбируются молекулы реагентов в основном (невозбужденном) состоянии, которые при нагревании системы до $400^\circ C$ переходят в возбужденное состояние. Возбужденные молекулы образуют с активным тетраэдром экситон, который характеризует хемосорбцию реагентов согласно следующей схеме.



где стадия I отражает физическую адсорбцию оксида углерода, а стадия II — хемосорбцию.

В условиях фотокатализа вначале молекула оксида углерода поглощает квант света с длиной волны 380 нм с переходом в возбужденное состояние. Затем возбужденная молекула адсорбируется на активном тетраэдре с образованием экситона, который отражает уже хемосорбционное состояние комплекса.



Следовательно, в любом процессе химическому (каталитическому) превращению вещества

предшествует стадия возбуждения его молекул и хемосорбции молекул реагента на активном центре (образование экситона).

При проведении экспериментов нами было установлено, что эффективно протекает реакция фотокаталитического алкилирования бензола хлористым изопропилом. Эксперименты проводили без облучения и с облучением, в присутствии алюмосиликатного и цеолиталюмосиликатного катализаторов, при температурах 25; 45 и $65^\circ C$ и продолжительности контактирования 3 ч. Мольное отношение бензол : хлористый изопропил было равно 3:1. Фотокаталитическое алкилирование жидкого бензола хлористым изопропилом проводили в кварцевой колбе. Мощность W облучения составляла 1344; 2242,8; 4494 и 8988 кДж/час. Мощность ультрафиолетового облучения рассчитывали по формуле:

$$W = kW_0S_p/2\pi lx,$$

где k — константа; W_0 — характеристика лампы; S_p — облучаемая площадь реактора с катализатором и раствором реакционной массы; l — длина лампы; x — расстояние от источника до кварцевого реактора.

Результаты экспериментов по алкилированию бензола хлористым изопропилом без облучения приведены в **табл. 1**. Видно, что с повышением температуры в реакторе выходы кумола и диизопропилбензолов возрастают в

Табл. 2. Результаты экспериментов при облучении реакционной смеси УФС

Температура, °C	Состав реакционной смеси, мольные доли			
	бензол	хлористый изопропил-бензол	изопропилбензол	диизопропилбензол
Алюмосиликатный катализатор				
25	0,990	0,323	0,800	0,007
45	0,855	0,189	0,129	0,013
65	0,837	0,114	0,151	0,026
Цеолиталюмосиликатный катализатор				
25	0,920	0,260	0,071	0,009
45	0,779	0,062	0,210	0,034
65	0,761	0,055	0,216	0,041

присутствии обоих катализаторов. Но цеолит-алюмосиликатный катализатор активнее аморфного промышленного алюмосиликатного катализатора, поскольку содержит меньше ансамблей тетраэдров $[AlO_4SiO_4]$.

Результаты экспериментов при облучении реакционной смеси УФС приведены в **табл. 2**. Видно, что облучение реакционной смеси УФС повышает выход изопропилбензола и диизопропилбензолов в присутствии как алюмосиликатного, так и цеолиталюмосиликатного катализатора. Более высокий выход продуктов реакции под действием УФС обусловлен тем, что молекулы

бензола взаимодействуют в хемосорбированном состоянии после возбуждения их в основном состоянии. Процесс фотокаталитического алкилирования можно отнести к активированному пико- и фемтосекундному катализу.

В заключение необходимо отметить, что для эффективного использования фотокатализа в промышленных процессах необходимо подбирать оптимальную длину волны УФС и фотоприемлемый катализатор. Так, цеолит-алюмосиликатный катализатор является более фотоприемлемым к пико- и фемтокатализу, чем синтетический алюмосиликатный катализатор.

I. M. Kolesnikov

Pico- and Femtocatalysis

A new direction in catalysis — picosecond and femtosecond catalysis is presented for the first time. The article presents the results of alkylation of benzene with isopropyl chloride under ultraviolet irradiation.

Key words: picosecond, femtosecond, catalysis, alkylation, benzene, isopropyl chloride.

Вниманию специалистов!

И. М. Колесников

КАТАЛИЗ И ПРОИЗВОДСТВО КАТАЛИЗАТОРОВ

В книге изложены теория и практика изучения, подбора и производства катализаторов. Приведены методы и технологии синтеза катализаторов на лабораторном и промышленном уровне. Представлены основы теорий гомогенного и гетерогенного катализа. Значительное внимание уделено проблемам подбора и оптимизации состава катализаторов. Подробно излагаются ранние теории катализа и синтеза катализаторов.

Специальный раздел посвящен физико-химическим свойствам катализаторов, способам производства носителей, катализаторов и контролю их качества, управления производством на катализаторных фабриках.

В книге представлены технологические схемы производства наиболее распространенных в промышленности носителей и катализаторов.

Книга адресована широкому кругу инженерно-технических работников промышленных предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций.

М.: Издательство «Техника», 2004. — 450 с.

А. М. Данилов

ВВЕДЕНИЕ В ХИММОТОЛОГИЮ

Книга посвящена применению топлив, масел, специальных жидкостей. Приводится обширный справочный материал по их характеристикам и эксплуатационным свойствам. Изложены принципы создания и эксплуатации двигателей.

Книга адресована широкому кругу читателей.

М.: Издательство «Техника», 2003. — 464 с.

Новый волновой диспергатор для получения сверхстойких водомазутных эмульсий

С. В. Геллер

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилёва (г. Астана)

Проанализированы причины недостаточно широкого использования водотопливных эмульсий в российской теплоэнергетике. Описана новая успешно апробированная система приготовления жидких топлив, которая осуществляет фильтрацию и подогрев компонентов топлива, его дозированное обводнение и диспергирование с образованием сверхстойких водотопливных эмульсий (СВТЭ), а также подогрев эмульсионного топлива до оптимальной для сжигания температуры. СВТЭ получали путем прокачивания смеси исходных компонентов через волновой диспергатор. Высокая дисперсность СВТЭ подтверждена микроскопическими исследованиями. Стойкость к расслоению эмульгированного топлива доказана путем центрифугирования при частоте 13 000 мин⁻¹, а высокие теплотехнические и экологические свойства — сжиганием в котле котельной.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, теплоэнергетика, жидкие котельные топлива, углеводородные отходы, промышленные стоки, водотопливные эмульсии, водомазутные эмульсии, стабильность эмульсий, диспергирование, сжигание эмульсионного топлива.

Повышение экономичности и экологической безопасности тепловых установок на жидком топливе очень актуально и может быть достигнуто путем сжигания топливных эмульсий: вода – мазут, вода – дизельное топливо, вода – мазут – угольная пыль. Изучение водотопливных (ВТЭ) и, в частности, водомазутных эмульсий (ВМЭ) началось в 60-х гг. прошлого века [1]. Расчеты и экспериментальные данные [2–11] однозначно свидетельствуют о том, что перевод котлов на сжигание ВТЭ является целесообразным, так как улучшает энергетические показатели котлов и снижает объем вредных выбросов.

Разумеется, вода не горит в составе топливной эмульсии, но водяной пар распадается на радикалы, которые катализируют окислительные реакции при горении топлива. Известно, что скорость цепной химической реакции пропорциональна концентрации активных центров, ведущих процесс. Для обводненных топлив концентрация таких центров всегда будет больше, чем для необводненных. С увеличением обводненности топливной смеси возрастает парциальное давление водяного пара и количество диссоциированных молекул воды.

Путем приготовления ВТЭ возможна утилизация обводненных стоков мазутных резервуаров. ВМЭ стабильно горят при содержании воды до 50% об. Диспергирование обводненных нефтепродуктов позволяет утилизировать жидкие отходы, в том числе подтоварные воды танкеров.

Тем не менее, показатели эмульсий, характеризующие их стабильность, за прошедшие полвека изменились мало. Очевидно, это обу-

словлено исчерпанием технических возможностей используемого для приготовления эмульсий оборудования: роторно-пульсационных аппаратов (РПА) и кавитаторов статического типа, а также экономической нецелесообразностью диспергирования эмульсий магнитострикционными генераторами ультразвука. Необходимо упомянуть и аппараты вихревого слоя, в которых диспергирование происходит на ферромагнитных иглах во вращающемся электромагнитном поле. Но оборудование этого типа не получило широкого распространения по причине высокой удельной энергоемкости.

Ни в одной из десятков профильных публикаций не освещена детально стойкость ВТЭ к расслоению при хранении применительно к конкретному способу их получения. А ведь стабильность структуры ВТЭ — важнейший эксплуатационный показатель. Не встречались автору и работы, содержащие подробное технико-экономическое обоснование применения в теплоэнергетике конкретных систем приготовления ВТЭ, хотя число публикаций на тему ВТЭ многократно превышает количество российских промышленных объектов, где ВТЭ применяются.

Публикации не убедят промышленников использовать ВТЭ, если эмульсии нестабильны, процесс их приготовления сложен и энергоемок, а диспергатор ненадежен в эксплуатации. В частности, статический кавитатор [12] (который незначительно отличается от кавитационного эмульгатора мазута КЭМ проф. В. И. Кормилицына, разработанного 20 лет назад), ненадежен в работе, так как имеет очень узкие проходные каналы, склонные к засорению, а его перена-

стройка на мазут другой партии чрезвычайно сложна.

Впрочем, РПА — диспергаторы с электроприводным ротором, имеющим минимальный зазор со статором, — тоже достигли предела своего развития. РПА также склонны к засорению при эксплуатации, что не только нарушает процесс диспергирования, но и приводит к заклиниванию роторов и поломке приводных электродвигателей. Значительный вклад в развитие теории и практики применения РПА внес профессор Тамбовского университета М. А. Промтов [13]. Однако, в силу принципа действия этих устройств, они не могут конкурировать с проточными (не имеющими привода) аппаратами по критерию «удельная энергоёмкость».

С учетом этих проблем был разработан волновой диспергатор [14] — устройство принципиально нового типа, который позволил получить сверхстойкие водотопливные эмульсии (СВТЭ). Ниже описаны результаты работ, выполненных в феврале – марте 2012 г. В работе [15] рассмотрены результаты работ в 2010 г. За прошедшее время был усовершенствован пилотный образец волнового диспергатора, и разработана опытно-промышленная система приготовления жидких топлив (СПТ), внедренная на реальном объекте — котельной, ранее работавшей на дизельном топливе. Устойчивость полученной ВМЭ проверяли на центрифуге Eppendorf на критическом режиме, обеспечивающем выделение ДНК из клеток. Центрифугирование проводил проф. Р. Т. Омаров в НИИ Клеточной биологии и молекулярной генетики ЕНУ, которому автор выражает глубокую признательность. Следует подчеркнуть, что данная СПТ — первая в Казахстане, а успешная проверка устойчивости СВТЭ методом центрифугирования — первая в СНГ.

Принцип работы СПТ

СПТ позволяет получать и сжигать в котлах СВТЭ на основе жидких углеводородов. СВТЭ не теряют стабильность при длительном (много месяцев) хранении и горят с высокой тепловой эффективностью и пониженным содержанием в продуктах сгорания вредных газов. СПТ представляет собой комплекс оборудования, ядром которого является волновой диспергатор.

Обводненные нефтепродукты подаются насосом в центральный патрубок диспергатора. Конструкция диспергатора полностью исключает засорение проточной части в процессе эксплуатации и заклинивание роторов. В отличие от кавитаторов статического типа, переналадка этого аппарата при поступлении топлива дру-

гой партии не требуется. Перепад давления на диспергаторе крайне незначителен, что также выгодно отличает его от диспергаторов статического типа. В диспергаторе объединены четыре метода физического воздействия на жидкости: интенсивная турбулизация, кавитационное воздействие, гидроудары высокой амплитуды прямого типа, трибостатический эффект.

Обводненные нефтепродукты (содержание воды 20% и более) прокачиваются через диспергатор. Внутри него достигается разрыв сплошности топлива под действием мощных сдвиговых напряжений, что порождает пустоты — каверны. Внутри каверн находятся пары жидкости и газы. Кавитационные пузырьки образуются в тех местах каверн, где давление жидкости становится ниже некоторого критического. Эти явления вызывают вторичные эффекты в жидкости, которые способствуют интенсивному перемешиванию, дроблению и диспергированию компонентов эмульсии. Кавитационный процесс реализован таким образом, что все ударно-волновые явления происходят непосредственно в потоке жидкости, не затрагивая материала корпуса и элементов конструкции, чем обеспечивается долговечность диспергатора.

Прямые гидроудары высокой амплитуды генерируются, когда внутренний ротор циклически переключает каналы вихревых камер внешнего ротора. В этом процессе происходят структурные изменения агломератов, изначально присутствующих в мазуте. Обеспечивается интенсивное перемешивание и диспергирование даже многокомпонентных несмешивающихся жидкостей с наличием твердых включений. В результате получается однородная СВТЭ (рис. 1).

Обработка эмульсии на центрифуге Eppendorf при частоте $13\,000\text{ мин}^{-1}$ в течение 10 мин показала, что даже при такой высокой частоте вода

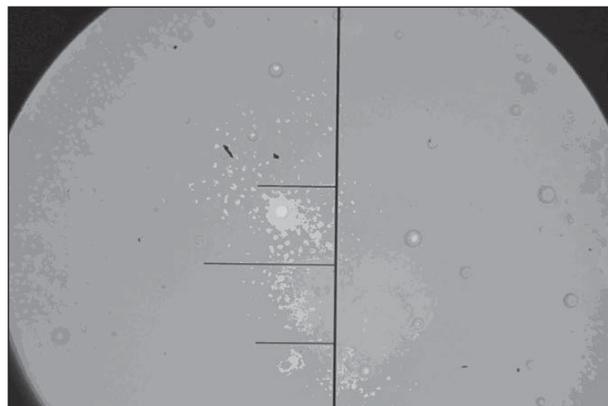


Рис. 1. Микрофотография полученной ВМЭ (цена деления — 65 мкм)

не отделяется. Следует обратить внимание, что для отделения воды от нефтепродуктов на рынке предлагаются центрифуги (в частности, компании SIMAS) с частотой вращения 1700 мин⁻¹. Таким образом, отсутствие расслоения эмульсии после обработки при частоте 13 000 мин⁻¹ подтверждает стабильность СВТЭ и практическую эффективность волнового диспергатора. При этом удельное энергопотребление на получение СВТЭ в среднем составляет 0,2 кВт/т топлива.

Структура СВМЭ и механизм ее горения

Углеводороды обычного мазута находятся в связанном состоянии. При поджигании распыленных горелкой капель такого топлива процесс горения начинается на активной стороне каждого большого «слипшегося» агрегата. При этом углеводороды и соединения серы сгорают не полностью, что приводит к токсичным выбросам. Несгоревшие углеводороды отлагаются на поверхностях теплообменников и снижают КПД котла. Даже интенсивное простое перемешивание мазута и воды не приводит к получению мелкодисперсной эмульсии. Вода по-прежнему будет находиться в смеси в виде крупных фрагментов, препятствующих эффективному горению топлива.

Тщательное диспергирование обводненного мазута обеспечивает целый ряд положительных последствий:

- разрушаются агрегаты тяжелого топлива, при этом образуется большое количество активных частей агрегатов, которые вступают в

процесс горения значительно быстрее;

- происходит разрыв слабых связей с образованием более легких углеводородов;

- вода переходит в мелкодисперсное состояние, обеспечивается образование в топке котла свободных радикалов Н[•] и ОН[•], которые участвуют в процессе горения как инициаторы; мелкодисперсная вода не тормозит горение в отличие от крупных вкраплений воды.

В СВТЭ, полученной с помощью волнового диспергатора, вода разбивается на капли размером 4–15 мкм; капли воды равномерно распределяются по всему объему топлива и получают электрический заряд. Компоненты мазута концентрируются на поверхности капель воды с образованием мицелл — капель воды, окруженных углеводородами. Капли воды не соединяются в более крупные из-за наличия углеводородной оболочки, а оболочка прочно удерживается каплей благодаря заряду капли.

Дисперсная структура ВМЭ обеспечивает вторичное распыление топлива в пламени (рис. 2). Мицелла, попадая в зону горения, начинает нагреваться. Температуры кипения воды и начала кипения мазута существенно различаются (примерно на 200°С). Вода резко вскипает, а мазут в это время остается в жидком состоянии и препятствует испарению капель воды. При достижении внутри мицеллы критического давления происходит микровзрыв: перегретый водяной пар разрывает топливную оболочку и распыляет ее. Происходит многократное увеличение площа-

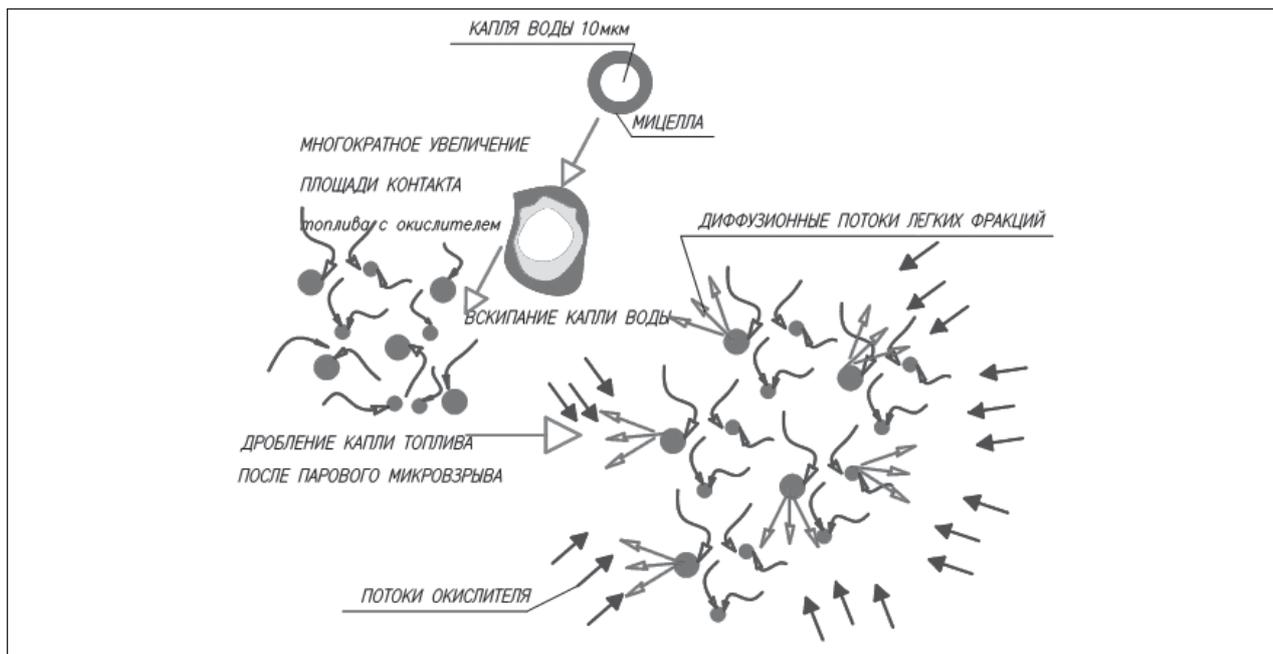


Рис. 2. Механизм горения СВТЭ

ди поверхности контактирования топлива с кислородом воздуха, что равнозначно распылению топлива при давлении на форсунках 15–30 МПа. Экономия топлива происходит за счет более полного сгорания мазута. Кроме того, в процессе горения эмульсии снижается температура отходящих газов без снижения температуры в топке и производительности котла, что свидетельствует об увеличении КПД котла.

