

На правах рукописи



ИЛЬИН ВЛАДИМИР ВЛАДИСЛАВОВИЧ

УДК 665.723:66.074.51

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВЫХ
АППАРАТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ОТ
СЕРОВОДОРОДА**

Специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы
(нефтяной и газовой промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта – 2013

Диссертация выполнена на кафедре «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» Ухтинского государственного технического университета

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Быков Игорь Юрьевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
кафедры «СМ и ДМ» УГТУ
Кучерявый Василий Иванович
Кандидат технических наук,
начальник ОАиМ
ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз»
Балахнов Дмитрий Анатольевич

Ведущая организация: Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
в г. Ухта

Защита состоится «31» октября 2013 г. в 13⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.291.02 в Ухтинском государственном техническом университете по адресу: ул. Первомайская, 13, г. Ухта, Республика Коми, 169300.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного технического университета

Автореферат размещен на сайте УГТУ www.ugtu.net в разделе «Диссертации».

Автореферат разослан «30» сентября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 212.291.02, кандидат технических наук



М. М. Бердник

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Процесс добычи нефти, главная цель которого получение товарной нефти для потребителя, заключается в извлечении скважинной продукции, ее транспорта по внутрипромысловым трубопроводам, разделении на нефть, газ и воду, и их целесообразное использование. В процессе нефтедобычи в составе скважинной продукции поступает попутный нефтяной газ (ПНГ). Постановление Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 года №7 обязало нефтяных компаний обеспечить целевой показатель сжигания ПНГ на 2012 год и последующие годы в размере не более 5 %, таким образом, достижение уровня 95 % полезной утилизации ПНГ для нефтяников является актуальной проблемой.

Основной проблемой для рационального использования ПНГ является наличие в них тяжелых углеводородов, сероводорода (H_2S) и углекислого газа (CO_2), которые снижают качество попутных газов как сырья для различных технологических процессов, так и технологического топлива, а также негативно влияют на работоспособность оборудования для их добычи и транспортировки.

В настоящее время в мировой практике одним из эффективных способов поглощения вредных примесей попутных нефтяных газов является абсорбция. В промышленности часто используются крупные абсорбционные установки, которые характеризуются увеличением капиталовложений, эксплуатационных затрат. Одним из наиболее перспективных способов решения этой проблемы является применение малогабаритных абсорбционных установок.

В связи с вышесказанным, исследования, разработка и использование малогабаритных абсорбционных установок является актуальной. При этом основное внимание должно быть направлено на уменьшение их габаритов, снижение стоимости и повышение эффективности.

Цель работы – Обоснование оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе сформулированы **основные задачи исследования:**

1. Анализ существующего оборудования и технологий для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода;
2. Формирование методологических основ исследований вихревого аппарата;
3. Моделирование структуры газового потока в вихревом аппарате;
4. Экспериментальные исследования эффективности массообмена в вихревом аппарате;
5. Разработка методики обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода и обобщение рекомендации применения их на промысле.

Научная новизна:

1. Установлена зависимость полной скорости V , м/с от высоты расположения H , мм тангенциального патрубка ввода газа вихревого аппарата.
2. Выявлена зависимость эффективности массообмена E_y от скорости потока в вихревом контактном устройстве при различных вариантах расположения тангенциального патрубка ввода газа над поверхностью завихрителя.
3. Получено уравнение зависимости эффективности массообмена в вихревом аппарате с диаметром тангенциального входного патрубка $d=50$ мм от высоты его расположения над завихрителем.
4. Обосновано расположение тангенциального патрубка ввода газа при $H \approx d$, где H – высота расположения тангенциального патрубка, мм; d – диаметр тангенциального патрубка, мм.

Основные защищаемые положения:

1. Результаты компьютерного моделирования структуры газового потока в вихревом аппарате.
2. Комплекс экспериментальных методик для определения эффективности массообмена в вихревом аппарате.

3. Оценка влияния высоты расположения тангенциального патрубка ввода газа на эффективность массообмена в вихревом аппарате.

4. Методика обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода.

Практическая значимость работы состоит в создании методики обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода и на ее основе формирование рекомендаций для применения эффективного малогабаритного многоступенчатого вихревого аппарата на установке сероочистки попутного нефтяного газа газокompрессорной станции (ГКС) «Западный Тэбук», исключив из схемы насадочный абсорбер и газосепаратор, реализовав принцип агрегатирования, что приведет к сокращению капиталовложений и увеличению рентабельности проекта.

Методы исследования.

Моделирование структуры газового и газожидкостного потока вихревого аппарата производилось с помощью современного программного комплекса «FlowVision-НРС», позволяющего проводить исследования сложных и трудозатратных задач на основе метода конечных объемов, предполагающего интегрирование уравнений движения жидкости и газа, с последующим переносом скалярных величин по объемам ячеек расчетной сетки.

