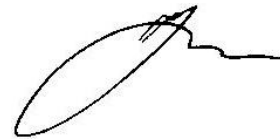


На правах рукописи



Ильина Марина Николаевна

**ПОДГОТОВКА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА К СЖИГАНИЮ В  
УСЛОВИЯХ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВ**

05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск - 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО  
«Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент  
Заворин Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
Скуратов Александр Петрович  
кандидат технических наук  
Привалихин Геннадий Константинович

Ведущая организация: НП «Региональный центр управления  
энергосбережением» (г. Томск)

Защита состоится « 02 » декабря 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.07 при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660074 г. Красноярск, ул. акад. Киренского, 26, ауд. Ж-115.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: г. Красноярск, ул. акад. Киренского 26, Г274.

Автореферат разослан « 30 » октября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.т.н., доцент



Е. А. Бойко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** При использовании попутного нефтяного газа (ПНГ) в качестве топлива энергопроизводители сталкиваются с отсутствием отработанной технологии его подготовки для сжигания. Предгорелочную подготовку ПНГ необходимо предусматривать для предупреждения таких негативных моментов как образование гидратных и жидкостных пробок в газопроводах, периодических заливов и закоксования газогорелочных устройств, которые могут инициировать нестабильную работу, взрывы энергетического оборудования. Для устойчивой бесперебойной работы этих установок важен состав газа, в частности, отсутствие влаги, жидких углеводородов и агрессивных примесей. Так, содержание в ПНГ углеводородов пентанового и выше ряда за счет их конденсации на поверхностях нагрева с последующей битуминизацией приводит к увеличению количества и продолжительности ремонтных работ. Сжигание ПНГ, содержащего значительное количество тяжелых углеводородных компонентов, в промышленных условиях на простейших газогорелочных устройствах сопровождается кроме того неполным сгоранием, снижением КПД энергетической установки (ЭУ) и значительным выбросом загрязняющих веществ в атмосферу.

Поэтому совершенствование способов и средств подготовки ПНГ к сжиганию, направленных на повышение надежности, экономичности и экологических показателей автономных ЭУ, следует рассматривать как составную часть важной задачи разработки ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Актуальность темы диссертации определяется ее соответствием основным направлениям научной деятельности Томского политехнического университета (направление «Разработки методов и средств повышения надежности и эффективности эксплуатации энергетических объектов») и находится в сфере приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ («Энергетика и энергосбережение»).

**Целью диссертационного исследования** разработка методов и эффективных технических решений по подготовке ПНГ к сжиганию в ЭУ малой мощности для энергообеспечения инфраструктуры нефтепромыслов.

Исходя из указанной цели, определены следующие **задачи исследований**:

- 1) изучить специфику физико-химических и теплотехнических свойств ПНГ применительно к наиболее представительным нефтяным месторождениям Томской области;
- 2) обосновать методы подготовки к сжиганию, совместимые с условиями эксплуатации ЭУ вблизи или непосредственно на территории нефтегазодобычи;
- 3) разработать устройства, реализующие подготовку ПНГ к сжиганию с учетом специфики газа как топлива;
- 4) оценить эффективность использования разработанных устройств в условиях эксплуатируемого нефтяного месторождения.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- получены физико-химические и теплотехнические характеристики ПНГ Соболиного, Первомайского и Лугинецкого нефтяных месторождений Томской области в ходе их промышленной разработки;
- впервые получены экспериментальные данные по оценке эффективности адсорбционной очистки при испытании предложенного устройства, подготавливающего ПНГ к сжиганию, с учетом специфики газа как топлива непосредственно на месте добычи;
- определены изолинии адсорбции для компонентов ПНГ, зависимости для максимального значения числа регенераций цеолита и перепада давления на адсорбционном устройстве за счет фильтрации;
- на уровне изобретения разработан способ очистки ПНГ от тяжелых углеводородов при использовании низких температур;

**Достоверность результатов** обеспечивается сочетанием разноплановых методов исследования, включая натурные эксперименты, сопровождаемые газожидкостной хроматографией, и современные численные

методы на базе апробированных моделей, применением поверенных средств измерений, статистической обработкой экспериментальных данных и анализом погрешностей эксперимента, удовлетворительной сходимостью результатов экспериментальных исследований и расчетных значений соответствующих параметров технологии предгорелочной подготовки ПНГ.

**Практическая значимость** диссертационной работы определяется тем, что:

- полученные результаты исследований состава и свойств ПНГ Лугинецкого, Первомайского и Соболиного нефтяных месторождений пригодны для использования в расчетах технологических параметров устройств адсорбционной очистки в системах топливоподачи;
- результаты эксперимента по использованию адсорбционного устройства с цеолитовым фильтром в процессе подготовки ПНГ к сжиганию позволяют поддерживать нормальный режим горения при эксплуатации ЭУ;
- предложенные запатентованные варианты газовых горелок в сочетании с адсорбционным устройством позволяют подобрать оптимальную конструктивную схему для подготовки ПНГ;
- отдельные рекомендации, технические решения и адсорбционные эффекты подтверждены в натуральных условиях на существующей ЭУ, эксплуатируемой на территории Соболиного нефтяного месторождения Томской области;
- результаты выполненных исследований используются ООО «Южно-Охтеурское» (г. Стрежевой) в проектных работах по энергообеспечению нефтепромыслового производства на Южно-Охтеурском месторождении Томской области;
- материалы выполненных исследований включены в лекционный курс для магистрантов по направлению «Теплоэнергетика» в Томском политехническом университете.