Предлагаемая технология позволяет перевести котельные, ранее работавшие на дизельном топливе, на ВМЭ. Сжигание ВМЭ экономически более выгодно, поскольку дизельное топливо существенно дороже, а сверхстойкая ВМЭ по теплотворной способности не уступает исходному топливу и сгорает с минимальными выбросами вредных газов и сажи в атмосферу. Сверхстойкая ВМЭ была апробирована в котельной г. Астана, ранее работавшей на дизельном топливе. Был сделан вывод о высоких теплотехнических характеристиках СВТЭ, полученных с помощью волнового диспергатора.

Следует отметить, что СВТЭ на основе мазута отличается существенно меньшей вязкостью, чем исходный мазут. Это позволяет перекачивать их по трубопроводам мазутного хозяйства при более низких температурах (около 50°С), а также подавать на сжигание при пониженной температуре (на 20° ниже, чем при

использовании мазута). Это создает дополнительные источники экономии при эксплуатации топливосжигающих объектов. Становится возможным готовить топливные эмульсии задолго до их сжигания, превращать обводненные нефтешламы и отработанные масла в топливо для котлов и печей, характеризующееся длительным сроком хранения (много месяцев). Предлагаемая СПТ имеет и другие конкурентные преимущества.

1. На рынке отсутствуют системы подобного типа производительностью более 6 м³/ч. Разработанная СПТ может обрабатывать в 10 раз больше топлива, что позволяет использовать ее на крупных тепловых электростанциях, металлургических комбинатах. Выше был описан волновой диспергатор производительностью 3–5 м³/ч. Однако имеется диспергатор и другого типоразмера [15], обеспечивающий в 6–8 раз большую производительность.

2. СПТ имеет низкую удельную энергоемкость, надежна в работе, что минимизирует эксплуатационные затраты.

3. Волновой диспергатор обеспечивает комплексное воздействие на жидкие среды, что расширяет возможности СПТ по сравнению с существующей на рынке продукцией аналогичного назначения — РПА и кавитаторами статического типа.

Литература

1. Иванов В. М. Топливные эмульсии. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 216 с.
2. Юсуфова В. Д., Гарзанов А. Л., Каспаров С. Г. и др. Уменьшение вредных выбросов в атмосферу при сжигании водомазутной эмульсии в паровом котле // Промышленная энергетика. — 1984. — № 7. — С. 73.
3. Воликов А. Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности. — Л.: Недра, 1989. — С. 100–159.
4. Zwillenberg M. L., Sengupta C., Guerra C. R. Water-oil Emulsion Combustion in Boilers and Gas Turbines // In: Proc. Int. Conf., Heiniker, 1977. — Washington – London, 1978. — P. 335–355.
5. Горбанов Т. П. Особенности сжигания водотопливных эмульсий в котлах // В кн.: Энергетика и энергоэффективные технологии: сб. докл. IV междунар. науч.-практ. конф., 28–30 октября 2010. — Липецк: ЛГТУ, 2010. — С. 11–12.
6. Sjogren A. Verbessere Heizverbrennung mit wasser-ol-und Gasfeuerung. — 1978. — Bd. 23. — № 3. — P. 92.
7. Ганигин С. Ю. Оптимизация компонентного состава водотопливной эмульсии и динамика систем подготовки непрерывного действия // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Физико-математические науки. — 2005. — № 38. — С. 131–136.
8. Алибеков С. Я., Забродин А. Г. Устройство для подготовки к сжиганию обводненных жидких топлив // В кн.: Наука в условиях современности: сб. ст. проф.-препод. состава, докторантов, аспирантов и студентов по итогам науч.-техн. конф. МарГТУ в 2010 г. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. — С. 94–96.
9. Кокшаров М. В., Крайнов М. В. О влиянии содержания воды на вязкость водотопливных эмульсий // В кн.: Тез. докл. науч.-тех. конф., Ростов-на-Дону, РГУПС, 1998. — С. 21.
10. Гридин В., Шафоростова М., Хохлова А. Анализ содержания вредных веществ в продуктах сгорания водомазутной эмульсии // Проблемы экологии. — 2009. — № 1–2. — С. 171.
11. Шагеев М. Ф., Лившиц С. А., Хайриева Э. М. Моделирование подогрева водомазутной эмульсии в технологических схемах // Современные наукоемкие технологии. — 2010. — № 7. — С. 161–163.

12. Абдо Халед Мохамед Ахмед. Получение эмульсий типа вода/мазут и закономерности изменения их свойств с изменением состава. — Дисс. канд. техн. наук, Москва, 2007. — 136 с.
13. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. — М.: Машиностроение, 2001. — 260 с.
14. Пат. 2347153 (РФ).
15. Геллер С. В. Приготовление водомазутных эмульсий посредством волновой диспергации // Новости теплоснабжения. — 2010. — № 4. — С. 49–52.

S. V. Geller

A New Wave Disperser for Extra-Stable Water in Fuel Oil Emulsions Production

The reasons of water in fuel oil emulsions poor utilization in Russian heat power industry are analyzed. A new successfully tested system for liquid fuels production is described. The system is used for filtering and heating fuel components, their controlled watering and dispersion with extra-stable water in fuel oil emulsions (EWFO) production, and also allows heating of emulsified fuel up to optimal combustion temperature.

EWFO were obtained by pumping the mixture of feed components through wave disperser. High dispersity of EWFO was proved by microscopic investigations. Sedimentation stability of emulsified fuel was validated by its centrifugal separation at a rotate speed of 13 000 r/min, high thermotechnical and ecological properties were proved by EWFO combustion in a boiler of a boilerhouse.

Key words: energy conservation, energy efficiency, heat power industry, fuel oil, hydrocarbon waste, industrial effluent, water in fuel emulsion, water in fuel oil emulsion, emulsion stability, dispersion, emulsified fuel combustion.

Вниманию специалистов!

Б. П. Туманян, Н. Н. Петрухина, И. М. Колесников

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ РЕФОРМИНГ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В книге рассмотрены теоретические основы, химизм и катализаторы процесса реформинга бензиновых фракций. Анализируется влияние технологических параметров и исходного сырья на выход и качество получаемых продуктов. Представлены технологические схемы процессов с периодической и непрерывной регенерацией катализатора, приводится их сравнительная характеристика. На примерах изложена методика расчета основного оборудования установок реформинга с периодической и непрерывной регенерацией катализатора.

Книга предназначена для студентов высших учебных заведений, изучающих курсы, связанные с переработкой нефтяного сырья, а также может представлять интерес для специалистов в области переработки нефти.

М.: Издательство «Техника», 2012. — 176 с.

В. Д. Рябов

ХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Учебник по курсу «Химия нефти и газа» для студентов химико-технологических специальностей вузов и факультетов нефтегазового профиля.

Приведены современные данные о составе, свойствах, методах анализа углеводородов и других компонентов нефти и газа. Рассмотрены химические основы термических и каталитических превращений углеводородов и гетероатомных соединений нефти. Изложены основные гипотезы происхождения нефти.

М.: Издательство «Техника», 2004. — 288 с.

Перспективы применения детандер-генераторных агрегатов в топливно-энергетическом комплексе России

Э. А. Микаэлян, В. П. Дорохин
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

На газораспределительных системах и газораспределительных пунктах для снижения давления газа, поступающего из магистральных газопроводов, осуществляется его дросселирование, что ведет к потере энергии. В статье рассмотрены перспективы применения вместо редукционных клапанов утилизационных турбодетандерных установок, предназначенных для выработки электроэнергии. Освещены организационные, научно-технические и финансовые проблемы внедрения утилизационных турбодетандерных установок.

Ключевые слова: газораспределительная система, газораспределительный пункт, компрессорная станция, газотранспортная система, турбодетандер, энергосбережение, утилизационная турбодетандерная установка.

По существующим магистральным газопроводам единой системы газоснабжения природный газ транспортируется с рабочим давлением 5,5 или 7,45 МПа; в перспективе возможно увеличение давления до 10–12 МПа. По отводам от газопроводов газ направляется к газораспределительным станциям (ГРС) и газораспределительным пунктам (ГРП), на которых давление уменьшается до 1,2 и 0,4 МПа соответственно для газа промышленного и бытового назначения. Для подачи газа в качестве топлива в газотурбинные двигатели компрессорных станций и электростанций давление снижается до 1,5–2,5 МПа. На ГРС и ГРП приходится дросселировать газ с помощью редукционных клапанов, что приводит к большим потерям энергии и ненадежной работе редукционных клапанов вследствие обмерзания их корпусов при дросселировании. Количество газа, поступающего потребителям через ГРС и ГРП, достигает нескольких млрд м³ в год, поэтому при дросселировании потери энергии могут составить многие десятки млрд кВт·ч год.

В этой связи целесообразно осуществлять снижение давления газа на ГРС и ГРП в турбодетандерах, а не в дросселирующих устройствах, в которых энергия избыточного давления газа безвозвратно теряется. Использование турбодетандеров, преобразующих эту энергию в полезную механическую энергию, позволяет реализовать эффективный привод разнообразных агрегатов — электрогенераторов, компрессоров, насосов и т. п. Кроме того, турбодетандеры незаменимы в технике низких температур в системе сбора и транспорта газа в северных районах газонефтедобычи [1].

Основными элементами турбодетандерной установки (ТДУ) являются: турбодетандер, в кото-

ром происходит расширение транспортируемого газа, агрегат, воспринимающий мощность турбодетандера, система автоматического управления и система смазки подшипников ротора.

Важнейшим показателем энергосберегающих утилизационных ТДУ является высокая степень термодинамического и газодинамического совершенства турбодетандеров, которая характеризуется эффективным КПД η_e . Для известных ТДУ $\eta_e = 0,75–0,8$, а для энергоутилизационных комплексов (ЭУК), в которых ТДУ работает вместе с газотурбинными двигателями и получает от них тепло, $\eta_e = 0,6–0,75$. Указанные значения эффективных КПД практически пока недостижимы при работе газотурбинных и поршневых установок, используемых в различных отраслях промышленности в качестве приводов тех или иных агрегатов [2].

Большинство существующих ТДУ и ЭУК используют энергию избыточного давления газа для выработки электрической энергии. Единичная мощность разрабатываемых ТДУ достигает 12–15 МВт, а мощность ЭУК — 15–30 МВт. В целом же диапазон мощностей современных ТДУ соответствует тенденции энергосбережения в электроэнергетике за счет создания электростанций малой и средней мощности. При этом важнейшая роль отводится электростанциям с газотурбинным приводом. Эффективные КПД газотурбинных установок (ГТУ) простого цикла несравнимы с эффективными КПД утилизационных турбодетандерных энергетических установок (ТДЭУ).

Целый ряд фирм разрабатывает и внедряет ТДУ для ГРС и ГРП, предназначенные для выработки электроэнергии. К таким фирмам, в частности, в Украине относятся АО «Турбогаз» и АО «Мотор Сич»; диапазон мощностей единичных

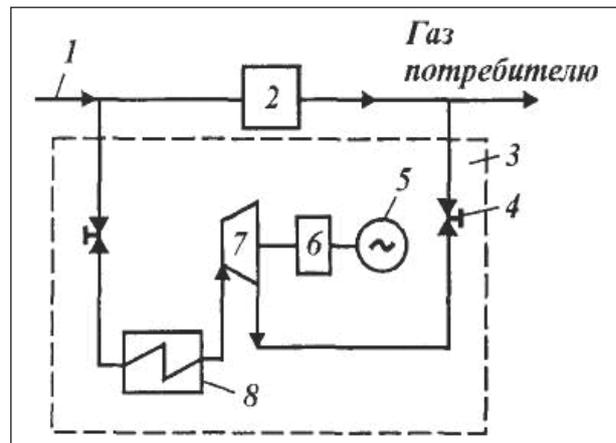
ТДУ составляет 1–2,5 МВт. В России ТДУ разрабатывают ОАО «Турбохолод», АО «ТурбоДЭН» и др.; диапазон мощностей изготавливаемых установок составляет 1,5–7 МВт (7 МВт — мощность установки ТД-7000-1, проектируемой для Краснодарской ТЭЦ). Диапазон указанных мощностей характерен и для установок, выпускаемых американскими и западноевропейскими фирмами. В США по-прежнему в этой области лидируют фирмы Atlas Copco и Stewart and Stevenson, а в Германии фирма Linde Aktiengesellschaft. В Германии уже в 1999 г. находились в коммерческой эксплуатации 40 ТДУ.

В мировой практике накоплен значительный опыт успешной эксплуатации ТДЭУ. Достаточно сказать, что в настоящее время в странах Западной Европы, США, Канаде, Японии и др. работают более 200 установок единичной мощностью от сотен до тысяч кВт. В России также есть положительный опыт эксплуатации ТДЭУ. В частности, на ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго» уже в течение 10 лет работают два агрегата мощностью по 5 МВт каждый, на Среднеуральской ГРЭС эксплуатируется агрегат мощностью 11 МВт. На ГРС «Южная» в Москве установлены 4 агрегата общей мощностью 2,1 МВт. Разработан и реализуется проект установки для Рязанской ГРЭС.

Одной из перспективных областей широкого внедрения ТДЭУ являются ГРС и ГРП ОАО «Газпром». Исследования, проведенные ООО «Газпромэнерго», показали, что на ГРС и ГРП могут быть установлены ТДЭУ суммарной мощностью около 550 МВт. Достаточно велик потенциал использования ТДЭУ на компрессорных станциях системы газоснабжения, где ТДЭУ могут устанавливаться на линии топливного газа. Так, расчеты показали, что среднегодовая мощность ТДЭУ на одной компрессорной станции курского УМГ ООО «Мострансгаз» составляет более 500 кВт, что позволит вырабатывать в год около 3,5 млн кВт·ч электроэнергии.

Опыт показал, что при разработке схем ТДЭУ необходима серьезная научная проработка технических решений применительно к каждому конкретному объекту. При этом наиболее рационально было бы индивидуально изготавливать турбодетандеры определенной мощности. Это позволило бы наиболее полно использовать потенциал технологического перепада давления транспортируемого газа. Техническая вооруженность современных машиностроительных заводов и разработанные на сегодняшний день конструкции детандеров позволяют это сделать.

Принципиальная схема ТДЭУ, используемой на ГРС и ГРП, представлена на **рисунке**.



Принципиальная схема ТДЭУ для выработки электроэнергии на ГРС (ГРП): 1 — подвод газа к ГРС; 2 — ГРС (ГРП); 3 — утилизационная ТДУ; 4 — кран; 5 — электрогенератор; 6 — редуктор; 7 — турбодетандер; 8 — подогреватель газа

Процесс расширения газа в турбодетандерах близок к изоэнтропическому, что обеспечивает получение максимальной величины механической энергии и максимального количества холода с единицы массы конструкции и, таким образом, предопределяет минимальную стоимость ТДЭУ. Кроме того, на основании многолетнего опыта эксплуатации в газовой промышленности общепризнан факт, что применение турбодетандерных агрегатов для подготовки и переработки газа обуславливает простоту, надежность, низкую металлоемкость конструкций и широкий диапазон режимов, минимальную численность обслуживающего персонала, отсутствие влияния на окружающую среду и, в конечном счете, невысокие капитальные и эксплуатационные затраты [3].

Высокая термодинамическая эффективность ТДЭУ определяется двумя основными факторами:

- турбодетандер не является тепловой машиной, поэтому вся подведенная к нему энергия (за исключением механических потерь) может быть преобразована в механическую работу;
- для обеспечения подогрева газа в ТДЭУ может использоваться как высокопотенциальная теплота отработавших газов различных двигателей или вторичных энергоресурсов, так и низкопотенциальная теплота вторичных энергоресурсов или окружающей среды.

Оба указанных фактора дают возможность организовать работу ТДЭУ либо совсем без сжигания топлива, лишь используя вторичные энергоресурсы, либо, если для работы ТДЭУ все-таки приходится сжигать топливо, обеспечить в

несколько раз меньший удельный его расход на выработку электроэнергии по сравнению с традиционными паротурбинными или газотурбинными установками. Такие преимущества ТДЭУ позволяют рассматривать их не только как энергосберегающие установки, но и как установки с высокими экологическими показателями.

Основные проблемы внедрения ТДЭУ на объектах системы газоснабжения

Организационные проблемы. Разработка программы широкого внедрения ТДЭУ на объектах ОАО «Газпром» была начата несколько лет назад в ООО «Газпромэнерго» по поручению Управления энергетики ОАО «Газпром», однако из-за отсутствия финансирования так и не была завершена. Необходимо на государственном уровне решить вопрос сбыта вырабатываемой на ТДЭУ электроэнергии. Несмотря на то, что Федеральный закон «Об энергосбережении» обязывает энергетиков принимать электроэнергию, выработанную на установках с высокими экологическими характеристиками, на практике часто сталкиваются с сопротивлением со стороны энергетиков.

Необходима разработка Положения о материальной заинтересованности сотрудников ОАО «Газпром» во внедрении энергосберегающих технологий, в том числе ТДЭУ. Потребуется также дополнительный набор персонала для обслуживания ТДЭУ и организация его обучения.

Научно-технические проблемы. Необходима серьезная научная проработка вопросов создания оптимальных схем ТДЭУ. Это касается выбора схем и источников подогрева газа, а также оптимального состава оборудования в каждом конкретном случае применения ТДЭУ.