Экспериментальные исследования заключались в измерении расходов газа и жидкости, температуры и давления, выполненных на основе стандартных поверенных приборов и оборудования. Определение эффективности массообмена выполнялось в лаборатории кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Ухтинского государственного технического университета с помощью составления материального баланса, исходя из концентраций сероводорода, поглощенного водным раствором щелочи NaOH.

Достоверность результатов.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, базируются на данных, полученных с

привлечением современных теоретических и экспериментальных методов исследований, математического и физического моделирования с использованием вычислительной и измерительной техники, современного исследовательского оборудования и компьютерного обеспечения.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- XI Научно-технической конференции молодых работников и специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» (г. Усинск, 2010 г.);
- Конференциях в рамках научно-педагогической школы «Современные проблемы нефтепромыслов и буровой механики», кафедра «Машины и оборудования нефтяной и газовой промышленности» УГТУ (г. Ухта, 2011 г., 2012 г., 2013 г.);
- Научно-технической конференции преподавателей и сотрудников УГТУ (г. Ухта, 2011 г.);
- XII и XIV международных молодежных научных конференциях «Севергеоэкотек-2011 и 2013» (г. Ухта, 2011 г., 2013 г.);
- Республиканском молодежном инновационном конвенте «Молодежь – будущему Республики Коми» (г. Ухта, 2013 г.).

Реализация результатов работы.

Методика обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода утверждена главным инженером ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» для применения на объектах ТПП. Разработанная методика применима при проведении мероприятий по исследованиям передовых технологий в области подготовки попутного нефтяного газа к транспортировке в обществе.

Публикации.

Основные результаты исследований опубликованы в 7 печатных работах, в том числе: 3 – в материалах научных конференциях; 3 – в статьях изданий,

рекомендованных ВАК по специальности защиты, 1 – в методическом документе.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений, общий объем составляет 156 страниц, включая содержание, 36 рисунков, 10 таблиц, 5 приложений и список используемой литературы из 147 наименований.

Диссертация основана на личных исследованиях автора, которые проводились на установке подготовки нефти «Западный Тэбук» ЦППН – 1 ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» ООО ЛУКОЙЛ-Коми.

Благодарности.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю: профессору, доктору технических наук Быкову Игорю Юрьевичу за внимательное отношение и помощь в период работы над диссертацией.

Автор выражает благодарность начальнику отдела подготовки нефти Д. В. Юрченко, главному инженеру А. С. Тетерину и директору К. Э. Бегаеву ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» общества «ЛУКОЙЛ-Коми» за помощь в проведении экспериментальных исследований.

Автор благодарен ректору УГТУ, д.т.н., профессору Н. Д. Цхадая, проректору по научной работе УГТУ, д.т.н., профессору И. Н. Андронову.

Автор благодарен сотрудникам кафедры «Водоснабжение и водоотведение», а также коллективу кафедры «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» УГТУ: заведующему кафедры МОН и ГП, к.т.н. Селиванову Д. Г., доценту Е. М. Москалевой, к.т.н., доценту Т. В. Бобылевой, к.т.н., доценту В. В. Соловьеву и ст. преподавателю О. А. Батмановой.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Обосновывается актуальностью темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе произведен подробный анализ существующего оборудования и технологий для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода.

Изучено влияние сероводорода на коррозионные процессы и качество попутного нефтяного газа. Установлено, что сероводород, и особенно в сочетании с углекислым газом, является агрессивным компонентом попутного нефтяного газа, снижает его товарное качество и превращает в агрессивный коррозионно-опасный продукт, непригодный для практического использования в качестве энергоносителя. При этом основной технологией извлечения сероводорода из попутного нефтяного газа является абсорбция.

Проанализировав эффективность существующего абсорбционного оборудования, распространенных в нефтяной и газовой промышленности сделан вывод, что поверхностные, барботажные и распыливающие абсорберы обеспечивают высокую производительность по поглощаемому газу, позволяют достигать высоких значений величины межфазной поверхности, но имеют большие габариты, высокую металлоемкость и стоимость.

Выявив пути интенсификации массообмена в газожидкостных системах, установлено, что перспективным является применение вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода, что сделает возможным резкое сокращение затрат на изготовление абсорбционной колонной аппаратуры, за счет снижения габаритов аппаратов и металлоемкости, а также расходов на ее транспортировку к месту эксплуатации и монтаж.