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались на седьмой, восьмой, девятой Всероссийских научно-технических конференциях

«Энергетика: экология, надежность, безопасность» (г. Томск, 2001-2003 г.г.); на XXX Юбилейной Неделе науки СПбГТУ (г. Санкт-Петербург, 2002 г.); на IX и XI Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2003 и 2005 г.г.); на Восьмом Международном симпозиуме имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященном 400-летию города Томска (г. Томск, 2004 г.); на Международной конференции «Сопряженные задачи механики, информатики и экологии» (г. Томск, 2004 г.); на Региональной научно-практической конференции «Теплофизические основы энергетических технологий» (г. Томск, 2009 г.). По результатам исследовательских работ зарегистрированы 4 изобретения.

**Личное участие автора** является определяющим на всех этапах работы: поставлена задача исследования, выполнены анализ и обобщение работ по основополагающим принципам подготовки газа к сжиганию и свойствам цеолитов, предложена методика проведения экспериментов. Автор является их исполнителем и непосредственным участником экспериментов на натурном объекте. Единолично выполнена обработка экспериментальных результатов, проведен анализ и сформулированы выводы.

#### **Публикации по работе**

По результатам выполненных исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемом издании из списка ВАК РФ, 4 патента.

#### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (144 наименования) и приложений. Работа содержит 162 страницы, 18 таблиц и 29 рисунков.

#### **На защиту выносятся:**

- результаты исследования физико-химических свойств и компонентного состава ПНГ некоторых месторождений Томской области как топлива в ходе их промышленной разработки на период проведения эксперимента;

- результаты экспериментальных исследований по применению адсорбционного устройства с цеолитовым фильтром для когенерационной установки на Соболином месторождении Томской области;
- результаты численного исследования процесса адсорбции компонентов ПНГ в фильтрующем устройстве;
- рекомендации по использованию исследованных адсорбционных свойств шабазита в качестве адсорбционного материала при подготовке ПНГ к сжиганию в ЭУ;

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

*Во введении* обосновывается актуальность исследований по решению проблемы утилизации ПНГ непосредственно на месте добычи путем использования его в качестве топлива для ЭУ и определена цель работы.

*В первой главе* приведены сведения о нефтяных месторождениях Томской области. Содержание растворенного в нефти газа изменяется от 20 м<sup>3</sup>/т (Гуларинское, Крапивинское и др. месторождения) до нескольких сотен м<sup>3</sup>/т (Казанское, Лугинецкое и др. месторождения). Недостатки системы сбора и транспортировки ПНГ с месторождений ориентируют его использование непосредственно на месте добычи, в том числе как топлива для ЭУ.

Рассмотрены эксплуатационные возможности ЭУ нефтепромыслов исходя из структуры топливного баланса области. Анализируя их, можно выделить следующие направления использования ПНГ:

- для производства электроэнергии с комбинированной выработкой тепла посредством передвижных и стационарных газопоршневых и газогенераторных агрегатов;
- для подогрева водонефтяных и газонефтяных смесей (в соответствии с технологической необходимостью), воды в трубчатых блочных печах;
- использование в качестве топлива в котлах мощностью до 6,5 МВт для выработки горячей воды промышленного, жилищно-коммунального и

бытового назначения.

Для практического использования выделены вопросы получения опытных данных при испытании отдельного устройства по подготовке ПНГ к сжиганию, разработке рекомендаций и условий для его эффективного использования с целью уменьшения количества вредных выбросов и парниковых газов в продуктах сгорания, увеличения межремонтного периода оборудования – это является главной задачей данной работы.

*Во второй главе* для реализации поставленной задачи по подготовке ПНГ к сжиганию из всего спектра существующих методов подробно рассматривается адсорбционный метод разделения парогазовых смесей на компоненты с выделением фракций.

Существующие способы промышленного масштаба для очистки газов от отдельных составляющих можно разделить на три основные группы:

- 1) абсорбция жидкостями (так называемая мокрая очистка);
- 2) адсорбция твердыми поглотителями;
- 3) каталитическая очистка.

По сравнению с другими технологиями адсорбционные процессы обеспечивают значительно более высокую степень защиты окружающей среды. Использование адсорбентов для очистки ПНГ является приоритетным направлением, поскольку имеет массу преимуществ. К ним относятся возможность очистки от влаги и тяжелых углеводородов, легкость регенерации адсорбента и, как вариант, возвращение выделившихся веществ в установку, тем самым воплощая принцип безотходной технологии. Есть основание констатировать, что адсорбционный метод, взятый за основу технологии подготовки ПНГ в соответствии с задачами настоящей работы, позволит добиться требуемых результатов в условиях нефтяных и нефтегазовых месторождений.