Назрела необходимость разработки методики определения технико-экономической эффективности применения ТДЭУ в различных условиях. Анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы показывает, что в подавляющем большинстве случаев при определении эффективности работы ТДЭУ не

применяется системный подход, позволяющий учесть влияние ТДЭУ на показатели работы газоиспользующего оборудования. Эта методическая неточность часто приводит к ошибочным результатам.

Финансово-имущественные проблемы. Следует понимать, что внедрение ТДЭУ требует достаточно больших капитальных вложений. Решение вопросов финансирования широкого внедрения ТДЭУ потребует не только собственных средств ОАО «Газпром», но и привлечения сторонних инвестиций, реализации лизинговых проектов и т. п.

Попытки внедрения ТДЭУ в системе газоснабжения показали, что серьезные трудности возникают при решении вопросов привлечения инвестиций. Это связано, в первую очередь, с тем, что в настоящее время российские инвесторы стремятся вложить средства в проекты со сроком окупаемости до трех лет, что, скорее всего, не может быть обеспечено при внедрении ТДЭУ. Западные крупные фирмы и банки готовы инвестировать проекты и с более продолжительными сроками окупаемости, однако их требования о гарантиях возврата вложенных средств и получения ими гарантированной прибыли иногда не могут быть удовлетворены.

Необходимо разумное решение вопросов собственности на вновь создаваемых энергогенерирующих объектах. Здесь также важен поиск приемлемых для всех участников проекта решений, особенно в связи с тем, что широкое внедрение ТДЭУ потребует привлечения значительных инвестиций со стороны.

Широкое внедрение ТДЭУ на объектах ОАО «Газпром» позволит с высокой эффективностью не только обеспечить собственное энергоснабжение, но и получать дополнительную прибыль путем продажи электроэнергии, а также теплоты и/или холода сторонним потребителям. На ГРС ОАО «Газпром» могут быть установлены ТДЭУ суммарной мощностью более 550 МВт, что позволит вырабатывать ежегодно около 2,5 млрд кВт·ч относительно дешевой электроэнергии.

Литература

1. Степанец А. А. Энергосберегающие турбодетандерные установки. — М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. — 258 с.
2. Ермолаев В., Новоселов В., Русецкий Ю. Энергетические турбодетандерные агрегаты ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» // Газотурбинные технологии. — 2003. — № 4. — С. 26–30.
3. Язык А. В. Турбодетандеры в системах промышленной подготовки природного газа. — М.: Недра, 1977. — 173 с.

E. A. Mikaelyan and V. P. Dorokhin

Perspectives of Expander-Generator Units Application at Russian Fuel and Energy Sector

Gas distribution systems and gas distributing plants use gas restriction for reducing pressure of natural gas from main pipelines. This process results in energy losses. The article deals with perspectives of turbo-expander units utilization, aimed at electric energy generation, instead of reducing valves. Managerial, scientific and technical and also financial problems of expander-generator units implementation are discussed.

Key words: gas distribution system, gas distributing plant, gas compressor station, gas transportation system, turbo-expander, energy conservation, turbo-expander unit.

Вниманию специалистов!

В. Е. Емельянов

ПРОИЗВОДСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

В книге изложены требования к качеству вырабатываемых и перспективных автомобильных бензинов.

Приведено краткое описание современных технологических процессов переработки нефти с целью получения бензиновых компонентов. Рассмотрено производство различных оксигенатов — высокооктановых кислородсодержащих соединений, применяемых в составе автобензинов.

Подробно охарактеризованы физические, химические и эксплуатационные свойства различных бензиновых компонентов, а также присадок и добавок для улучшения эксплуатационных свойств.

Рассмотрены вопросы контроля качества, транспортирования, хранения и применения автобензинов.

Монография предназначена для инженерно-технических работников предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, работников автотранспортных предприятий, а также бизнесменов, экономистов и менеджеров этих отраслей.

М.: Издательство «Техника», 2008. — 192 с.

В. Е. Емельянов, В. Н. Скворцов

МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА: АНТИДЕТОНАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ

Приведены сведения о требованиях к качеству и технологии производства моторных топлив, методах оценки их детонационной стойкости и воспламеняемости. Изложены основные теоретические и практические вопросы, относящиеся к определению детонационной стойкости и воспламеняемости моторных топлив на современных одноцилиндровых установках, их техническое обслуживание, а также новейшие достижения техники в области усовершенствования установок и методов испытаний.

Книга предназначена в качестве практического руководства для работников лабораторий нефтеперерабатывающих и нефтесбытовых предприятий, для работников автомобильного и воздушного транспорта и других отраслей, а также широкому кругу инженерно-технических работников, будет полезна аспирантам и студентам вузов и техникумов.

М.: Издательство «Техника», 2006. — 192 с.

Т. В. Бухаркина, С. В. Вержичинская, Н. Г. Дигуров, Б. П. Туманян

ХИМИЯ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены основные физико-химические свойства природных углеродсодержащих энергоносителей — углей, нефтей, углеводородных газов. Особое внимание отводится природным и синтетическим формам свободного углерода. Приводятся механизмы химических превращений углеводородов в технологиях их переработки.

М.: Издательство «Техника», 2009. — 204 с.

К вопросу моделирования качества нефти

К. А. Демиденко, В. В. Зенков, А. С. Хохлов
ОАО «ВНИИ НП»,
Институт проблем нефти РАН,
ЗАО «ХОНЕВЕЛЛ»

Предложен метод оценки детальных характеристик нефти на основе составления ее аналога — рецептуры смешения близких нефтей с известными характеристиками. Доли смешения вычисляются обратно пропорционально взвешенным расстояниям показателей качества смешиваемых нефтей от исследуемой нефти.

Ключевые слова: свойства нефти, аналог нефти, технологический индекс, экспресс-оценка, фракция.

Для моделирования качества нефти, характеристики которой неизвестны, в работах [1, 2] предложен способ оценки детальных свойств нефти, ее фракций и остатков, потенциального содержания и «товарных» характеристик нефтепродуктов, которые можно из нее получить, основанный на общих свойствах нефти (плотности, вязкости, содержания серы, парафина и т. д.) и решении оптимизационной задачи с использованием базы данных (БД) нефтей с известными общими и детальными свойствами. Цель такого подхода — первоначальная оценка сырья на инвестиционной стадии проекта. Общие свойства — паспортные данные нефти по ГОСТ 51858–2002 — определяются сравнительно легко, а анализ детальных свойств нефти требует значительных трудозатрат и времени.

В работах [1, 2] приведен алгоритм экспресс-оценки детальных свойств нефти на основе общих свойств (плотности, содержания серы, парафина, фракционного состава и др.), сводящийся к оптимизационной задаче линейного программирования [3]. Вначале из БД отбираются нефти с такими же технологическими индексами, как у оцениваемой нефти, определенными согласно СТО 11605031-031–2007 «Унифицированная программа исследования нефтей». Индекс нефти — это пять цифр, каждая из которых указывает номер интервала показателя качества нефти. Затем решается оптимизационная задача по определению рецептуры смешения отобранных из БД нефтей и вычислению детальных характеристик смеси этих нефтей. Полученная рецептура считается аналогом оцениваемой нефти.

При практической реализации описанного алгоритма был выявлен его недостаток. Для решения оптимизационной задачи необходимо иметь в БД по несколько нефтей для каждого значения технологического индекса, например, N нефтей. Если пренебречь отсутствием в природе нефтей с некоторыми значениями технологических индек-

сов, то при пяти показателях качества в индексе и при трех интервалах значений каждого индекса в БД должно насчитываться $3^5 N = 243N$ нефтей. При $N = 3$ число нефтей составит 729.

Если в БД нефтей будет недостаточно, то при решении оптимизационной задачи пользователь может получить отрицательный ответ. Так, при 150 нефтях в БД пользователь приблизительно лишь в 20% случаев получит решение задачи. Поскольку составление БД весьма трудоемко, для увеличения вероятности получения решения задачи приходится идти на уменьшение количества показателей в технологическом индексе до двух–трех вместо пяти.

В настоящей работе предлагается иной, более простой алгоритм экспресс-оценки детальных свойств нефти, основанный на критерии близости нефтей. Суть его заключается в упорядочении нефтей в БД по их близости с оцениваемой нефтью и в отборе для определения рецептуры смеси заранее заданного количества нефтей из БД, близких оцениваемой. Отбор нефтей при желании можно ограничить нефтями одного индекса с оцениваемой нефтью. При этом заданное количество отбираемых нефтей может быть автоматически уменьшено до реально имеющихся в БД нефтей требуемого индекса.

После отбора нефтей, близких оцениваемой, составляется рецептура смешения отобранных нефтей с массовыми долями, обратно пропорциональными «расстоянию» до общих свойств оцениваемой нефти. Детальные характеристики последней рассчитываются с использованием программного пакета RPMS и библиотеки индексов калькулятора Q_PRESS_DLL [4].

Алгоритм решения задачи состоит в следующем. Пусть Q_i^k — k -й показатель качества i -ой нефти по паспортным данным или его индекс, если показатель качества не аддитивен; Q_0^k — k -й показатель качества оцениваемой нефти по паспортным данным или его индекс, если

показатель качества не аддитивен. Тогда «расстояние» между оцениваемой и i -ой нефтью по паспортным данным будет равно:

$$R_i = \left(\sum_k a_k \varphi^k Q_i^k - \varphi^k (Q_0^k)^2 \right)^{0,5},$$

$$R_i \geq 0,$$

где a_k — заданный пользователем весовой коэффициент, пропорциональный важности k -го показателя качества нефти в вычислении «расстояния» (в процессе вычислений весовые коэффициенты нормируются так, чтобы их сумма равнялась единице; φ^k — оператор вычисления индекса или единичный оператор, если k -й показатель качества аддитивен.

Для всех нефтей в базе вычисляют R_i . Если $R_i = 0$, то первая нефть выбирается в качестве единственного аналога оцениваемой, т. е. детальные характеристики оцениваемой нефти будут соответствовать детальным характеристикам первой нефти.

Отбирают из БД N нефтей с минимальными расстояниями R_i , $i = 1 \dots N$, $R_i > 0$. Для этих нефтей вычисляют доли смешения нефтей обратно пропорционально R_i :

$$x_i^* = 1/R_i/B,$$

где B — нормирующий коэффициент:

$$B = \sum_i 1/R_i.$$

Получив рецептуру смешения, вычисляют для оценки достоверности метода паспортные данные оцениваемой нефти:

$$\varphi^k Q_0^k = \sum_i x_i^* \varphi^k Q_i^k$$

и сравнивают их с известными паспортными данными этой нефти. В случае допустимости расхождений выполняют дальнейший расчет детальных характеристик.

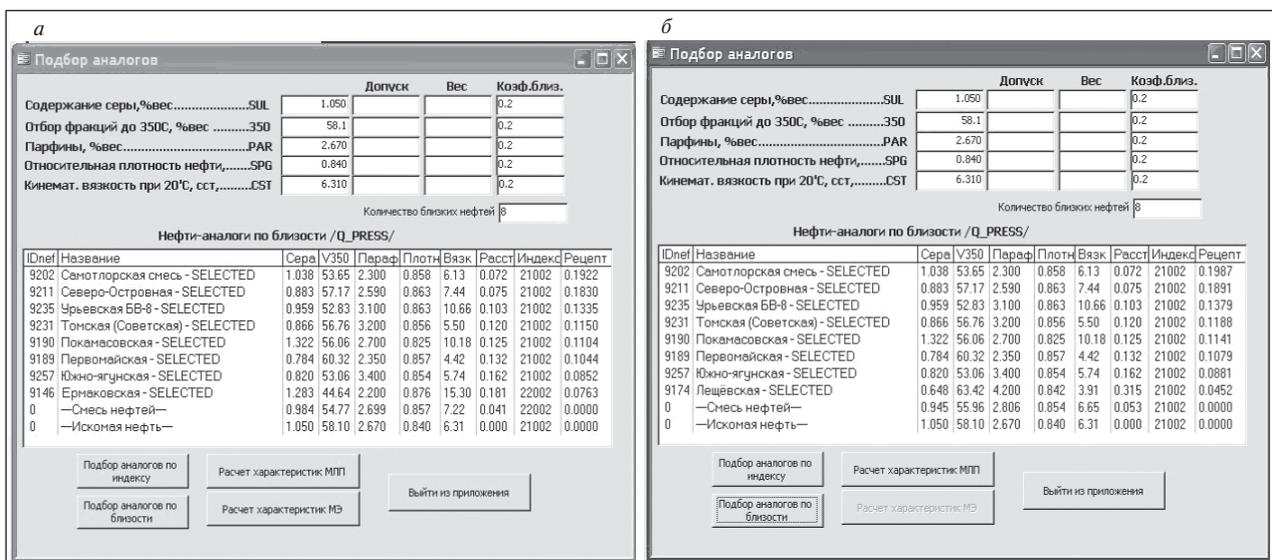
Если расхождения по тем или иным показателям недопустимы, то изменяют весовые коэффициенты a_k и производят отбор нефтей повторно, задавая, возможно, иное количество N отбираемых «ближайших» нефтей. Когда расхождения расчетных и действительных паспортных данных признаны удовлетворительными, выполняют расчет детальных характеристик оцениваемой нефти [1, 2]:

$$x_{0j} = \sum_i x_i^* x_{ij}^k;$$

$$\varphi^k Q_{0j}^k = \sum_i x_i^* \varphi^k Q_{ij}^k,$$

где x_{0j} , Q_{0j}^k — доля и k -й показатель качества j -й фракции оцениваемой нефти; x_{ij} , Q_{ij}^k — доля и k -й показатель качества j -й фракции i -й «ближайшей» нефти из БД; φ^k — оператор вычисления индекса или единичный оператор, если k -й показатель качества аддитивен.

На рисунке, а приведен пример построения аналога нефти по пяти нефтям из БД, когда отбор выполнялся по всем нефтям БД, а на рисунке, б — когда отбор ограничен нефтями одного технологического индекса с оцениваемой нефтью. Достаточная сходимость расчетных и заданных общих свойств оцениваемой нефти в обоих случаях показала, что задача подбора нефтей-аналогов может быть решена с использованием БД меньшего объема. Однако в этом случае требования к «качественному» наполнению БД и информации о каждой нефти возрастают.



Построение аналога нефти по пяти нефтям из БД: а — отбор по всем нефтям БД; б — отбор среди нефтей одного технологического индекса с оцениваемой

Предполагается следующая последовательность использования предложенного метода нахождения аналога нефти и сокращение объема экспериментальных работ по первоначальной оценке сырья на этапе предпроектной проработки:

- накопление расчетных данных, подтвержденных экспериментальными анализами;

- метрологическая оценка результатов по каждому показателю основных свойств нефти;
- проверка и «стандартизация» детальной информации о каждой нефти, включенной в БД;
- совершенствование структуры и наполнения БД «стандартными» характеристиками индексированных нефтей с учетом нового метода поиска аналогов.

Литература

1. Хохлов А. С., Демиденко К. А. Моделирование качества и ценности нефти // Наука и технология углеводородов. — 2000. — № 1. — С. 46–51.
2. Хохлов А. С., Демиденко К. А., Цодиков Ю. М. и др. Оптимизационный расчет товарной характеристики и потребительской ценности нефти. Учебное пособие. — М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2009. — С. 54.
3. Ефитов Г. Л., Зенков В. В., Хохлов А. С. Автоматизированный контроль качества потоков на химико-технологических предприятиях // Промышленные АСУ и контроллеры. — 1999. — № 8 — С. 9–12.
4. Артемьев С. Б., Ефитов Г. Л., Зенков В. В. и др. Разработка программного обеспечения для расчета показателей качества нефтепродуктов // В кн.: Сборник трудов XVIII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях», Казань, Казанский государственный технологический университет, 2005. — Т. 2. — С. 153–155.

K. A. Demidenko, V. V. Zenkov, A. S. Khokhlov

Towards Crude Oil Quality Modeling

The method for detailed crude oil characteristics estimation is proposed on the basis of modeling of crude analog, that is mixing formulation of similar crude oils with known characteristics. The ratio of oils is calculated in inverse proportion to the weighted distance between properties of mixed crude oils and investigated crude oil.

Key words: crude oil properties, crude oil analog, technological index, express assessment, fraction.

Научно-технический журнал «Промышленный сервис» в Сети



<http://www.nitu.ru>



он-лайн подписка через редакцию открыта в течение года без ограничений	
содержание вышедших выпусков журнала	
аннотации к опубликованным статьям	
правила публикации	
и многое другое...	

Печь ПРТ 50-500 для реализации реперных точек МТШ-90

Ю. О. Малышев
ОАО НПП «Эталон»

Рассмотрены конструкции печи ПРТ 50-500, ампул олова и цинка, предложенных для реализации реперных точек затвердевания этих металлов.

Ключевые слова: метрология, поверка, температура, печь, реперные точки.

В течение нескольких предыдущих лет со стороны поверочных лабораторий и метрологических институтов России значительно возрос интерес к реперным точкам МТШ-90. В 2011 г. автором была опубликована статья [1] о печи для реализации реперной точки меди. В том же году ОАО НПП «Эталон» занималось в частности разработкой аппаратуры для воспроизведения реперных точек МТШ-90. В настоящей статье рассмотрены печь для реализации реперных точек в диапазоне температур от 50 до 500°C и ампулы олова и цинка.

Печь ПРТ 50-500 для реализации реперных точек представляет собой моноблочную конструкцию, т. е. в одном корпусе размещены тепловая башня, цифровой микропроцессорный регулятор температуры, узел индикации и сило-

вые элементы (**рис. 1**). Тепловая башня состоит из металлической нагревательной трубы, на которой расположены три нагревателя, датчиков обратной связи нагревателей, тепловой изоляции, кожуха и радиационных экранов (**рис. 2**).

Узлы микропроцессорного регулятора температуры расположены на панели, которая отделена от тепловой башни значительным воздушным зазором. На нижнем основании печи установлены ключевые силовые элементы, предназначенные для коммутации напряжения питания нагревателей (см. рис. 1).

Ампулы реперных точек олова и цинка, изготовленные ОАО НПП «Эталон» совместно со СНИИМ (г. Новосибирск), имеют классическую конструкцию и состоят из ячейки с чистым металлом, защитной арматуры и набора тепловых

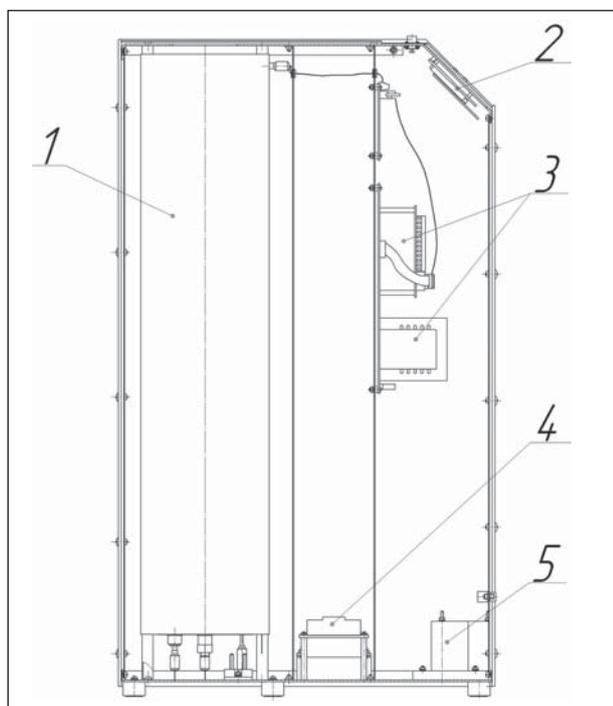


Рис. 1. Печь ПРТ 50-500: 1 — тепловая башня; 2 — узел индикации; 3 — регулятор температуры; 4 — твердотельные реле; 5 — автоматический выключатель

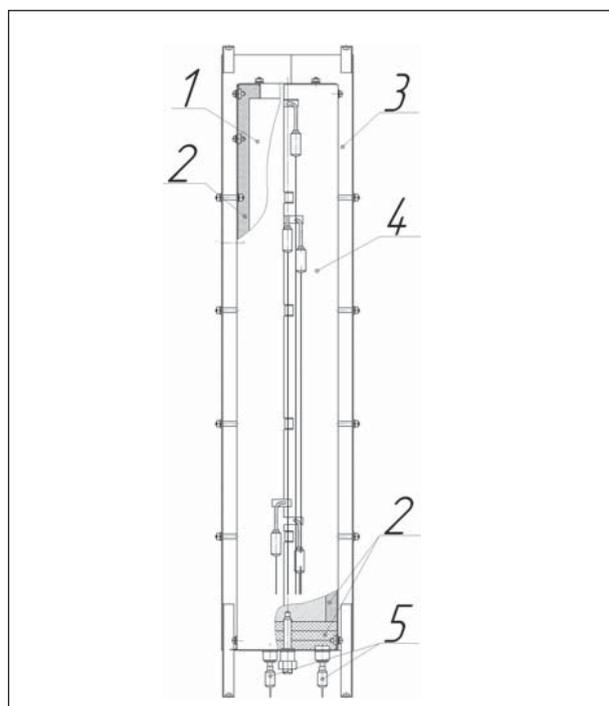


Рис. 2. Тепловая башня: 1 — нагревательная труба; 2 — тепловая изоляция; 3 — радиационные экраны; 4 — кожух; 5 — датчики обратной связи нагревателей

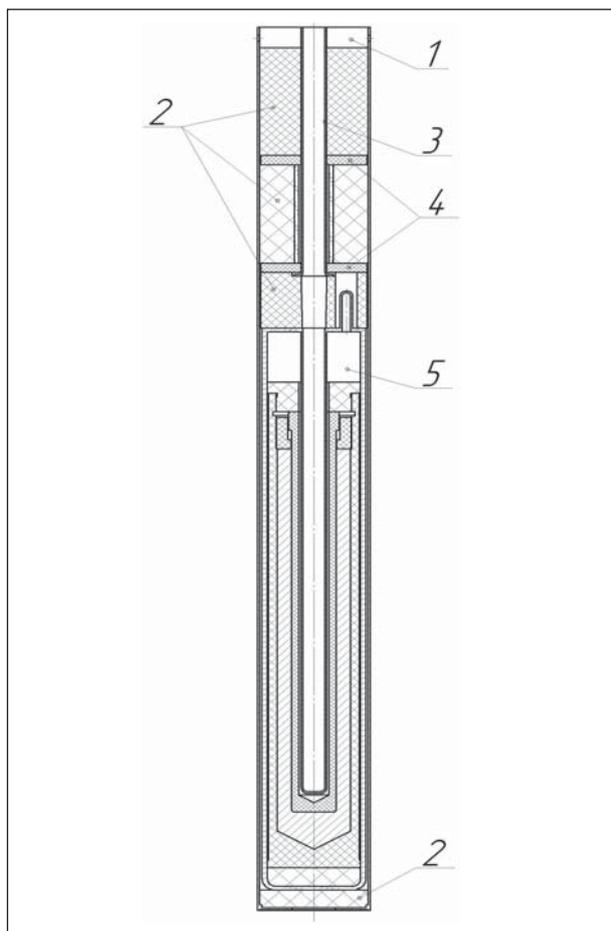


Рис. 3. Ампула реперной точки олова (цинка):
1 — защитный кожух; 2 — изоляторы; 3 — канал для термометра; 4 — тепловые затворы; 5 — ячейка с чистым металлом

изоляторов (рис. 3). Ячейки с чистым металлом изготавливались нами совместно со СНИИМ по технологии, согласованной со специалистами ВНИИМ им. Менделеева (г. Санкт-Петербург) [2].

При реализации реперных точек олова и цинка печь ПРТ 50-500 работает следующим образом. Оператор выбирает ручной или автоматический режим работы печи. При автоматическом режиме оператор выбирает требуемую реперную точку, а регулятор температуры автоматически устанавливает необходимые температурные режимы для плавления и затвердевания чистого металла в ампуле. При ручном режиме оператор самостоятельно устанавливает температурный режим в печи для каждого этапа реализации реперной точки металла. Оператор задает только общую температуру в печи, температуры верхнего и нижнего нагревателей рассчитываются автоматически для обеспечения наилучшей изотермичности,

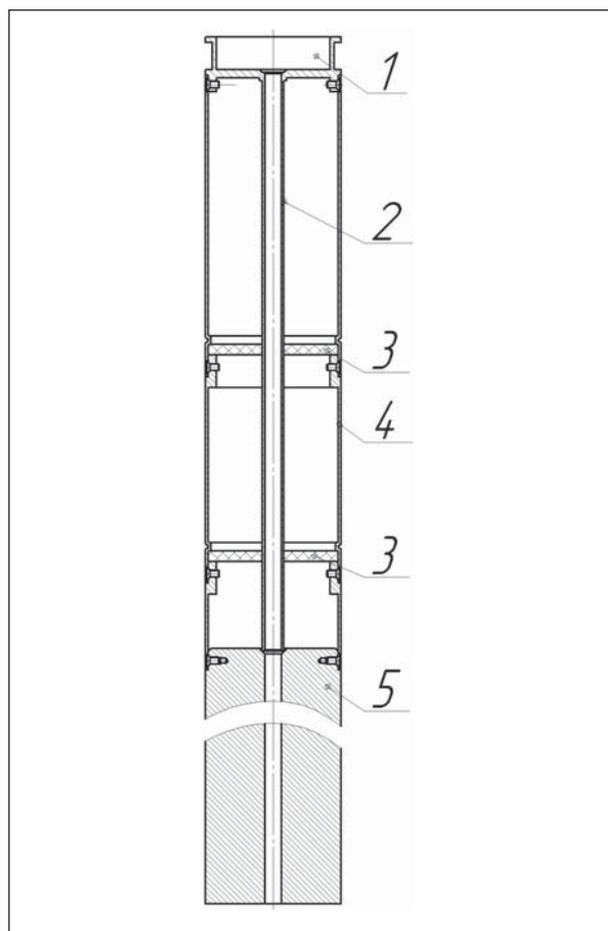


Рис. 4. Имитатор ампулы реперной точки:
1 — крышка; 2 — канал для термометра; 3 — радиационные экраны; 4 — кожух; 5 — бронзовый выравнивающий блок

т. е. минимального градиента температур вдоль ампулы реперной точки.

В процессе разработки печи и ампул выполнялась предварительная настройка вертикального градиента температур в печи при помощи имитатора ампулы реперной точки. Имитатор состоит из крышки, трубки для установки термометра, радиационных экранов, кожуха и бронзового выравнивающего блока (рис. 4). Измерение температуры вдоль оси имитатора выполнялись при помощи кабельного термометра сопротивления и измерителя прецизионного универсального В7-99 производства ОАО НПП «Эталон». За начало отсчета глубины печи было принято дно имитатора ампулы реперной точки.

Вертикальный перепад температуры в печи ПТР 50-500 при температурах 231 и 418°C представлен на рис. 5, а и б. Как видно, для температурного режима 231°C максимальный перепад температуры не превышает 0,2°C на расстоянии 210 мм от дна имитатора ампулы, а для темпера-

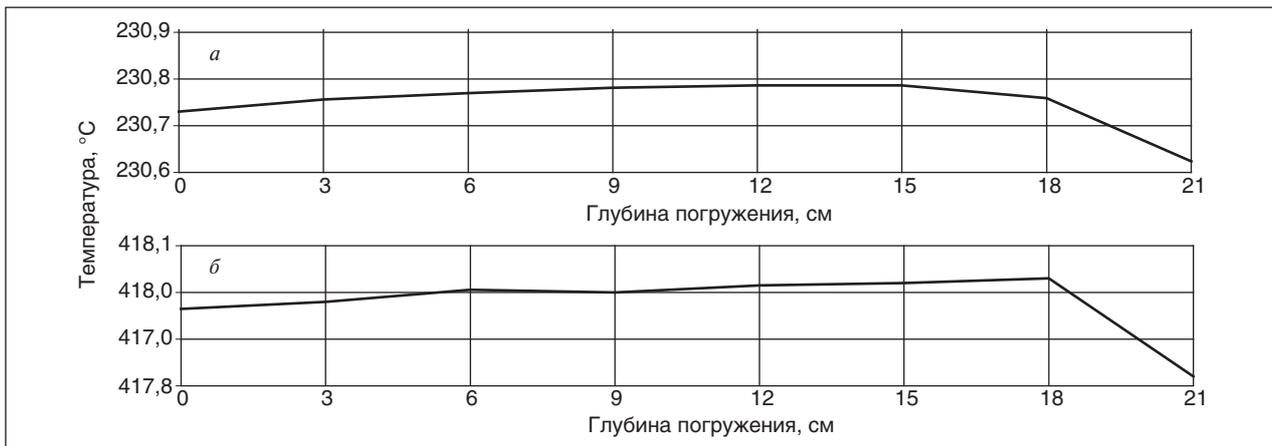


Рис. 5. Вертикальный перепад температуры в печи ПРТ 50-500 при температуре 231°C (а) и 418°C (б)

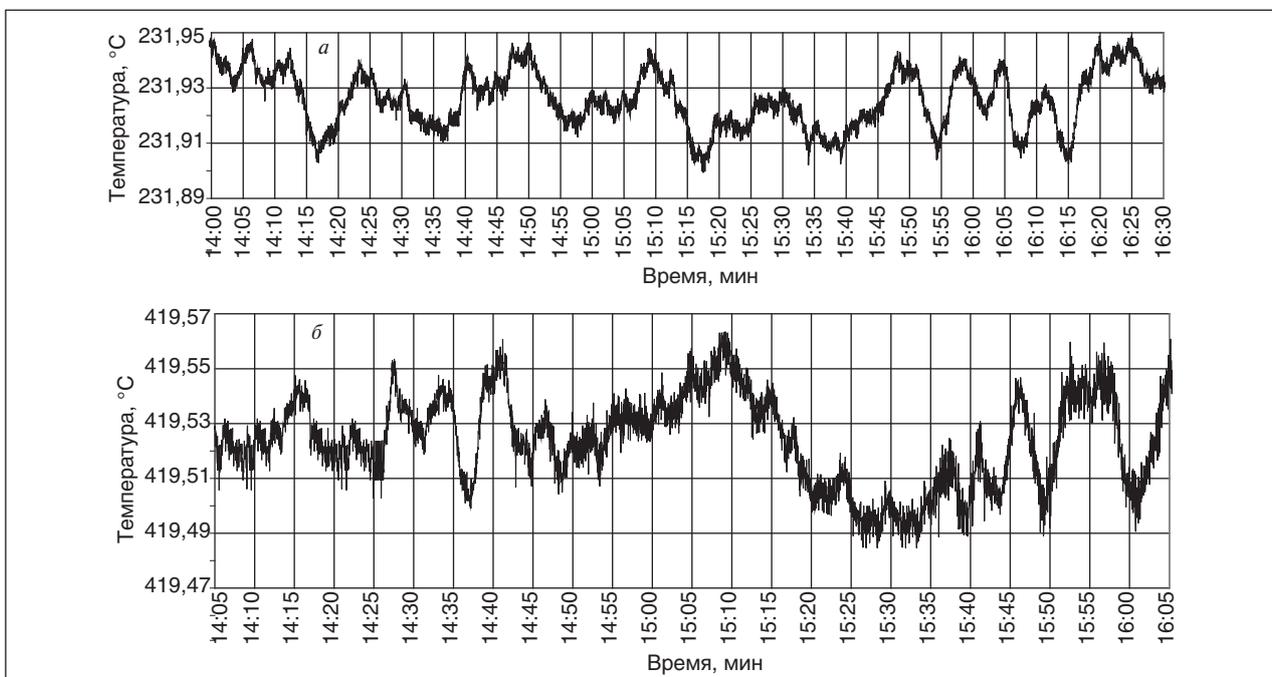


Рис. 6. Стабильность поддержания температуры в печи ПРТ 50-500 при температурном режиме: а – 231,92°C; б – 419,52°C

турного режима 418°C перепад температуры на той же глубине не превышает 0,25°C.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что настройка крайних нагревателей печи ПРТ 50-500 выполнена корректно, а имеющийся вертикальный градиент температур незначителен, что обеспечивает равномерное температурное поле по всей длине ячейки с чистым металлом.

Стабильность поддержания температуры в печи при температурах 231,92°C (для реперной точки олова) и 419,52°C (для реперной точки цинка) показана на рис. 6, а и б. Как видно, колебания температуры при реализации реперной

точки олова не превышали $\pm 0,025^\circ\text{C}$, при реализации реперной точки цинка — $\pm 0,04^\circ\text{C}$.

После предварительной настройки печи с помощью имитатора выполнялись работы с ампулами олова и цинка. Оценивалась равномерность температуры по вертикали в канале ампулы реперной точки олова при температуре 200°C, когда металл еще не расплавлен, при помощи ЭТС-100 и измерителя В7-99, разрешающая способность которого составляет $0,001^\circ\text{C}$ (рис. 7, а). Видно, что для температурного режима 200°C максимальный перепад температуры не превышает $0,01^\circ\text{C}$ на длине 10 см. Аналогичные измерения выполняли для ампулы цинка при

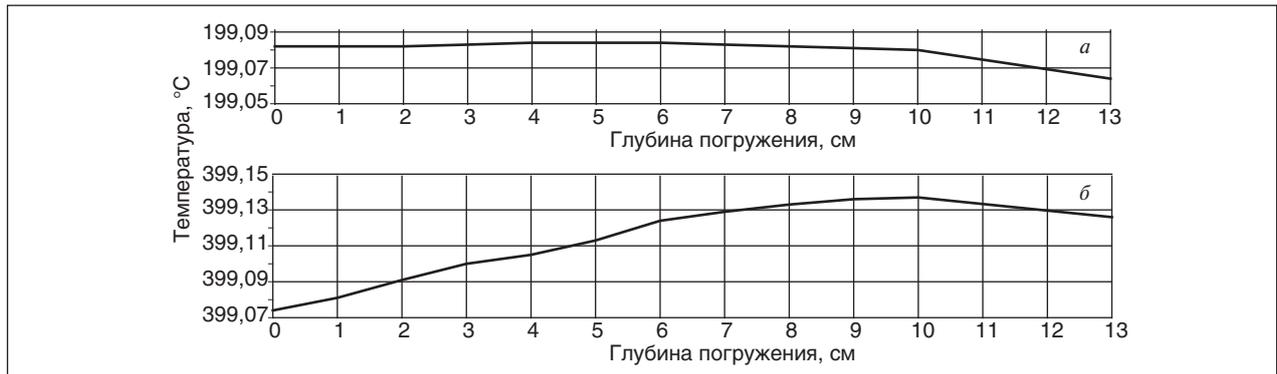


Рис. 7. Вертикальный перепад температуры в ампуле реперной точки олова (а) и цинка (б)

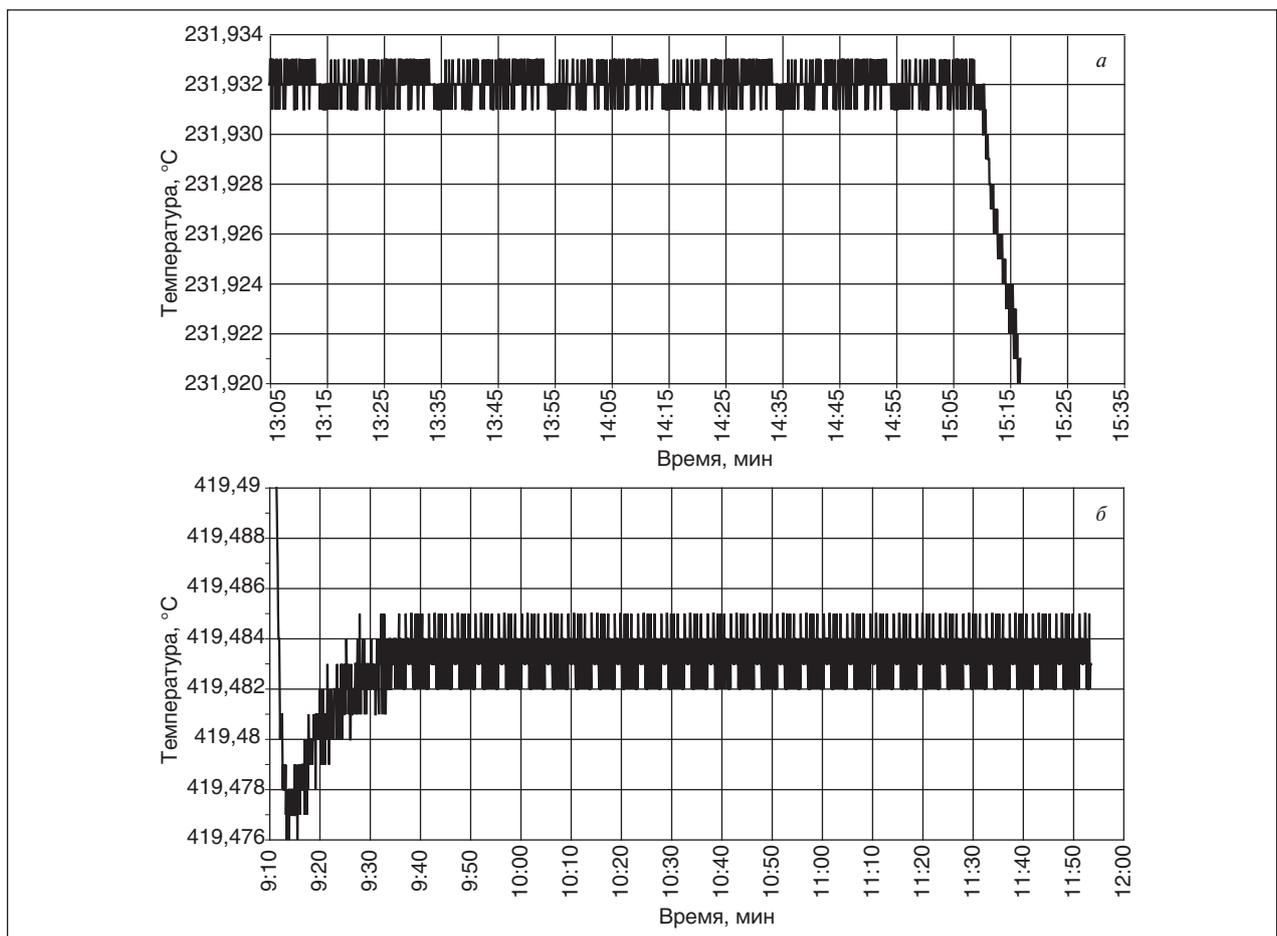


Рис. 8. Площадка затвердевания олова (а) и цинка (б)

температурном режиме 400 °С (рис. 7, б). В этом случае максимальный перепад температуры составляет не более 0,1°С на длине 10 см.