В настоящее время известно свыше 30 природных цеолитов, но только некоторые из них (шабазит, маццит, морденит, оффретит), встречающиеся в основном в осадочных породах, могут иметь промышленное значение. Термоустойчивость цеолитов — важная характеристика, позволяющая судить



о возможностях их использования в различных технологических процессах, поскольку особенности строения алюмокремнекислородного каркаса и его сохранение под влиянием внешних факторов определяют уникальные свойства цеолитов. Стойкость кристаллической решетки под действием температур в значительной степени увеличивает эффективность их применения в качестве адсорбентов. Шабазит, морденит имеют широкие поры, в которые после дегидратации могут проникать молекулы  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  и  $C_2H_4$  величиной 2.4, 3.4, 3.7, 2.7, 3.6, 3.8 и 4.07 Å соответственно. Применение в качестве адсорбента природного цеолита является оправданным так же и благодаря повышенной прочности и устойчивости к капельной влаге, что, естественно, увеличивает срок его службы.

Среди наиболее перспективных для изучения и проведения экспериментальной части цеолитов в данной работе выбран шабазит.

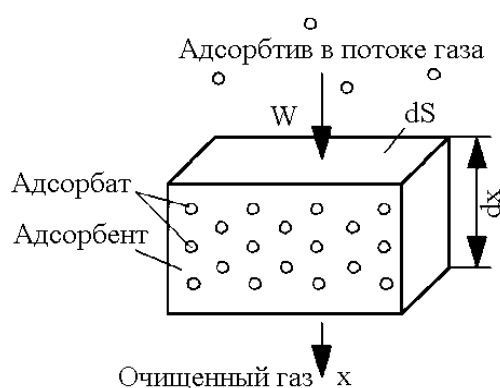


Рис. 1. Схема физической модели процесса адсорбции

Для составления уравнения материального баланса динамической адсорбции на шабазите принято согласно схеме физической модели процесса (рис. 1), что  $x$ -координата соответствует направлению перемещения потока газа со скоростью  $\omega$  через элемент пористого тела с площадью  $dS$  и толщиной  $dx$ . Скорость потока при неизотермической адсорбции даже с учетом допущений не является постоянной величиной, как и концентрации примесей до и после фильтра-адсорбера –  $a$  и  $c$  соответственно, и есть функция координаты и времени.

Количество вещества в выделенном элементарном объеме за время  $d\tau$  составляет:  $\omega c dS d\tau$ . Количество вышедшего вещества равно:

$\omega c dS d\tau + d(\omega c dS d\tau)$ . Изменение количества вещества в элементарном объеме равно:

$$-\frac{\partial(\omega c dS d\tau) dx}{\partial x} = \frac{\partial \omega c}{\partial x} dS dx d\tau \quad (1)$$

Изменение количества вещества в элементарном объеме вызовет изменение концентрации вещества в адсорбенте и подвижной фазе. В адсорбенте оно будет равно  $(\partial a / \partial \tau) d\tau dx dS$ , в потоке –  $(\partial c / \partial \tau) d\tau dx dS$ .

В итоге общий материальный баланс в элементарном слое можно записать как

$$-\frac{\partial(\omega c)}{\partial x} dS dx d\tau = \frac{\partial a}{\partial \tau} dS dx d\tau + \frac{\partial c}{\partial \tau} dS dx d\tau$$

или

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} + \frac{\partial c}{\partial \tau} + \frac{\partial(\omega c)}{\partial x} = 0. \quad (2)$$

Обладая достаточной информацией о наличии свободного объема в адсорбенте, качественном и количественном составе ПНГ, можно сделать предположение о теоретической скорости насыщения адсорбента адсорбатом. Однако, при теоретическом расчете невозможно принять во внимание все фактические особенности протекания процесса адсорбции, что представляет большие трудности и при составлении его математического описания. Приходится констатировать, что достоверными могут быть лишь данные, полученные непосредственно в ходе эксперимента.

**В третьей главе** приведены данные экспериментальной и численной оценки эффективности работы цеолитового фильтра как предгорелочного адсорбера. В качестве экспериментальной принята газопоршневая когенерационная энергоустановка *CATERPILLAR*, задействованная на территории Соболиного месторождения Томской области. Методика исследования эффективности адсорбционного устройства заключается в определении эксплуатационного ресурса цеолитового фильтра в зависимости от количества регенераций и времени работы в заданных условиях.

Анализ компонентного состава ПНГ до и после установленного фильтрующего устройства произведен методом газоадсорбционной

хроматографии. По компонентному составу газа рассчитана его плотность, молекулярная масса, теплота сгорания.