Далее оценивали равномерность температуры в каналах ампул реперных точек при затвердевании металлов. На **рис. 8**, а и б приведены концы площадок затвердевания олова и цинка. Как видно, площадка затвердевания олова продолжается более 2 ч. Окончание площадки вызвано плановым отключением печи в конце

рабочего дня. Площадка затвердевания цинка также продолжается несколько часов, окончание площадки обусловлено отключением печи.

Таким образом, печь ПРТ 50-500 отличается высокой стабильностью поддержания температуры и обеспечивает высокую равномерность температурного поля по длине ампулы с металлом, что позволяет реализовывать достаточно длительные площадки затвердевания металлов.

Литература

1. Малышев Ю. О. Печь ПРТ 1100-2 для реализации реперных точек МТШ-90 // Приборы. — 2011. — № 6. — С. 44–47.
2. Preston-Thomas H., Bloembergen P., Quinn T. J. Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990.

Yu. O. Malyshev

Furnace PRT 50-500 for Fixed Points ITS-90 Realization

Design of the furnace PRT 50-500, fixed point cells of tin and zinc is considered, which proposed for realization these metals fixed freezing points.

Key words: metrology, calibration, temperature, furnace, fixed points.

Вниманию специалистов!

С. В. Дейнеко

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В лабораторном практикуме рассматриваются модели расчета надежности технологических элементов газонефтепроводов. Представлены основные этапы построения моделей и этапы компьютерного моделирования для решения задач оценки надежности.

Приводятся описание и примеры использования методов компьютерного моделирования для решения инженерных задач надежности в среде Excel.

Построение моделей объектов проводится на основе реальных статистических данных.

Лабораторный практикум предназначен для студентов, магистрантов и аспирантов специальности 130501 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» и для инженерно-технического персонала, связанного с оценкой эксплуатационной надежности газонефтепроводов.

М.: Издательство «Техника», 2007. — 80 с.

С. В. Дейнеко

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ. ЗАДАЧИ С РЕШЕНИЯМИ

В сборнике рассматриваются практические задачи оценки надежности объектов систем газонефтепроводов на стадии эксплуатации. В задачах используются конструкции реальных объектов и реальные статистические данные. Рассмотрены основные этапы и особенности построения структурных моделей – схем надежности систем газонефтепроводов, а также задачи, связанные с обработкой статистической информации о наработках на отказ и построением вариационных рядов. Заключительным этапом расчетов является количественная оценка надежности систем газонефтепроводов на основе построения структурных схем. Приводится решение задач.

Сборник задач предназначен для студентов, магистрантов и аспирантов специальности 130501 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» и для инженерно-технического персонала, связанного с оценкой эксплуатационной надежности газонефтепроводов.

М.: Издательство «Техника», 2007. — 80 с.

Оценка эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв в районе добычи газа

В. Н. Башкин, Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук

В лабораторных условиях оценивалась эффективность рекультивации нарушенных тундровых почв Тазовского полуострова (Ямало-Ненецкий автономный округ) в районе добычи газа. Высокая эффективность рекультивации нарушенных почв с помощью торфа подтверждается повышением активности фермента дегидрогеназы.

Ключевые слова: добыча газа, нарушенная почва, рекультивация, торф, фермент, дегидрогеназа.

Известно, что при проезде техники, связанной с осуществлением геологоразведки, бурением скважин и обустройством промыслов по добыче газа, в условиях Крайнего Севера не исключаются механические воздействия на почвенно-растительный покров, при которых тундровые почвы частично или полностью лишаются растительности и органогенного слоя, а минеральные горизонты выходят на дневную поверхность, и изменяется криогенная обстановка [1–3]. В этой связи особое значение придается исследованиям состояния тундровых почв, в частности Тазовского полуострова, где ООО «Газпром добыча Ямбург» проводит геологоразведочные работы и осуществляет добычу газа и газового конденсата и их подготовку к транспортировке [4].

Тазовский полуостров находится на севере Западно-Сибирской равнины в Ямало-Ненецком автономном округе между Обской губой (морским заливом) на западе и Тазовской губой на востоке (рис. 1). Поверхность полуострова равнинная, покрыта многочисленными мелкими озерами, а также болотами, слабо наклонена на востоке к Тазовской губе и падает крупными обрывами на западе к Обской губе. Полуостров представляет собой мохово-лишайниковую и кустарниковую тундру, которую в течение столетий на всем ее протяжении местное население использовало и продолжает использовать для пастбищного оленеводства [5].

ООО «Газпром добыча Ямбург» в своей производственной деятельности руководствуется соблюдением баланса экономических, социальных и экологических составляющих общеизвестной концепции устойчивого развития [4]. Одним из основополагающих принципов экологической составляющей концепции, которого придерживается ООО «Газпром добыча Ямбург», является минимизация техногенного воздействия с

целью сохранения окружающей среды в зонах размещения производственных объектов, что реализуется, в частности, в виде рекультивации (восстановления плодородия) нарушенных тундровых почв. Так, например, почвы лишённые органогенного слоя, покрывают смесью торфа и песка (в отношении 1:4) толщиной до 5–6 см, что, в конечном счете, должно ускорить восстановление растительности, а, следовательно, и самой почвы [3].

Однако в условиях сурового климата тундры об эффективности рекультивации почв можно будет судить по факту регенерации на них исходной растительности только спустя десятки лет после начала рекультивации [1, 2]. Поэтому становится крайне важной предварительная экспрессная оценка эффективности рекультивации нарушенных почв путем проведения лабораторных опытов в контролируемых гидротермических условиях с анализом ключевых по-



Рис. 1. Карта-схема территории отбора образцов почв и торфа: 1 — полуостров Ямал; 2 — Тазовский полуостров; 3 — Гыданский полуостров; 4 — междуречье рек Пур и Таз; а — реки; б — озера; в — болота; г — район отбора образцов почв и торфа

казателей процесса формирования почвенного плодородия. К числу таких показателей можно отнести активность фермента дегидрогеназы, продуцируемой микроорганизмами и растениями и широко применяемой при оценке типов почвы, плодородия и окультуренности почв, эффективности тех или иных агротехнических приемов и т. д. [6]. Дегидрогеназа катализирует реакцию дегидрирования органических веществ (углеводов, спиртов, органических кислот и др.), поступающих в почву с растительными остатками.

Цель данной работы — оценка эффективности рекультивации с помощью торфа нарушенных тундровых почв Тазовского полуострова путем определения активности дегидрогеназы.

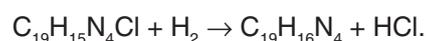
Для исследований отбирали усредненные образцы из слоя 0–6 см двух нарушенных тундровых почв, представляющих собой по гранулометрическому составу связный песок, т. е. содержание в почве глины составляло 5–10%, песка — 90–95%. Образцы отбирали в районе расположения установок комплексной подготовки газа ООО «Газпром добыча Ямбург». На одном участке растительность отсутствовала, на другом отмечалось фрагментарное восстановление растительности в виде отдельных представителей травяно-злаковой ассоциации и мхов. Содержание органического углерода в почве без растительности составляло 0,2%, в почве с растительностью — 0,9%. Для рекультивации нарушенных почв применяли торф с зольностью 54%, который добавляли в почву в отношении 1:4. В качестве эталона использовали органогенный слой толщиной 0–10 см торфяно-глеезема типичного тундрового с зольностью 39% [7]. Физико-химические характеристики исследуемых образцов почв и торфа приведены в **табл. 1**.

Для оценки эффективности рекультивации нарушенных почв образцы массой 50 г исходных почв и чистого торфа, а также почв после добавления торфа, увлажненные до 70% от полной влагоемкости, инкубировали в чашках Петри в

термостате при температуре 30°C. На 5, 10, 20 и 30 сутки анализировали активность дегидрогеназы образцов по методике [8].

Методика анализа активности дегидрогеназы

Для количественного определения активности дегидрогеназы используют 2,3,5-трифенилтетразолийхлорид ($C_{19}H_{15}N_4Cl$, 2,3,5-ТТХ), бесцветное вещество, который, акцептируя мобилизованный дегидрогеназой водород, превращается в почве в 2,3,5-трифенилформаза ($C_{19}H_{16}N_4$, 2,3,5-ТФФ), вещество красного цвета [6]:



Для анализа активности дегидрогеназы навеску почвы (торфа) массой 1 г помещают в модифицированную колбу Эрленмейера емкостью 20 мл с коленчатым боковым отростком емкостью 3 мл со шлифами (**рис. 2**) [8]. В эту же колбу добавляют 0,1 г карбоната кальция, затем последовательно приливают по 1 мл 1%-ных водных растворов глюкозы и 2,3,5-ТТХ. Содержимое колбы перемешивают, а в коленчатый отросток вводят шприцем 2,5 мл насыщенного щелочного раствора пирогаллола, который готовят с использованием гидроксида калия. Колбу и ее коленчатый отросток герметично закрывают и на сутки помещают в термостат на инкубацию при температуре 30°C. После этого образовавшийся в почве (торфе) 2,3,5-ТФФ кратно экстрагируют этиловым спиртом до достижения бесцветной вытяжки. Окрашенную вытяжку пропускают через бумажный фильтр в мерную пробирку. Интенсивность окрашивания объединенных фильтратов этилового спирта измеряют спектрофотометром при длине волны 490 нм. Концентрацию 2,3,5-ТФФ вычисляют по калибровочному графику, составленному для этого вещества в диапазоне, например, 1–25 мкг 2,3,5-ТФФ/мл. Активность дегидрогеназы выражают в мкг или мг 2,3,5-ТФФ/(г·сут.).

Табл. 1. Физико-химические характеристики образцов почв и торфа

Образец	Плотность или объемная масса, кг/м ³	Капиллярная влагоемкость, %	Полная влагоемкость, %	pH _{вод}
Торфяно-глеезем типичный тундровый	390	216	315	5,1
Торф	400	216	420	5,4
Нарушенная почва без растительности	1710	25	32	5,9
То же + торф, 4:1	1040	66	80	5,1
Нарушенная почва с растительностью	1540	37	43	5,1
То же + торф, 4:1	890	78	102	5,3

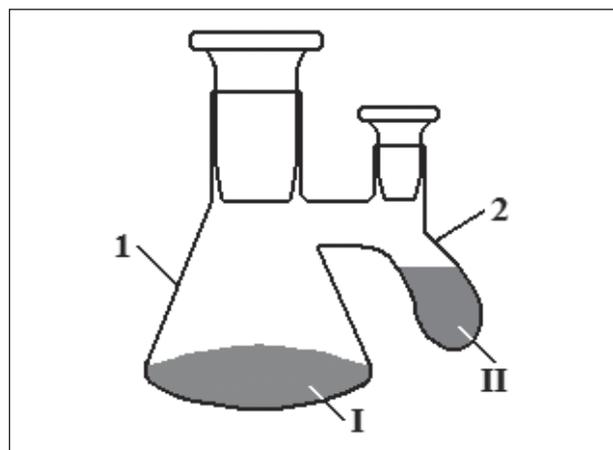


Рис. 2. Устройство для анализа активности дегидрогеназы почвы (торфа): 1 — модифицированная колба Эрленмейера; 2 — коленчатый отросток колбы; I — смесь почвы (торфа), карбоната кальция, растворов глюкозы и 2,3,5-ТТХ; II — насыщенный щелочной раствор пирогаллола

Оценка эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв путем анализа активности дегидрогеназы

Данные **табл. 2** показывают, что в течение всего периода наблюдения добавление торфа существенно повышало активность дегидрогеназы нарушенной почвы без растительности и особенно почвы с растительностью соответственно на 11,4–23,4% и 29,1–51,9% относительно почв без добавления торфа. Таким образом, подтверждается высокая эффективность рекультивации нарушенных почв с помощью торфа. Активность дегидрогеназы чистого торфа не только достигала соответствующей активности торфяно-глеезема типичного тундрового, взятого в качестве эталона, но и в первые 5 сут. была выше на 28,5%.

Доказательством адекватности использования активности дегидрогеназы для оценки эффективности рекультивации нарушенных почв послужили результаты корреляционного и регрессионного анализа экспериментальных результатов. Так, расчет коэффициента корреляции r показал наличие сильной корреляционной зависимости между активностью дегидрогеназы и плотностью (объемной массой) образцов ($r = -0,95$), активностью дегидрогеназы и капиллярной влагоемкостью ($r = 0,95$), а также активностью дегидрогеназы и полной влагоемкостью

Табл. 2. Динамика активности дегидрогеназы нарушенных почв при их рекультивации с помощью торфа

Образец	Активность дегидрогеназы (в % от активности торфяно-глеезема типичного тундрового) на сутки от начала эксперимента по рекультивации			
	5	10	20	30
Торф	128,5	100	96,7	101,2
Нарушенная почва без растительности	9,2	6,7	7,6	5,9
То же + торф, 4:1	32,6	23,9	19,0	23,7
Нарушенная почва с растительностью	18,6	13,6	15,1	11,9
То же + торф, 4:1	70,5	58,6	59,9	41,0

($r = 0,95$) образцов. Соответствующие уравнения линейной регрессии имеют следующий вид:

$$y = 76,9 - 44,4x;$$

$$y = 2,74 + 0,28x;$$

$$y = 7,71 + 0,15x.$$

Как оказалось, чем меньше плотность (объемная масса) и, соответственно, больше капиллярная и полная влагоемкость, обусловленная в основном органической составляющей образцов, тем выше активность дегидрогеназы. Это подтверждается данными исследований [9, 10], в которых отмечалось повышение активности дегидрогеназы с возрастанием влажности различных почв. Значительное влияние влажности на активность дегидрогеназы почвы связано с тем, что влага определяет нормальное физиологическое состояние микроорганизмов и растений — продуцентов ферментов в почве, а также поддерживает в реакционном состоянии ферменты и их субстраты (углеводы, спирты, органические кислоты и др.).

Таким образом, проведенные исследования позволяют прийти к заключению о возможности оперативной оценки в лабораторных условиях эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв с помощью торфа. Данный метод может стать альтернативой многолетним полевым наблюдениям. Корректность оценки эффективности рекультивации нарушенных почв по активности дегидрогеназы подтверждается наличием сильных корреляционных зависимостей между этим ключевым показателем плодородия и основными физико-химическими свойствами почв.

Литература

1. Васильевская В. Д., Кирилишин В. В. Антропогенные нарушения почвенного покрова в южной тундре Ямала и мероприятия по их предотвращению // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. — 1993. — № 4. — С. 3–9.
2. Васильевская В. Д., Григорьев В. Я. Биологические показатели деградации и самовосстановления почвенно-растительного покрова тундр // Сибирский экологический журнал. — 2002. — Т. IX. — № 3. — С. 355–370.
3. Андреев О. П., Ставкин Г. П., Левинзон И. Л. и др. Защита и восстановление земель и ландшафтов Крайнего Севера при добыче газа // Экология и промышленность России. — 2003. — № 6. — С. 4–9.
4. Андреев О. П., Башкин В. Н., Галиулин Р. В. и др. Решение проблемы геоэкологических рисков в газовой промышленности. Обзорная информация. — М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. — 78 с.
5. Физико-географическое районирование Тюменской области. — М.: МГУ, 1973. — 248 с.
6. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. Методическое пособие. — М.: Наука, 1976. — 180 с.
7. Хренов В. Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия. — Новосибирск: Наука, 2011. — 211 с.
8. Пат. 2387996 (РФ).
9. Ефремова Т. Т., Овчинникова Т. М. Сезонная оксиредуктазная активность осушенных торфяных почв в связи с гидротермическими условиями среды // Сибирский экологический журнал. — 2008. — Т. XV. — № 3. — С. 441–449.
10. Павлючук З., Асеева И. В., Судницын И. И. Влияние потенциала (давления) почвенной влаги на активность дегидрогеназы в почвах // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. — 1982. — № 2. — С. 60–63.

V. N. Bashkin, R. V. Galiulin, and R. A. Galiulina

Estimation of Recultivation Effectiveness of Disturbed Tundra Soils around Gas Production Region

Recultivation effectiveness of disturbed tundra soils of the Tazovsky peninsula (Yamalo-Nenets Autonomous District) around gas production region was estimated in laboratory conditions. Increase of dehydrogenase enzyme activity proves high effectiveness of disturbed soils recultivation by peat.

Key words: gas distribution gas production, disturbed soil, recultivation, peat, enzyme, dehydrogenase.

Вниманию специалистов!

ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ Под ред. проф. Н. Г. Дигурова и проф. Б. П. Туманяна

В учебном пособии рассмотрены основные теоретические и технологические аспекты переработки нефти. Отражены базовые аспекты теории нефтяных дисперсных систем. Особое внимание обращено на прикладную кинетику и моделирование химических реакторов, а также на анализ и синтез химико-технологических систем. Приведены примеры расчетов технологического оборудования.

Учебное пособие ориентировано на студентов, магистрантов и аспирантов, обучающихся в направлении технологии переработки нефти и газа. Может быть полезно широкому кругу инженерно-технических и научных работников, специализирующихся в области нефтепереработки и нефтехимии.

М.: Издательство «Техника», 2012. — 496 с.

Исследование влияния перемешивающих устройств на производительность биореактора для получения водорода реакцией водяного газа

А. В. Бескорвайный, Е. А. Бочкова, А. А. Новиков, М. С. Котелев
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

*Рассмотрен процесс получения водорода реакцией водяного газа в присутствии бактерий *Carboxydotherrnus hydrogenoformans*. Исследованы зависимости конверсии и производительности биореактора по водороду от расхода газа при использовании различных перемешивающих устройств. Использование перемешивающих устройств типа «гребной винт» обеспечивает максимальное увеличение производительности реактора по водороду на 40%, перемешивающих устройств типа «архимедов винт» — на 42% относительно газлифтного реактора без перемешивающих устройств.*

Ключевые слова: биоводород, карбоксидотрофные бактерии, реакция водяного газа.

В настоящее время промышленное получение водорода осуществляется либо электролизом воды (для получения особо чистого водорода на установках небольшой производительности), либо конверсией природного газа в синтез-газ с последующим проведением реакции водяного газа. Последний способ, однако, экономически целесообразен лишь для многотоннажных производств с фиксированной производительностью. Альтернативным способом получения водорода является проведение биологически катализируемой реакции водяного газа.

Первые исследования биологически катализируемой реакции водяного газа проводились с использованием пурпурных несерных бактерий, давно известных микробиологам как способных производить водород [1, 2]. Исследования биологически катализируемой реакции водяного газа впервые проводились Вольфрамом с соавт. в реакторах типа барботажных колонн [3] и реакторах с орошаемой насадкой — в режимах сонаправленного потока и противотока [4]. Возможность производства водорода с использованием таких бактерий подробно исследована Марковым в ряде работ [5, 6].

Лимитирующим фактором при проведении процесса является массоперенос монооксида углерода. В связи с этим Марковым были предложены спиральные трубчатые биореакторы, в которых всплытие пузырьков барботируемого газа замедляется геометрией трубки, по сути представляющей собой барботажную колонну. Также им были предложены половолоконные реакторы, в которых снабжение культуры клеток монооксидом водорода осуществляется через стенки полых волокон [7]. В упомянутых работах эксперименты проводились только с пурпурны-

ми несерными бактериями. В половолоконных реакторах при этом была достигнута максимальная производительность по водороду, равная 38,1 г/(м³·ч), при средней производительности 6,7 г/(м³·ч) (автором приведена производительность 700 и 140 мл/(г сухой биомассы·ч) при концентрации клеток 0,65 г/л в инокуляте). В спиральных трубчатых реакторах была достигнута производительность 4,2 г/(м³·ч) (автором приведена производительность 125 мл/(г сухой биомассы·ч) при концентрации клеток 0,36 г/л).

Как было показано в нашей предыдущей работе [8], производительность реактора по водороду при использовании в качестве биокатализатора культур термофильных карбоксидотрофных бактерий рода *Carboxydotherrnus* достигает 167,5 г/(м³·ч) при проведении реакции в барботажных колоннах; при этом реакция лимитирована массопереносом монооксида углерода, так как производительность не зависит от концентрации клеток в реакторе. В настоящей работе исследовали влияние перемешивающих устройств на производительность газлифтного биореактора по водороду.

Использовали газлифтный биореактор объемом 10 л, выполненный из нержавеющей стали. Сырьевой газ (СО) подавался в реактор через кольцевой барботер, установленный внутри газлифтной внутриреакторной колонны, и обеспечивал циркуляцию жидкости в реакторе. В реактор устанавливали перемешивающие устройства, выполненные в виде гребных винтов на общем валу и в виде архимедова винта. Конфигурация устройств была выбрана с целью обеспечения принудительного противотока жидкости и замедления всплытия пузырьков барботируемого газа. В качестве биокатализатора реакции водяного

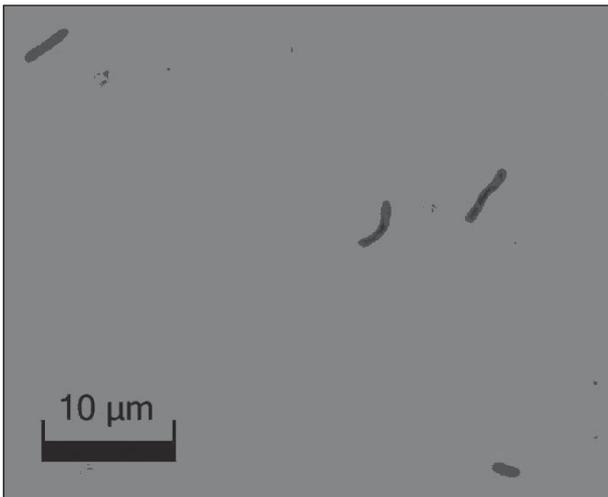


Рис. 1. Микрофотография клеток бактерий *Carboxydothemus hydrogenoformans* DSM6008

газа использовали бактерии *Carboxydothemus hydrogenoformans* DSM 6008. Приготовление сред для культивирования, анализ состава газовой фазы и расчет параметров процесса (конверсии и производительности реактора по водороду) осуществлялись, как описано ранее [8], за исключением использования дитионита натрия в качестве восстанавливающего агента вместо сульфида натрия во избежание коррозии стенок реактора и перемешивающих устройств.

В ходе экспериментов контролировали концентрацию клеток в реакторе путем разбавления его содержимого средой для культивирования. Концентрацию клеток в реакторе поддерживали

на уровне $1 \cdot 10^8$ кл/мл. Концентрацию клеток определяли методом прямого подсчета клеток в разбавленной в 10 раз культуральной жидкости с помощью фазово-контрастной оптической микроскопии. Пример микрофотографии клеток микроорганизмов в реакторе приведен на рис. 1. Расход газа измеряли с помощью калиброванного ротаметра.

Зависимости конверсии и производительности реактора по водороду от расхода газа при использовании различных перемешивающих устройств показаны на рис. 2. При низких расходах газа перемешивающие устройства типа «архимедов винт» превосходят устройства типа «гребной винт» по эффективности, что отражают значения конверсии. При повышении расхода газа эффективность перемешивающих устройств становится близкой, что выражается в практически одинаковых значениях производительности реактора по водороду и конверсии для перемешивающих устройств обоих типов. Максимальное увеличение производительности реактора по водороду по сравнению с газлифтным реактором без перемешивающих устройств составляет 40% для перемешивающих устройств типа «гребной винт» и 42% для перемешивающих устройств типа «архимедов винт».

Наблюдаемые различия в значениях конверсии при использовании двух перемешивающих устройств при малых расходах газа и практически одинаковая их эффективность при высоких расходах газа (соответствующих достижению максимальной производительности реактора

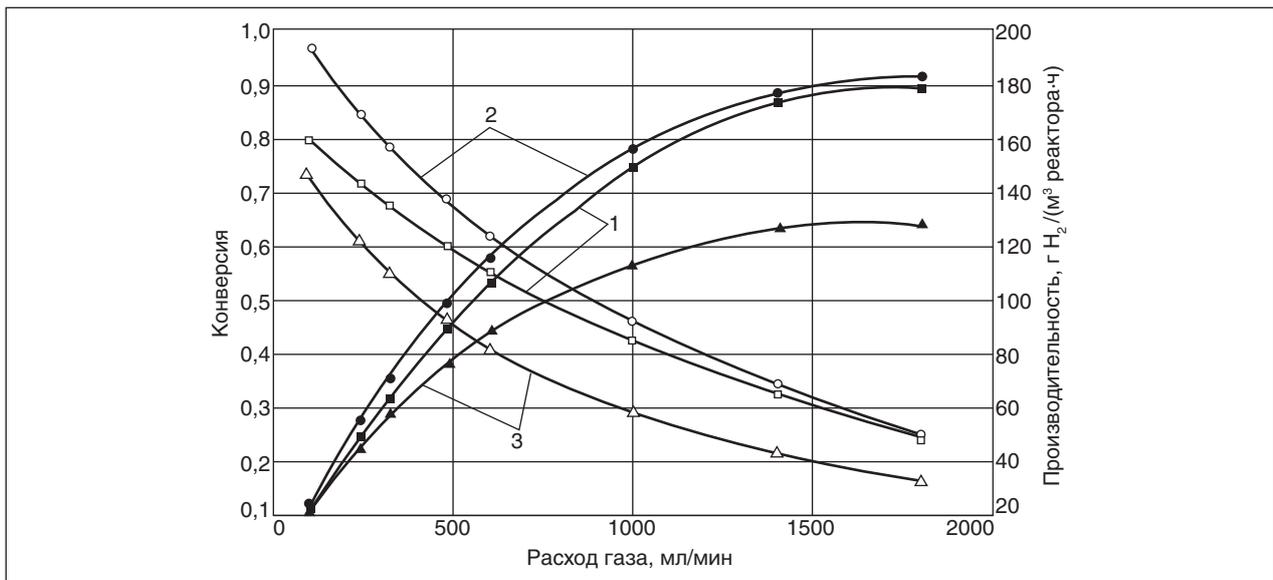


Рис. 2. Зависимости конверсии (белые точки) и производительности реактора по водороду (черные точки) от расхода газа при использовании перемешивающих устройств: 1 — «гребной винт»; 2 — «архимедов винт»; 3 — без перемешивающих устройств

по водороду) могут быть объяснены отличием перемешивающего элемента типа «архимедов винт» от «гребного винта»: при малых расходах газа его пузыри распределяются по поверхности «архимедова винта», и их всплытие замедляется не только за счет противотока жидкости, но и за счет трения о поверхность «архимедова винта». Таким образом, перемешивающие устройства типа «архимедов винт» по способу замедления всплытия пузырей барботируемого газа имитируют спиральные трубчатые биореакторы и позволяют повысить конверсию реакции водяного газа при малых расходах газа не только по сравнению с газлифтным реактором без перемешивающих

устройств, но и по сравнению с реактором с устройствами типа «гребной винт».

Исследование проводится в рамках Федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации (Государственный контракт от «15» апреля 2011 г. № 16.516.11.6007).

Литература

1. Uffen R. L. Anaerobic Growth of a Rhodospseudomonas Species in the Dark with Carbon Monoxide as Sole Carbon and Energy Substrate // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. — 1976. — V. 73. — P. 3298–3302.
2. Dashekvicz M. P., Uffen R. L. Identification of a Carbon Monoxide Metabolizing Bacterium as a Strain of *Rhodospseudomonas gelatinosa* (Molisch) // Int. J. Syst. Bacteriol. — 1979. — V. 29. — P. 145–148.
3. Wolfrum E. J., Watt A. S. Bioreactor Design Studies for a Hydrogen-Producing Bacterium // Appl. Biochem. Biotech. — 2002. — V. 98–100. — P. 611–625.
4. Wolfrum E. J., Weaver P. F. Bioreactor Development for Biological Hydrogen Production // Proceedings of the 2000 DOE Hydrogen Program Review, NREL/CP-570-28890.
5. Markov S. A. Bioreactors for Hydrogen Production // Biohydrogen. — 1999. — V. VIII. — P. 383–390.
6. Markov S. A., Weaver P. F., Seibert M. Spiral Tubular Bioreactors for Hydrogen Production by Photosynthetic Microorganisms. Design and Operation // Appl. Biochem. Biotech. — 1997. — V. 63–65. — P. 577–584.
7. Markov S. A., Weaver P. F. Bioreactors for H₂ Production by Purple Nonsulfur Bacteria // Biotechnology for Fuels and Chemicals, ABAB Symposium, 2008. — Part 2. P. 79–86.
8. Новиков А. А., Котелев М. С., Масютин Я. А. и др. Биокатализ реакции водяного газа в барботажных колоннах // Башкирский химический журнал. — 2011. — Т. 18. — № 4. — С. 60–64.

A. V. Beskorovaynyy, Ye. A. Bochkova, A. A. Novikov, and M. S. Kotelev

Investigation of Impeller Type Influence on Hydrogen Production in Water-Gas Shift Bioreactor

The article considers the process of hydrogen production at water gas shift reaction catalyzed by Carboxydotherrmus hydrogenoformans bacteria. Dependences of conversion and hydrogen production of bioreactor from gas flow are studied with various impeller types used. Comparing with gas lift reactor without impeller marine impeller usage increases maximal hydrogen production on 40% while Archimedean screw impeller usage increases maximal hydrogen production on 42%.

Key words: biohydrogen, carboxydotrophic bacteria, water gas shift reaction.

Первапорационное разделение продуктов переработки изношенных шин.

Статья вторая

И. А. Буртная, О. О. Гачечиладзе
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

На лабораторной первапорационной установке разделяли продукты термической переработки изношенных шин. Представлены результаты исследования полученных топливных фракций.

Ключевые слова: утилизация отходов, фракционный состав, пиролизная жидкость, изношенные шины, мембранное разделение, первапорация.

В настоящее время все больше внимания уделяется технологиям утилизации отходов. Существующая механическая переработка изношенных шин основывается на устаревших технологиях [1], и назвать ее утилизацией можно лишь условно. Новый термический способ переработки шин с получением так называемой пиролизной жидкости также не решает проблему утилизации изношенных шин, так как использование пиролизной жидкости в качестве печного топлива весьма затруднено из-за ее низкого качества. Разделение и облагораживание пиролизной жидкости традиционными методами, в частности с применением дистилляции, практически неосуществимо из-за присутствия пироуглерода, смол и т. д.

Внедрение мембранных технологий позволяет решать ряд важных задач, связанных с обеспечением экономики топливно-энергетическими ресурсами, охраной окружающей среды, использованием вторичного сырья и т. д. Первапорационное разделение на лабораторной установке позволило получить из пиролизной жидкости компоненты моторных топлив [2], что представляет несомненный коммерческий интерес. В данной работе исследованы продукты первапорационного разделения пиролизной жидкости, полученной при переработке изношенных шин. Схема лабораторной установки первапорационного разделения описана в работе [2].

Фракционный состав исходной пиролизной жидкости, а также выделенных из нее бензиновой и дизельной фракций определяли согласно ГОСТ 2177–99. Исследовали две пиролизные жидкости, полученные из одного источника (г. Узин), на 2 мес. различающиеся длительностью хранения. Сравнительный анализ фракционного состава пиролизных жидкостей 1 и 2 (табл. 1) показывает, что длительное хранение существенно влияет на фракционный состав.

При хранении пиролизной жидкости происходит увеличение примерно на 6–7% содержания высокомолекулярных соединений. Более того, после достижения температуры паров 340°C пиролизная жидкость 1 начинает разлагаться,

Табл. 1. Фракционный состав
пиролизных жидкостей

Фракционный состав	Пиролизная жидкость	
	1	2
Начало кипения, °C	78	86
Выкипает, % об., при температуре		
90°C	3	0,5
100	5	1
110	7	2
120	8	3
130	12	5
140	14	8
150	18	11
160	21	13
170	24	17
180	27	21
190	31	26
200	36	30
210	37	35
220	42	40
230	44	45
250	50	57
270	54	66
290	59	73
310	66	78
330	72	82
350	77	86
370	82	–
Конец кипения, °C	370*	–
Остаток, % об.	17	13
Потери, % об.	1	1

*При температуре 340°C началось разложение пиролизной жидкости (появился дым).

Табл. 2. Характеристики бензиновых фракций, выделенных из пиролизных жидкостей на мембранной первапорационной установке

Показатели	Бензиновая фракция пиролизной жидкости	
	1	2
Начало кипения, °С	82	64
Температура отгона, °С		
10% об.	101	121
20	108	133
30	118	140
40	124	147
50	130	153
60	138	160
70	145	168
80	155	178
90	174	198
97	205	
99		215
Остаток + потери, % об.	3	1
Октановое число (ММ)	80	85

гореть и дымить. При температуре 340–350°С отгоняется 78–82% пиролизной жидкости 1. Фракционный состав бензиновых фракций, выделенных при 50°С из пиролизных жидкостей 1 и 2, также различен (табл. 2). В частности, 10% бензиновой фракции пиролизной жидкости 1 отгоняется при 101°С, а бензиновой фракции пиролизной жидкости 2 — при 121°С.

Вследствие высокого содержания в пиролизной жидкости фракции 180–350°С (50–65% об.), близкой по фракционному составу к дизельной фракции, особое внимание уделяли ее полному выделению. Для определения оптимальных параметров мембранного выделения компонентов дизельной фракции из пиролизной жидкости 2 эксперименты проводили при разной температуре на соответствующих мембранах. Определяли фракционный состав выделенных дизельных фракций (табл. 3). Во всех образцах отсутствует не отгоняемый остаток, т. е. выделенные при разных температурах дизельные фракции разгоняются полностью. Неиспаряющийся остаток через мембрану не проникает.

Очевидно утяжеление фракционного состава дизельных фракций с увеличением температуры мембранного разделения. Так, температура конца кипения дизельной фракции, выделенной при 70°С, составляет 250°С, выделенной при 98°С — 310°С, выделенной при 110°С — 345°С. Мембранное разделение при 110°С обеспечивает полный отбор дизельной фракции от исходной смеси. Исходя из этого, оптимальная темпера-

тура выделения дизельной фракции составляет 110–120°С.

Температуры начала кипения всех выделенных дизельных фракций находятся в пределах 86–98°С. Это еще раз подтверждает тот факт, что мембранное разделение происходит на молекулярном уровне. Высокое содержание в дизельной фракции углеводородов, выкипающих при 160–220°С, указывает на невозможность получения «чистой» бензиновой фракции методом обычной разгонки, так как температура конца кипения бензиновой фракции равна 215°С [4]. Тогда как с помощью мембранного разделения можно получить бензиновую, керосиновую (при необходимости) и дизельную фракции практически без наложения фракций [3].