Таблица 1. Состав ПНГ до и после адсорбционного устройства

Определяемый компонент, свойства	Результат анализа до начала эксперимента	Результат анализа на различных этапах после начала эксперимента			
		225 ч (9-е сутки)	384 ч (16-е сутки)	662 ч (28-е сутки)	932 ч (39-е сутки)
Углекислый газ, об. %	0,032	0,037	0,035	0,035	0,036
Азот, об. %	3,485	3,962	3,960	3,961	3,962
Метан, об. %	66,104	74,749	74,652	74,737	74,740
Этан, об. %	3,567	4,039	4,021	4,037	4,038
Пропан, об. %	14,324	14,309	14,307	14,315	14,308
Изобутан, об. %	3,040	0,982	0,988	0,986	0,981
Н-бутан, об. %	6,782	1,745	1,826	1,755	1,757
Изопентан, об. %	1,096	0,098	0,107	0,096	0,097
Н-пентан, об. %	1,141	0,059	0,073	0,055	0,054
Сумма гексанов, об. %	0,388	0,011	0,014	0,012	0,013
Сумма гептанов, об. %	0,041	0,009	0,017	0,011	0,014
Плотность абсолютная при 20 °С и 101,325 кПа, кг/м <sup>3</sup>	1,111	0,188	0,193	0,203	0,205
Плотность относительная	0,922	0,124	0,247	0,264	0,273
Низшая теплота сгорания при 20 °С и 101,325 кПа, кДж/м <sup>3</sup>	55860	46911	47987	47899	47897
Содержание сероводорода, г/м <sup>3</sup>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Содержание воды, г/м <sup>3</sup>	1,3	0,1	0,1	0,1	0,1

Регенерация фильтров осуществлялась путем продувки их горячим воздухом с температурой до 400 °С.

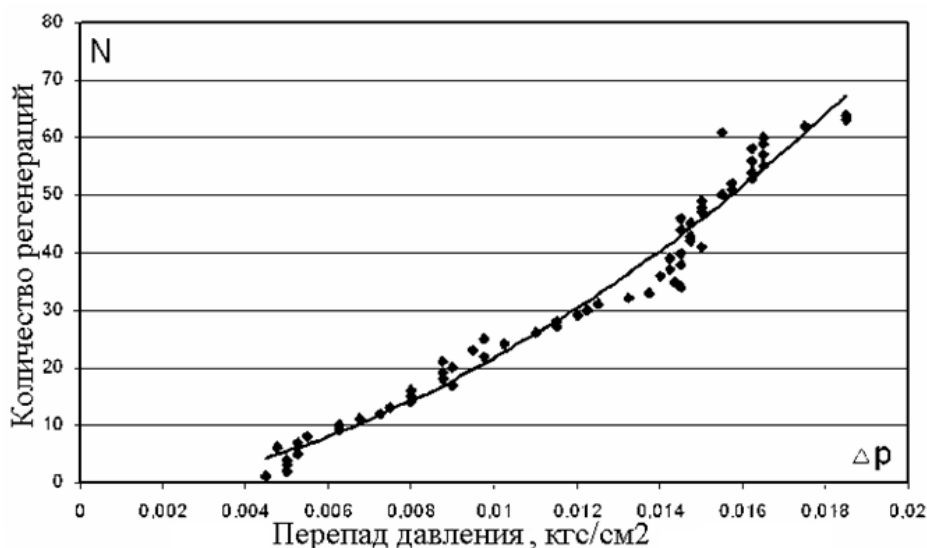


Рис. 2. Взаимосвязь перепада давления за счет фильтрации с количеством регенераций фильтрующего элемента

При анализе изменений в составе ПНГ за исходные данные приняты: температура, плотность, температура точки росы осушенного газа, а также состав, по которому определяется молекулярная масса. Характеристика изменений свойств и состава газа приведена в табл. 1, а изменения

технологических параметров предгорелочной фильтрации показаны на рис. 2 и 3.

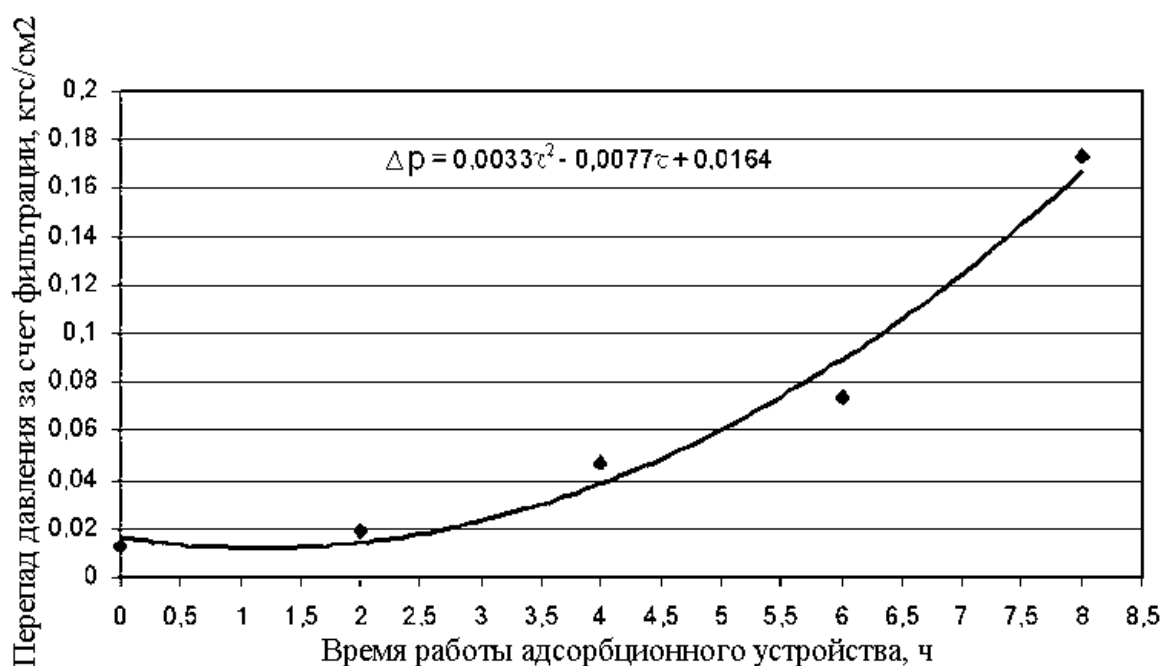


Рис. 3. Динамика изменения давления до и после адсорбционного устройства в зависимости от времени работы

При обработке результатов в качестве аппроксимирующей зависимости выбрана квадратичная. Для решения систем линейных уравнений использован метод Гаусса. Найдены коэффициенты корреляции. Обработка экспериментальных данных позволила получить аппроксимирующие зависимости: для максимального значения числа регенераций

$$N = 15657P^2 + 903,94P - 3,033, \quad (3)$$

и перепада давления за счет фильтрации

$$\Delta P = 0,0033\tau^2 - 0,0077\tau + 0,0164 \quad (4)$$

(с достоверностью аппроксимации 0,97 и 0,98 соответственно).

В ходе работы адсорбционного устройства было отмечено, что периодически повторяющийся процесс регенерации негативно влияет на способность поглощать. Поэтому для того, чтобы адсорбер сохранял способность очищать ПНГ до заданных значений, цеолит необходимо обновлять. При соблюдении необходимых мер по контролю за составом очищенного газа и показаниями манометров становится возможным оптимально улучшить процесс сжигания ПНГ в энергоустановке.

Экстраполяция зависимости для более длительного периода позволяет установить, что время работы фильтра без регенерации составит 10,6 часов (рис. 4). Контрольным критерием в данном случае для конкретной ЭУ будет являться допустимое значение перепада давления.



Рис. 4. График для определения максимального перепада давления за счет фильтрации

Для построения адекватной математической модели адсорбции тяжелых углеводородов из ПНГ использованы уравнения Майклса – Трейбла, Шилова, Ленгмюра, определяющие величину работающего слоя и время защитного действия адсорбента.

Начальные условия для уравнения материального баланса адсорбции имеют вид:

$$a_k^j(x, \tau) = a_{ko}^j(x), p_k^j(x, \tau) = p_{ko}^j(x), 0 < x < L, \tau = 0. \quad (5)$$

Уравнение скорости газового потока по длине слоя при линейной изолинии адсорбции:

$$w(x) = w(0) - \frac{x\varepsilon}{P} \cdot \frac{dP}{d\tau} - \frac{RT}{P} \int_0^x \frac{\partial(a_1 + \dots + a_{N_{kc}})}{\partial \tau} dx_f. \quad (6)$$

где  $a_{k\infty}$  – ёмкость адсорбента по  $k$ -му компоненту,  $\varepsilon$  – пористость слоя адсорбента (свободная доля объема между зернами адсорбента);  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $P$  – давление подаваемого газового

потока;  $p_{k\infty}$  – парциальное давление  $k$ -го компонента;  $\tau$  – время, за которое газ проходит слой адсорбента,  $L$  – длина адсорбера.

На первом этапе численной оценки технологии рассмотрены пространственно-временные распределения компонентов между фазами системы. Представления об удельной поверхности твердых тел неприменимы к микропористым кристаллам шабазита, так как адсорбция на них происходит с заполнением всего объема полостей. Для заданных условий удельная поверхность шабазита определена по официальным справочным материалам.