Первапорационное разделение пиролизной жидкости подтверждает преимущества мем-

Табл. 3. Фракционный состав дизельной фракции, полученной мембранным разделением пиролизной жидкости 2 при разных температурах

Фракционный состав	Температура мембранного разделения, °С			
	70	90	98	110
Начало кипения, °С	86	90	95	98
Выкипает, % об., при температуре				
100°С	1			
110	1,5			
120	2	1	0,5	0,5
130	3	–	1	1
140	6	–	1,5	1,5
150	9	3	2	2
160	20	9	3	2,5
170	36	22	6	5
180	54	40	18	14
190	73	59	34	28
200	82	72	52	43
210	87	78	61	58
220	91	83	74	72
230	95	86	79	77
240	97	90	84	82
250	99	93	87	85
260		95	90	87
270		97	92	89
280		99	95	91
290			96,5	93
300			97,5	94,5
310			99	96
320				97
330				98
340				98,5
Конец кипения, °С	250	290	310	345
Потери, % об.	1	1	1	1,5

бранных процессов перед традиционной дистилляцией. Полученные компоненты моторных топлив, не содержащие смол, механических примесей, представляют коммерческий интерес. Однако при проектировании технологической

схемы полупромышленной установки мембранного разделения пиролизной жидкости следует учитывать наличие пироуглерода, смолы и иных примесей, так как при отборе фракций примеси концентрируются и коагулируют.

Литература

1. Уляницкий Д. Любители резины // Власть денег. — 2011. — Т. 330. — № 47. — С. 22–27.
2. Буртная И. А., Гачечиладзе О. О., Ружинская Л. И. Первапорационное разделение продуктов переработки изношенных шин. Статья первая // Промышленный сервис. — 2012. — № 2. — С. 2–4.
3. Спиркин В. Г., Лыков О. П., Бельдий О. М. Экологически безопасные добавки для дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел. — 2001. — № 6. — С. 29–31.
4. ДСТУ 4063–2001. Бензини автомобільні. Технічні умови. Введ. 2001-11-29. — Київ.: Держстандарт України, 2001.

I. A. Burtnaya and O. O. Gachechiladze

Pervaporation Separation of Products from Waste Tires Processing. The Second Article

*Products from waste tires pyrolysis were separated at the laboratory pervaporation unit and analyzed.
The results of analysis are presented.*

Key words: waste processing, distillation characteristic, pyrolysis liquid product, waste tires, membrane separation, pervaporation.

Вниманию специалистов!

О. Н. Цветков

ПОЛИ- α -ОЛЕФИНОВЫЕ МАСЛА: ХИМИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

Книга посвящена синтетическим смазочным маслам для новейших моделей автомобильной, авиационной техники, промышленности и энергетики. Обобщены принципиальные достижения в создании и улучшении эксплуатационных свойств смазочных масел, изготовленных с использованием поли- α -олефиновых базовых компонентов. Рассмотрены проблемы химии и технологии поли- α -олефиновых масел.

Книга представляет интерес для специалистов по производству, применению и реализации смазочных материалов, аспирантов и студентов нефтегазовых вузов, а также для широкого круга пользователей современной техники.

М.: Издательство «Техника», 2006. — 192 с.

В. А. Казарян

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

В книге рассмотрены методы исследования и конструкции приборов для измерения плотности, вязкости и теплопроводности газов и жидкостей в широком диапазоне давлений и температур. Приводится обширный справочный материал по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций.

Книга интересна инженерно-техническим работникам научно-исследовательских институтов и проектных организаций нефтегазовой отрасли.

М.: Издательство «Техника», 2002. — 448 с.

Производители газовой серы в России, экология и мировой рынок серы

А. Л. Лapidус, И. А. Голубева
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Приведены сведения о крупнейших производителях газовой серы в России. Выполнен анализ мирового рынка серы за последние десятилетия, исследовано влияние различных факторов на баланс производства и потребления серы и ценообразование. Проведенный анализ позволил сформировать баланс спроса и предложения для прогнозирования развития рынка серы в России и сформулировать перечень проблем, которые необходимо решить для расширения участия России в международной торговле серой.

Ключевые слова: сера, рынок, цены, газоперерабатывающий завод, экологические требования, Газпром, Астраханский ГПЗ, Оренбургский ГПЗ, серная кислота, удобрения.

Доля ОАО «Газпром» на рынке серы Российской Федерации среди 12 компаний, владеющих мощностями по производству серы, составляет свыше 90%. Доля «Газпрома» в поставках серы на внутренний рынок составляет около 60%. Но если учесть еще поставки совместного с Казахстаном предприятия ТОО «КазРосГаз», то эта доля в отдельные периоды превышает 80%. Реализацией серы с предприятий ОАО «Газпром» на внешнем рынке занимается ООО «Газпром экспорт», на внутреннем — ООО «Газпром сера». В свою очередь, «КазРосГаз» самостоятельно осуществляет продажу своей серы.

ООО «Газпром сера» было образовано в марте 2008 г. в качестве единого оператора ОАО «Газпром» по реализации серы на российском рынке. Функциями ООО «Газпром сера» являются координация отгрузок серы с Астраханского и Оренбургского ГПЗ, обеспечение транспортных коридоров вывоза серы потребителям, в том числе на экспорт (терминалы, перегрузочные мощности), формирование долгосрочных стабильных отношений с потребителями серы, развитие альтернативных направлений использования серы, в первую очередь производства сероасфальта и серобетона.

Основными потребителями серы в России являются компании, предприятия которых выпускают фосфорные минеральные удобрения — «Еврохим», «Фосагро», «Уралхим». Зарубежными партнерами — потребителями серы являются государства, в больших количествах производящие фосфорные минеральные удобрения, в первую очередь Марокко и Тунис.

Рынок серы подвержен циклическим изменениям и сезонным колебаниям. Общий уровень цен имеет тенденцию к незначительному повышению. Однако в 2008 г. наблюдалось

повышение цен — более чем в 10 раз на мировом, а затем и на внутренних рынках, что было обусловлено главным образом состоянием мировой экономики. В 2008 г. впервые продажа серы во всем мире начала приносить прибыль, а поставки российской серы были наиболее эффективными в период с февраля по октябрь 2008 г.

Мировой финансовый кризис привел к резкому снижению спроса на минеральные удобрения и, соответственно, к снижению цены на серу. С 2010 года наблюдается некоторое оживление этого сегмента рынка, так как за время кризиса производители минеральных удобрений успели разгрузить свои склады от остатков продукции и им потребовались новые объемы серы. Только в первом полугодии 2010 г. ОАО «Газпром» поставило за рубеж около 2,3 млн т серы, тогда как за весь 2009 год объем экспортных поставок «Газпрома» составил порядка 2,5 млн т.

ООО «Газпром добыча Астрахань»

Астраханское газоконденсатное месторождение характеризуется высоким содержанием сероводорода в газе и конденсате. Астраханский газовый комплекс, основанный в 1981 г., является крупнейшим предприятием юга России по добыче, переработке и транспортировке газа, производству серы и жидких углеводородов. АГК перерабатывает пластовый газ, газовый конденсат и нефть с получением широкого ассортимента продукции: сухого товарного газа, стабильного газового конденсата, серы, бензина, дизельного топлива, мазута, сжиженного газа и широкой фракции легких углеводородов. Мощности комплекса позволяют ежегодно добывать и перерабатывать до 12 млрд м³ газа и до 7,3 млн т жидких углеводородов.

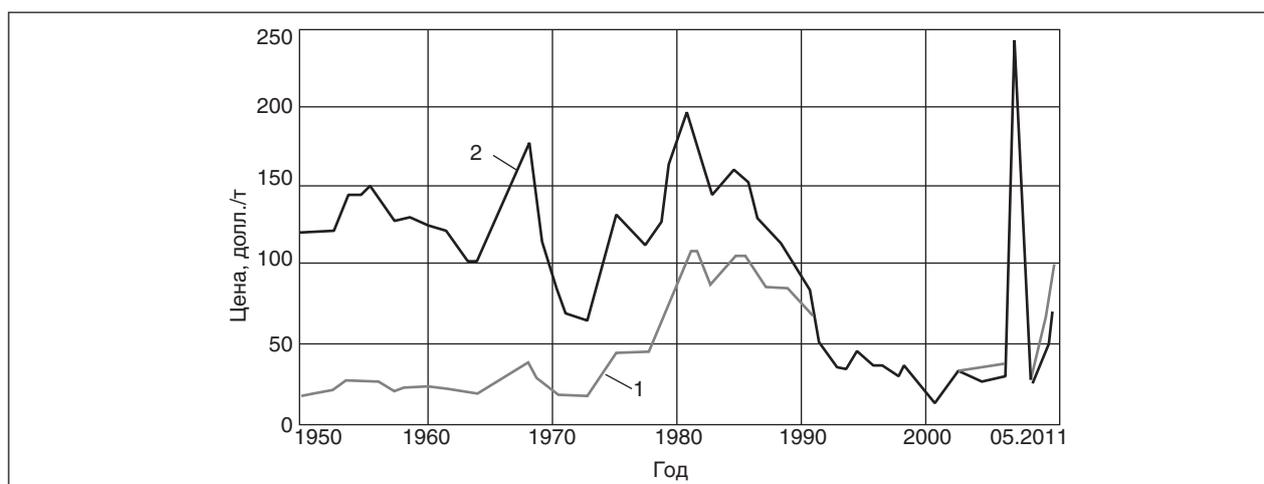


Рис. 1. Динамика изменения цены на серу: 1 — номинальные мировые цены; 2 — реальные мировые цены (источники — USGS, «Газпром-экспорт», «Эксперт»)

ООО «Газпром добыча Астрахань» в настоящее время занимает третье место в мире по объему годового производства серы. СССР покупал серу у Польши. В 1970–1980 гг. цены на серу были на историческом пике (рис. 1), и решение о строительстве ГПЗ в Астрахани было принято, исходя не столько из желания расширить производство товарного газа, но также из необходимости производства дефицитного и дорогого продукта — серы. Астраханское газовое месторождение уникально с этой точки зрения — содержание сероводорода в добываемом газе составляет 25%. В Канаде есть месторождения с еще более высоким содержанием сероводорода, но они не такие крупные. При невысоком объеме добычи газа — 12 млрд м³ здесь производится порядка 5 млн т серы в год.

Поэтому, несмотря на то, что сера на заводе вырабатывается как побочный продукт очистки газа от сероводорода, на самом деле для завода и страны сера является товарным продуктом, в отличие от большинства предприятий-производителей серы, для которых она является отходом. Для многих НПЗ главная задача — избавиться от серы, и они часто продают ее по цене ниже себестоимости или разрешают потребителям забирать продукт бесплатно, на условии самовывоза. В Канаде и арабских странах при добыче нефти и газа и очистке их от серы возникает та же проблема сбыта серы. Для Астраханского ГПЗ сера — продукт, от реализации которого завод ожидает прибыль.

Однако после распада СССР и глубокого структурного кризиса спрос на серу внутри страны для нужд агропромышленного комплекса и промышленности (включая оборонную

промышленность) резко упал, Астраханский ГПЗ некоторое время не мог реализовать серу. Предприятие в 1990-е гг. существовало за счет нефтепродуктов — на ГПЗ имелся небольшой нефтеперерабатывающий блок, где из стабильного газоконденсата вырабатывались бензин А-76 бензин, дизельное топливо и мазут. Было также реализовано производство сжиженных газов.

Затем Астраханский ГПЗ начал продавать серу странам, в которых большое количество серы потребляют заводы по производству фосфорсодержащих удобрений — ОСП в Марокко и GCT в Тунисе. Эти заводы оказались готовы покупать серу по разумной цене ради получения многолетних контрактов на гарантированную поставку больших объемов серы. На этих покупателях сейчас приходится большая часть экспортных продаж серы ООО «Газпром добыча Астрахань» (рис. 2). Это позволило ООО «Газпром добыча Астрахань» не только распродать запасы на складах, но и увеличить добычу газа почти в два раза (рис. 3), поэтому объем производства серы увеличился.

В 2000–2001 гг. в ОАО «Газпром» прошла централизация управления и активов. Вся собственность на нефтепродукты и на конденсат ООО «Газпром добыча Астрахань» перешла к ОАО «Газпром», и только в 2008 г. в собственность «Газпрома» перешла сера. С этого момента все контракты с зарубежными покупателями серы заключает «Газпром экспорт», а внутренние продажи осуществляет «Газпром сера». Цены на серу были запредельными (см. рис. 1), но сразу после пиковых цен из-за кризиса серу никто не покупал в течение полугода. На складах



Рис. 2. Страны-потребители российской серы в 2010 г. (источник — «Газпром-экспорт»)

стали скапливаться большие запасы (рис. 4). Затем ситуация на рынках начала изменяться, спрос опять восстановился. В 2009 г. объем производства серы на Астраханском ГПЗ составил порядка 4 млн т.

В 2010 г. ООО «Газпром добыча Астрахань» поставило рекорд по отгрузке серы: 5,8 млн т было отправлено покупателям железнодорожным и водным транспортом. Впервые за тридцатилетнюю историю своего существования предприятию удалось добиться такого значительного результата. Ежесуточно с отгрузочных площадок АГПЗ отправляли до четырех железнодорожных маршрутов с твердой серой и маршрут с жидкой. Для доставки серы на причал Бузанпорт (с последующей отправкой продукции водным транспортом) было задействовано свыше 50 единиц большегрузных автомобилей. В 2011 г. цены на серу продолжали расти.

ООО «Газпром добыча Оренбург»

Оренбургское газоконденсатное месторождение было открыто в 1966 г., по начальным разведанным запасам природного газа (1,8 трлн м³) оно было крупнейшим в Европе. Начало разработки месторождения открыло новую страницу в развитии экономики всей области. В начале 1980-х гг. коллектив объединения «Оренбурггазпром» (в настоящее время ООО «Газпром добыча Оренбург») начал освоение Карачаганакского газоконденсатного месторождения, расположенного в Казахстане. От Карачаганакского месторождения к Оренбургскому ГПЗ было проложено два газопровода и три конденсатопровода. Оренбургский ГПЗ в настоящее время недостаточно загружен ввиду снижающейся добычи газа.

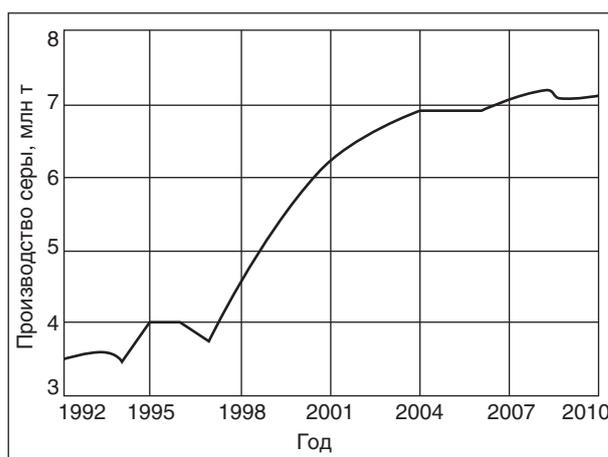


Рис. 3. Динамика изменения производства серы в России в 1992–2010 гг. (источник — USGS)

В 2009 г. объем производства серы на Оренбургском ГПЗ составил около 1,1 млн т. В некризисные годы объем производства серы на Оренбургском и Астраханском ГПЗ составляет примерно 6 млн т, из которых 2/3 направляется на экспорт.

За 30 лет Оренбургский ГПЗ накопил огромный опыт в процессах получения элементной серы из сероводородсодержащего сырья. На заводе производились опытно-промышленные испытания катализаторов, систем оптимизации процесса, реконструировались печи, испытывались отечественные катализаторы на установках Клауса и Sulfreen.

Экология и мировой рынок серы

Мировой рынок серы можно разделить на два сектора по способу производства серы: специализированный и «побочный». Специализированный сектор ориентируется исключительно на добычу серы или пиритов на месторождениях данного сырья. Этот сектор составляет около 10,5% от всего объема общемирового производства серы.

Большая часть серных самородных руд сосредоточена в Ираке (примерно 335 млн т), США (200 млн т), Чили (100 млн т) и Мексике (100 млн т). Крупные месторождения серных руд расположены в Польше, Украине, России, Туркмении. В Японии имеются значительные запасы серы вулканического происхождения.

Из пирита (колчедана) главным образом производят серную кислоту. Колчедан как источник серы, в основном, утратил свое значение во многих странах, за исключением Китая, на который приходится около 80% мирового объема добываемых колчеданов.

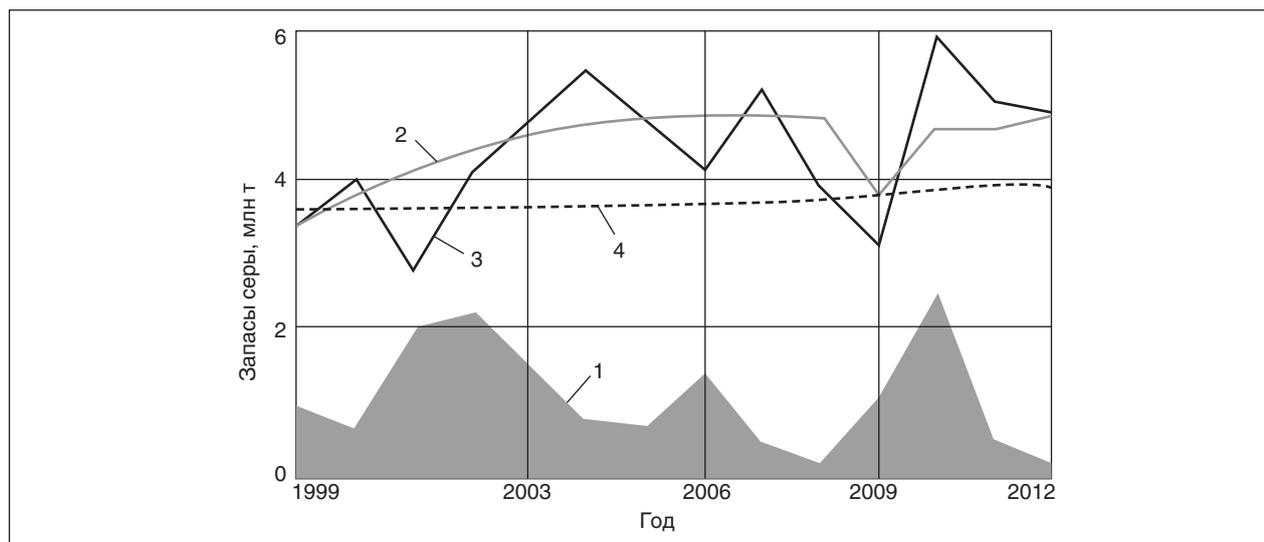


Рис. 4. Увеличение количества запасов серы на Астраханском ГПЗ из-за снижения спроса: 1 — остатки на складах (на начало года); 2 — производство; 3 — продажи; 4 — мощности по хранению (источники — «Газпром экспорт», СПАРК-Интерфакс)

Количество элементарной серы, получаемой из другого минерального сырья, составляет незначительную долю в общем объеме производства. Это прежде всего битуминозные пески и глинистые нефтяные сланцы Канады, которые содержат более 2 млрд т серы.