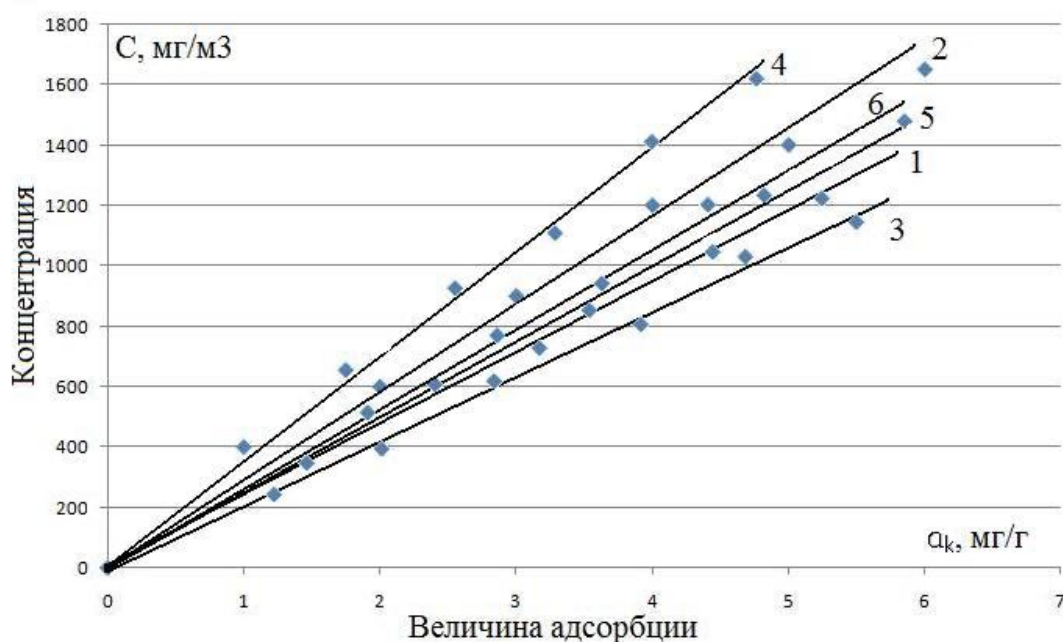


Рис. 5 Изолинии адсорбции при температуре газовой среды 15 °C для компонентов ПНГ: 1 – изобутан, 2 – н-бутан; 3 – изопентан; 4 – н-пентан; 5 – сумма гексанов; 6 – сумма гептанов

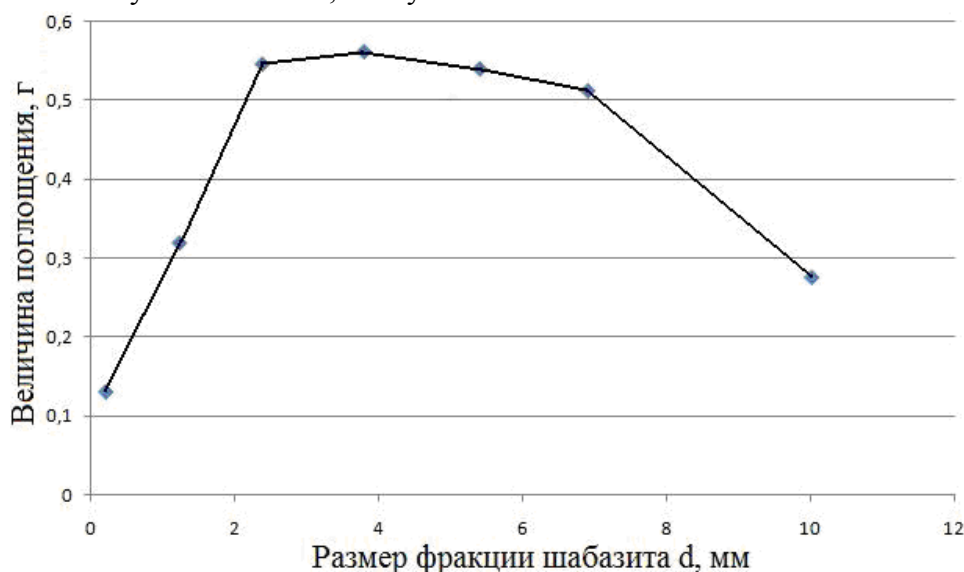


Рис. 6 Зависимость величины удельного поглощения тяжелых углеводородов и влаги от размеров гранулы

На втором этапе определена последовательность вычислительных и логических операций, которые нужно произвести, чтобы найти искомые величины с заданной точностью.

На основании полученных данных стало возможным найти изолинии адсорбции для отдельных составляющих ПНГ, значения которых можно использовать в расчетах технологии по предгорелочной подготовке ПНГ (рис. 5).

В результате вычислений построены зависимости, демонстрирующие параметры процесса адсорбции в заданных условиях. Из рис. 5 видно, что при возрастании концентрации адсорбтива в потоке газа возрастает и величина адсорбции. Немалую роль при этом играет размер фракции цеолита (рис. 6): оптимальное значение величины поглощения адсорбтива соответствует размерам зерна от 2,5 до 7 мм.

Результаты эксперимента подтверждают численное моделирование: расхождение для величины поглощения составляет 5,32%; динамической активности цеолита – 7,15%; изменения влагоемкости – 4,12%.

*Четвертая глава* посвящена рассмотрению вопросов использования цеолитового фильтра для различных конструкций горелочных устройств. Приведенные варианты запатентованных технических и технологических решений, позволяют исключить или существенно снизить поступление тяжелых углеводородов в газогорелочные устройства ЭУ и тем самым обеспечить возможность сжигания ПНГ за счет установки цеолитового фильтра.

Запатентованные газогорелочные устройства водогрейных котлов предназначены для разных компоновок топливных каналов; по газовому тракту на входе в горелку устройства имеют полую металлическую капсулу со сменным цеолитовым наполнителем. Метод очистки ПНГ при использовании эффекта охлаждения заключается в том, что при понижении температуры ПНГ тяжелые углеводороды конденсируются на поверхностях, тем самым делая газ более «легким».

Предложен вариант установки для регенерации (осушки) адсорбента на

основе электромагнитных волн СВЧ генератора. Для реализации принципа безотходной технологии при использовании адсорбционного устройства после регенерации отработавшего адсорбента предложено выделившуюся смесь воды и жидких углеводородов направлять в накопительную емкость, а затем в установку подготовки и сброса воды для поддержания пластового давления в процессе добычи нефти. Для унифицирования процесса расчета габаритных размеров адсорбера составлена компьютерная программа на языке *CLARION*.

При использовании адсорбционного устройства с цеолитовым фильтром для ПНГ Соболиного месторождения предложены следующие рекомендации: размер зерна цеолита должен быть 0,0025 м при насыпной плотности цеолита 800 кг/м<sup>3</sup>; для расхода ПНГ 274 м<sup>3</sup>/ч размеры адсорбционного устройства составят: внутренний диаметр 0,3 м, длина активной части – 0,9 м; максимальное количество регенераций адсорбента – 97 раз; регенерацию отработавшего цеолита осуществлять путем продувки горячим воздухом с температурой +400 °С.

Произведена экологическая оценка сокращения выбросов парниковых газов при использовании разработанных устройств по подготовке ПНГ к сжиганию на Соболином месторождении Томской области. Дано экономическое обоснование природоохранных мероприятий в данных условиях. При определении объема эмиссии парниковых газов при сжигании ПНГ в факелах, котлах и печах использована формула:

$$E = V_{газ} \left( EF_{CO_2} ППП_{CO_2} + EF_{CH_4} ППП_{CH_4} + EF_{N_2O} ППП_{N_2O} \right), \quad (7)$$

где  $E$  – выбросы парниковых газов, тонн  $CO_2$ -экв/год;  $V_{газ}$  – общий объем выработки ПНГ, м<sup>3</sup>/год;  $EF_{CO_2}$ ,  $EF_{CH_4}$ ,  $EF_{N_2O}$  – коэффициенты эмиссии парниковых газов при сжигании газа, принимаемые по данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата;  $ППП_{CO_2}$ ,  $ППП_{CH_4}$ ,  $ППП_{N_2O}$  – значения потенциала глобального потепления для парниковых газов, применяемые при разработке проекта отраслевых нормативов по ПДВ.



С оснащением эксплуатируемых ЭУ адсорбционным устройством с цеолитовым фильтром на месторождении сократится сжигание ПНГ в факелах. Проблема снижения вредных выбросов, образующихся в стационарных системах сжигания, может быть решена путем совершенствования промышленной технологии подготовки газового топлива к сжиганию.

Суммарное валовое снижение выбросов парниковых газов от реализации проекта для всех ЭУ Соболиного месторождения по сравнению с прогнозирующей ситуацией за период 2009–2012 гг составит 131481 тонн  $CO_2$ -экв.

Экономический эффект от внедрения фильтров (табл. 2) определен по формуле:

$$\mathcal{E} = P_{\text{жУВ}} + \Delta Z_{\text{ТО}} + \Delta Z_{\text{КР}}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{жУВ}}$  – стоимость реализованных жидких углеводородов, полученных при регенерации адсорбера,  $\Delta Z_{\text{ТО}}$  – снижение затрат на техническое обслуживание ЭУ и  $\Delta Z_{\text{КР}}$  – снижение затрат на капитальный ремонт ЭУ.

Исходя из паспортных данных газовых электрогенераторных установок, подготовка газа (включая осушение) позволяет увеличить межремонтный период на 15...18 %.

Таблица 2. Оценка годового экономического эффекта по видам работ при внедрении подготовки газа

Общие затраты на ТО, тыс.руб		Эффект от снижения затрат на ТО, тыс.руб	Общие затраты на капитальный ремонт, тыс.руб		Эффект от снижения затрат на капитальный ремонт, тыс.руб
Без предгорелочной подготовки	с подготовкой газа		Без предгорелочной подготовки	с подготовкой газа	
525	449	76	1287	1100	187

В результате установлено, что доход предприятия от применения фильтров-адсорберов за счет снижения затрат на техническое обслуживание и увеличения межремонтного периода составит 2507 тыс.руб/год, при стоимости фильтров-адсорберов с их установкой 40 тыс.руб, т.е. их внедрение окупается за шесть месяцев.

### ***Основные выводы и результаты работы:***

1. При изучении физико-химических и теплотехнических свойств ПНГ некоторых нефтяных месторождений Томской области получены уточненные данные, позволяющие судить о повышенном содержании пропан-бутановой фракции (до 35 %), тяжелых углеводородов и практически полном отсутствии сернистых соединений, что в совокупности делает его высококондиционным топливным сырьем. Сформулированы основные требования, предъявляемые к ПНГ в качестве топлива, для поддержания бесперебойной работы энергоустановки.
2. Для повышения коэффициента утилизации ПНГ с учетом его компонентного состава предложены и применены эффективные и малогабаритные устройства для подготовки газа к сжиганию в энергоустановке методом адсорбционной очистки цеолитовыми фильтрами.
3. Фильтрующее устройство с цеолитовым наполнителем позволило устранить в составе ПНГ влагу, примеси, сократить количество пропан-бутановых и более тяжелых углеводородных соединений, что позволило ЭУ без аварийных остановок проработать более 2000 часов в условиях межсезонья и при требуемых нагрузках.
4. Полученные зависимости перепада давления от времени работы фильтрующего элемента позволяют спрогнозировать ситуацию поведения цеолита в заданных условиях, а именно: время насыщения цеолита без регенерации до достижения максимального перепада давления, а также максимальное количество регенераций для поддержания оптимального значения перепада давления до и после адсорбционного устройства.
5. Определены изолинии адсорбции, позволяющие вести расчет поглощения отдельных составляющих ПНГ в заданных условиях.
6. Разработаны рекомендации и варианты решений по использованию адсорбционных устройств на основе цеолитового фильтра для различных конструкций горелочных устройств, защищенные патентами Российской Федерации, а также устройство для осушки отработавшего цеолита, предложено решение по утилизации выделившейся в результате регенерации