В «побочном» секторе сера или серная кислота вырабатываются в качестве побочных продуктов переработки нефти, природного газа, других ресурсов, причем объем вырабатываемой серы зависит не от объемов ее потребления, а от объемов очищаемого от серы сырья. Из 25 стран, которые производят более 500 тыс. т серы в год, 18 получают серу в качестве побочного продукта при переработке сернистого сырья, необходимость очистки которого от соединений серы обусловлена экологическими требованиями.

Производство серы из нефти сосредоточено в США, Японии и странах Западной Европы. Однако их доля в последнее время быстро сокращается в связи с увеличением объема производства серы на Ближнем Востоке (Кувейт, Саудовская Аравия), в Латинской Америке (Мексика, Венесуэла) и в Азии (Китай, Индия, Республика Корея, Тайвань).

В 2000–2008 гг. мировое производство серы постоянно росло — с 59,3 млн т в 2000 г. до 69,6 млн т в 2008 г. В 2009 г. мировое производство сократилось до 67,9 млн т, а в 2010 г. составило 68 млн т.

К числу наиболее крупных производителей серы относятся США, Китай, Канада, Россия, а также Германия, Япония, Саудовская Аравия,

Казахстан. На долю этих стран в 2010 г. пришлось 66,3% мирового объема производства серы (табл. 1). Структура мирового производства серы за последние 7 лет изменилась. Так, доля США уменьшилась с 15,7% в 2004 г. до 14,6% в 2010 г., Канады — с 13,8% до 10,3%. В то же время, постепенно растет доля Китая (с 10,3% в 2004 г. до 13,8% в 2010 г.), Саудовской Аравии (с 3,5% до 4,7%).

Качественная структура производства серы также постепенно меняется: добыча природной серы сокращается, объемы «побочной» серы и серной кислоты увеличиваются. В настоящее время около 98% элементарной серы производится на газо- и нефтеперерабатывающих заводах при очистке углеводородного сырья. Основная при-

Табл. 1. Страны — крупнейшие производители серы

Страны	Объем производства серы в 2010 г., млн т
США	9,9
Китай	9,4
Россия	7,1
Канада	7,0
Германия	3,8
Япония	3,4
Саудовская Аравия	3,2
Казахстан	2,0
ОАЭ	2,0
Мексика	1,7
Суммарное мировое производство	68,0

Источник — USGS.

чина — ужесточение нормативов по выбросам соединений серы (главным образом диоксида серы) в атмосферу, прежде всего в США, странах ЕС и Японии.

В последнее десятилетие возрастающие объемы добычи сернистого углеводородного сырья и более глубокая очистка от серы продуктов его переработки приводят к накоплению мировых запасов серы на складах. Основные запасы серы сосредоточены, главным образом, в семи странах — Канаде, США, Франции, Казахстане, Иране и Ираке. Последний, однако, выпал из числа крупных экспортеров из-за политических событий. При этом объемы не востребованной серы в отдельные годы достигали 20–21 млн т. Самые большие хранилища серы расположены в Канаде и Казахстане.

Вместе с тем, на протяжении последнего десятилетия сера пользовалась спросом, в основном благодаря взлету экономики в Китае (около 20% мирового потребления), а также в странах — крупных производителях удобрений: США (свыше 25% мирового объема потребления), странах СНГ и Балтии (9%), Марокко (8%), Индии (7%) Тунисе и Бразилии (по 5%). Увеличили закупки серы и страны Ближнего Востока — Израиль и Иордания.

Мировой рынок серы можно разделить на регионы с избыточным предложением и дефицитом. К числу производителей относятся Северная Америка, Ближний Восток, страны СНГ и Балтии, Западная и Центральная Европа, обладающие излишками серы. Потребителями являются Африка, Азия, Латинская Америка и Океания, испытывающие дефицит серы, что обусловлено большим объемом производства удобрений, а в некоторых странах Азии — еще и возрастанием потребления серы в металлургической, резинотехнической и химической и отраслях.

Рост спроса на серу в странах-потребителях способствовал тому, что, несмотря на значительные мировые запасы данного продукта, производители серы в 2007–2008 гг. увеличивали цены. Так, с мая 2007 г. по май 2008 г. средняя цена на серу увеличилась с 50–60 долл./т до 700–800 долл./т (в зависимости от рынка сбыта). Причиной такого скачка цен стал резко возросший спрос на серу в Китае и Индии и исключительно высокие цены на фосфатные удобрения. Это вызвано также проблемами, возникшими в тот период в западной Канаде, в числе которых оползни и забастовка на железной дороге.

Обвал крупнейших мировых рынков в связи с мировым финансовым кризисом повлек за собой сокращение потребления минеральных удобрений, что привело к снижению спроса на серу и серную кислоту. В декабре 2008 г. цена на серу опустилась до прежнего уровня в 50–60 долл./т.

В 2009 г. наблюдалось очередное снижение цены, и в конце года цена на серу не превышала 10 долл./т. В начале 2010 г. на мировом рынке серы наметилась тенденция подорожания в связи с ростом спроса на фосфатные удобрения. В марте–апреле 2010 г. сера стоила в среднем 130–190 долл./т, с мая 2010 г. цены стали снижаться, к концу 2010 г. средняя цена не превышала 100 долл./т. В начале 2011 г. (январь–март) мировые цены на серу находились в диапазоне 160–220 долл./т.

С появлением новых областей применения, например в производстве дорожно-строительных материалов, для серы характерна тенденция сокращения доли ее использования в производстве серной кислоты и минеральных удобрений. Однако потенциал спроса в сельском хозяйстве по-прежнему сохраняется, что вызвано истощением почв, дефицитом в них питательных элементов.

Глобальная торговля серой в 2009 г. уменьшилась до 20 млн т с 25 млн т в 2008 г., а в 2010 г. составила 22 млн т. Тем не менее, в 2009 и 2010 гг. средние цены на серу оставались на уровне выше среднего (*табл. 2 и 3*). Среди крупнейших мировых экспортеров серы в 2008 и 2009 гг. наиболее низкие цены были предложены Казахстаном.

Цена на серу в будущем будет зависеть в первую очередь от общего состояния мировой экономики и, в частности, от рынка минеральных удобрений. Пока он стабилен. Кроме того, большое влияние на цены окажет разработка нефтяных и газовых месторождений со значительным содержанием серы, в соответствии с чем аналитики прогнозируют значительное превышение предложения серы над спросом. На цены повлияет, например, увеличение газодобычи, а следовательно, выработки серы в Китае, который ранее являлся главным импортером серы. Это не будет способствовать росту мировых цен на серу.

В связи с введением новых стандартов качества моторных топлив в ближайшие годы переход к выпуску нефтепродуктов с меньшим содержанием серы повлечет увеличение производства серы на нефтеперерабатывающих

Табл. 2. Среднегодовые импортные цены на серу (долл. США/т без НДС)

Страны	Год					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Китай	96,0	80,6	132,5	458,0	118,2	147,8
Марокко	80,0	59,7	88,2	502,8	130,2	162,8
Бразилия	65,8	34,5	82,9	481,3	130,5	163,2
Индия	98,5	81,0	152,9	579,8	155,2	194,0
Южная Африка	68,2	63,9	86,8	522,0	140,8	176,0
Израиль	122,2	122,2	67,0	593,6	160,2	200,3
Бельгия	60,3	62,5	68,0	371,7	98,3	122,9
Австралия	61,6	59,4	52,3	211,7	62,0	77,6
Мексика	118,7	95,4	188,1	439,0	117,4	146,7

Табл. 3. Среднегодовые экспортные цены на серу (долл. США/т без НДС)

Страны или регионы	Год					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Канада	65,28	57,16	80,06	364,91	70,44	98,61
Казахстан	31,57	25,04	29,74	190,12	40,12	56,17
Россия	19,38	18,41	28,54	417,64	80,00	112,00
Саудовская Аравия	69,31	66,26	94,54	450,30	85,56	119,78
США	84,37	68,18	95,87	460,95	87,58	122,61
Япония	50,05	48,33	62,14	228,00	43,32	60,65
Нидерланды	51,77	47,97	57,97	204,98	38,95	54,52
Евросоюз	63,11	70,72	83,49	342,36	65,05	91,07

предприятиях. В целом прогнозируется опережающий рост производства серы по сравнению с ее потреблением в традиционных отраслях. Основное количество серы в настоящее время в мире производят в процессах очистки серосодержащего углеводородного сырья (рис. 5).

Существование диспропорции в производстве и потреблении серы прогнозируется, по крайней мере, до 2015–2020 гг. Тем не менее, специалисты прогнозируют достаточно высокие

цены на серу в ближайшие годы. Это объясняется несколькими причинами.

Во-первых, Канада — один из крупнейших производителей серы в мире — начинает резко сокращать объемы продаж. С одной стороны, канадские месторождения газа входят в период снижающейся добычи. С другой стороны, Канада достаточно большой объем газа всегда экспортировала в США, которые сейчас сокращают потребление импортного газа, увеличивая добычу

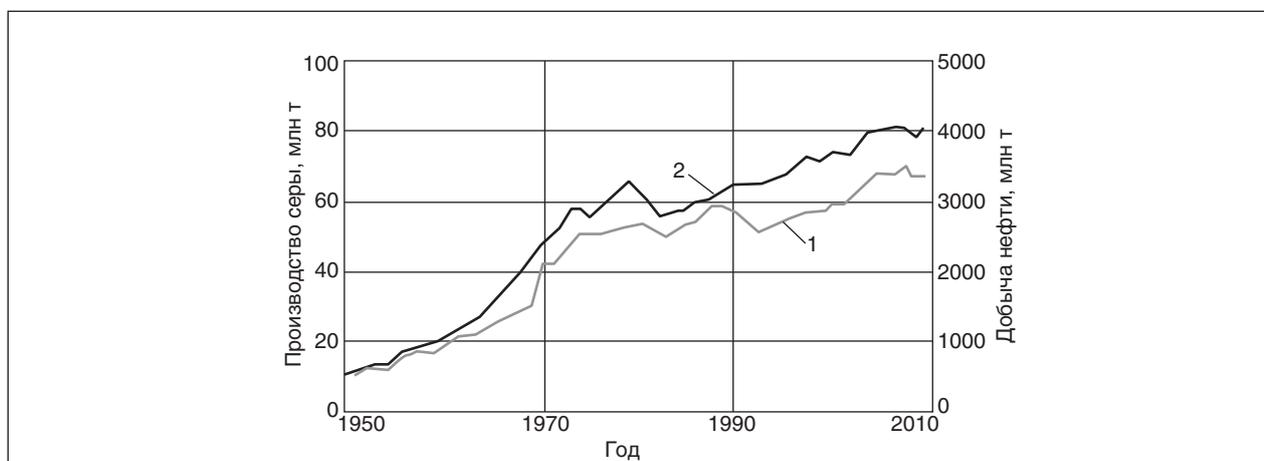


Рис. 5. Корреляция мировых объемов производства серы и добычи нефти: 1 — объем производства серы; 2 — объем добычи нефти (источники — «Эксперт» на основе данных USGS, BP)

сланцевого газа. А серу в Канаде получают при очистке газа, экспортируемого в США.

Во-вторых, ООО «Газпром добыча Астрахань» — один из основных производителей серы, в 2010 г. практически разгрузило свои склады. Соответственно, в 2011–2012 гг. завод не сможет экспортировать такой же объем серы, как в 2010 г.

В-третьих, на рынке серы отразилось и землетрясение в Японии. Эта страна была крупнейшим экспортером серной кислоты, поставляя большие объемы в страны Южной Америки, которые сейчас как раз испытывают нехватку серы для производства фосфорсодержащих удобрений.

Под действием трех этих факторов цены на серу в ближайшее время будут находиться на достаточно высоком уровне.

Однако через несколько лет рынок серы может существенно измениться — в 2015–2016 гг. несколько арабских государств, в первую очередь Катар и ОАЭ, собираются вывести на рынок крупные объемы серы. Сейчас эти две страны производят соответственно 1,8 и 2 млн т серы в год, а через четыре года планируют выпускать по 6 млн т. Таким образом, объем производства только за счет этих двух стран вырастет почти на 8 млн т.

Арабские страны станут вытеснять российскую серу из Северной Африки, поскольку, наряду с Индией, это для них ближайшие рынки. С учетом транспортных расходов российская сера проигрывает в цене, и через несколько лет североафриканские страны постепенно станут переходить на закупки серы из арабских стран. Новых же потребителей российской серы у «Газпром экспорт» пока нет. Для преодоления этой ситуации необходимо увеличивать внутреннее потребление серы, главным образом за счет развития альтернативных направлений использования серы, в первую очередь, производства многотоннажной продукции — новых дорожно-строительных материалов. В этой области активно ведутся работы в Японии, Канаде, а Россия пока отстает.

Возрастание объемов производства серы за счет новых производителей и ужесточения требований к качеству продуктов переработки углеводородного сырья приведет к увеличению запасов нереализованной серы. Вследствие этого ожидается снижение мировых цен на серу. Динамика мирового производства, потребления

и цен на серу имеет циклический характер, периоды циклов в международной торговле серой определяются сочетанием различных факторов: экономических, социально-политических, погодно-климатических. Просматривается тенденция снижения амплитуды колебаний цен и сокращения продолжительности циклов, что связано с увеличением количества поставщиков серы и ускорением реакции рынка на приведение соотношения спроса и предложения в равновесие.

Таким образом, анализ тенденций и факторов, влияющих на объемы производства и потребления серы, ее цену, свидетельствует о влиянии на мировой рынок серы многочисленных факторов. Спрос на рынке серы со стороны российских потребителей и импортеров, анализ факторов, влияющих на динамику производства серы, позволяют сформировать баланс спроса и предложения для прогноза развития рынка серы в России. Россия может потерять свой рынок сбыта серы — Тунис, Марокко, Китай, что приведет к увеличению объема запасов нереализованной серы и снижению мировых цен на серу. При подготовке к этой неблагоприятной ситуации действовать, скорее всего, необходимо в следующих направлениях:

- снижения себестоимости серы благодаря улучшению технологии процесса Клауса, включая доочистку отходящих газов, внедрение эффективных катализаторов, повышающих выход серы;
- улучшения качества серы за счет совершенствования процесса дегазации и увеличения объема производства востребованных гранулированной и жидкой серы, уменьшения выработки комовой серы;
- увеличения потребления серы на внутреннем рынке за счет использования ее в производстве новых многотоннажных видов строительных материалов (сероасфальт, серобетон), а также повышения объема производства минеральных удобрений.

Для успешного участия России в международной торговле серой необходимо также сохранить поставки текущим импортерам и освоить новые рынки, на которые можно переключить грузопотоки, освоить выпуск и экспорт новых товаров на основе серы, что обеспечит значительное превышение рыночных цен на экспортируемую продукцию по сравнению с ценами на серу как на сырье.

A. L. Lapidus, I. A. Golubevae

Russian Sulphur Producers, Ecology and Sulphur International Market

Data on the largest Russian sulphur producers are given. Sulphur international market in the past decades is analyzed. The influence of different factors on the balance of sulphur production and consumption and also on price formation is investigated. The analysis involved gave an option of forming the balance of sulphur production and consumption for the purpose of prediction of sulphur markets development in Russia. The analysis also enabled to form the list of problems, which should be solved for the aim of enlargement Russia participation in international sulphur trade.

Key words: sulphur, market, price, gas processing plant, environmental requirements, Gazprom, Astrakhan gas processing plant, Orenburg gas processing plant, sulphuric acid, fertilizer.

Вниманию специалистов!

Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин

ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

В книге обобщены сведения о методах и технологиях углубления переработки нефти. Описаны способы более полного извлечения топливных продуктов при прямой перегонке нефти, подбора оптимального состава топливных фракций, использования деструктивных процессов переработки нефтяных остатков.

Изложены научные основы и технологии каталитических и термических процессов, в частности направленных на улучшение экологических характеристик получаемых продуктов.

Книга интересна сотрудникам научно-исследовательских и проектных институтов, нефтеперерабатывающих заводов, студентам вузов нефтегазового профиля.

М.: Издательство «Техника», 2002. — 334 с.

Г. Д. Чукин

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАСЩЕПЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ

Предложено новое определение понятий «кислота» и «основание». Обсуждается единая природа неорганических и органических структур. Даны представления о кислотных и основных центрах и их размещении в структуре слоистых металлосиликатов, алюмосиликатных, цеолитных и алюмоникельмолибденовых гетерогенных катализаторах. С физико-химических позиций рассмотрены механизмы реакций расщепления углеводородов в реакциях крекинга, гидрокрекинга, гидрирования и гидрообессеривания, минуя карбоний-ионный механизм.

М.: Издательство «Техника», 2008. — 112 с.

Е. А. Мазлова, Л. Б. Шагарова

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

Книга посвящена экологически обоснованным решениям при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса с использованием специальной методики комплексной оценки.

Предназначена для работников научных и проектных институтов, сотрудников органов государственной экспертизы, контроля, аудита, студентов вузов.

М.: Издательство «Техника», 2001. — 64 с.

Заполните прилагаемый купон и отправьте его, пожалуйста, по:
факсу ...(499) 135 8875

e-mail ...tps@list.ru

На основании указанных Вами данных, после получения купона
Вам будет выставлен платежный документ (счет или квитанция)

Журнал "Промышленный сервис"

выходит 4 раза в год

Отметьте выбранный Вами номер выпуска

Год издания 2013

1	2	3	4

Почтовый адрес доставки корреспонденции и получатель

Фамилия

Имя

Отчество

Почтовый индекс

Область/край

Город

Улица

Дом Корп. Кв.

Контакты

Телефон Дата

e-mail

Дополнительная информация для юридических лиц

ИНН

КПП

Полное наименование организации

Почтовый адрес доставки корреспонденции и получатель

Город

Улица

Дом Корп.