адсорбента смеси жидких углеводородов

7. Расчетная эколого-экономическая оценка подтвердила целесообразность внедрения адсорбционного устройства в качестве элемента предгорелочной подготовки нефтяного газа.

**Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:**

**Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях**

1. **Ильина, М. Н.** Требования к подготовке попутного нефтяного газа для малой энергетики [Текст] // Известия Томского политехнического университета. Томск. 2007, Т.310, №2, с. 167–171.

2. **Ильина, М. Н.** Исследование экспериментального адсорбционного устройства по подготовке попутного нефтяного газа к сжиганию [Текст] / **М. Н. Ильина, И. А. Иванова** // Известия Томского политехнического университета. Томск. 2008, Т.313, №4, с. 60-64.

**Патенты**

3. Патент РФ № 38897. Газогорелочное устройство [Текст] / **М. Н. Ильина, А. А. Купрюнин, А. С. Заворин** // Бюлл. №2004103938. опубл. 10.02.2004.

4. Патент РФ №61843. Газогорелочное устройство [Текст] / **М. Н. Ильина, Д. М. Старшинов, А. С. Заворин** // Бюлл. №2006136715. опубл. 16.10.2006.

5. Патент РФ №2324871. Способ очистки попутного нефтяного газа от тяжелых углеводородов при использовании низких температур [Текст] / **М. Н. Ильина, А. С. Заворин** // Бюлл. №2324871. опубл. 18.12.2006.

6. Патент РФ №87505. Устройство для осушки адсорбента [Текст] / **М. Н. Ильина, А. С. Заворин** // Бюлл. № 2009113756. опубл. 13.04.2009.

**Публикации в журналах и сборниках трудов конференций**

7. **Ильина, М. Н.** Предпосылки использования попутного газа нефтяных месторождений Томской области как энергетического топлива [Текст]/ **М. Н. Ильина, А. А. Купрюнин** // Материалы межвузовской научной

конференции «XXX Юбилейная Неделя науки СПбГТУ». СПб. 2002, ч. III. с. 68–70.

8. **Ильина, М. Н.** Подготовка попутного газа к сжиганию в топках котлов с использованием сорбентного фильтра [Текст] / **М. Н. Ильина**, А. А. Купрюнин // Труды IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». Томск. 2003, Т.1, с.39–40.

9. **Ильина, М. Н.** Использование попутного газа нефтяных месторождений [Текст] / **М.Н. Ильина**, Д. М. Старшинов, Г. Ф. Ильина // Труды VIII Международного симпозиума им. акад. М. А. Усова студентов и молодых ученых. Томск. 2004, с. 466– 469.

10. **Ильина, М. Н.** О возможности утилизации попутного газа нефтяных месторождений Томской области как топлива для малых котельных [Текст]/ **М. Н. Ильина**, А. А. Купрюнин // Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». Томск. 2001, Т.1, с. 175 – 177.

11. **Ильина, М. Н.** Сорбентная газоочистка в малой энергетике [Текст] // Труды XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». Томск. 2005, с. 477–478.

12. **Ильина, М. Н.** Предварительная очистка нефтяного попутного газа цеолитовым фильтром перед сжиганием [Текст] / **М. Н. Ильина**, А. А. Купрюнин // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». Томск. 2003, Т.1, с. 198-200.

13. **Ильина М. Н.** К использованию цеолитового фильтра при сжигании нефтяного попутного газа в котлах [Текст] / **М. Н. Ильина**, А. С. Заворин, А. А. Купрюнин // Материалы международной конференции «Сопряженные задачи механики, информатики и экологии». Томск. 2004, с. 109-110.

14. **Ильина, М. Н.** Проблемы при моделировании распространения пламени в смеси «попутный нефтяной газ – воздух» [Текст] / **М. Н. Ильина, А. С. Заворин, А. Н. Ильин, А. А. Купрюнин** // Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». Томск. 2002, с. 97–99.

15. **Ильина, М. Н.** Requirements for preparation of accompanying oil gas for small power engineering [Текст] // Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Томск. 2007, Т.310, №2, с. 154-158.

Ильина Марина Николаевна

Подготовка попутного нефтяного газа к сжиганию в условиях автономного энергообеспечения нефтепромыслов

Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 27.10.2009 г. Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60x90/16. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Типография Томского политехнического университета