Произведенный анализ основных конструкций завихрителей газа, представленных на рисунке 1, позволил сделать вывод, что наилучшими

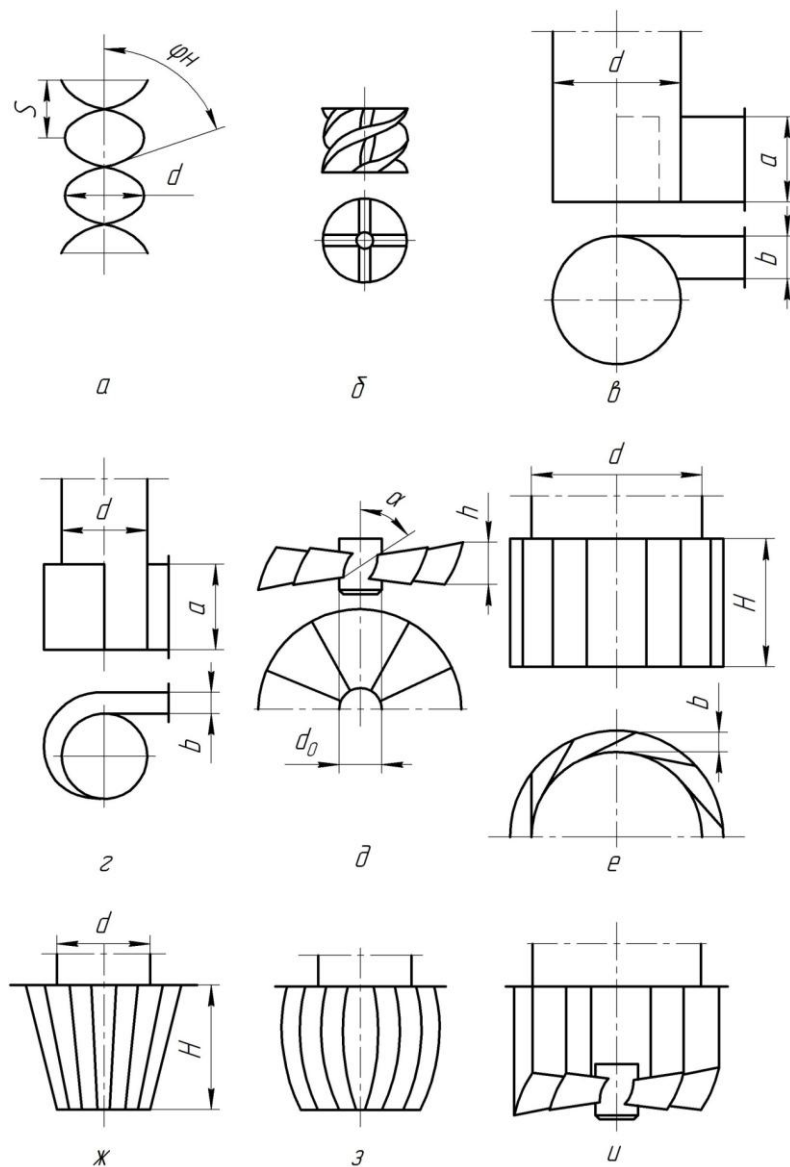


Рисунок 1 – Завихрители газа:

а – лента спиральная; б – вставка винтовая; в – тангенциальный;
 г – улиточный; д – аксиально-пластинчатый; е, ж, з – тангенциально-пластинчатый; и –
 комбинированный

показателями обладают конструкции вихревого контактного устройства (ВКУ) с тангенциально-пластинчатым завихрителем (рисунок 1, е)

Изучив структуру газового потока установлено, что завихритель с тангенциально-пластинчатым контактным устройством (рисунок 2) обеспечивает более равномерное распределение газа в щелях вихревого контактного устройства при расположении тангенциального патрубка 2 выше поверхности тангенциально-пластинчатого завихрителя 4. При проектировании

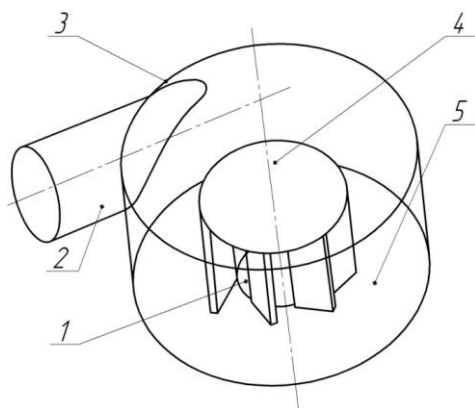


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства ВКУ:

1 – отверстие для выхода газа; 2 – тангенциальный патрубок ввода газа; 3 – корпус; 4 – тангенциально-пластинчатый завихритель с глухим основанием; 5 – тарелка

массообменных аппаратов стремятся к более равномерному распределению газа по сечению аппарата. Однако не установлено точное расположение тангенциального патрубка ввода газа над завихрителем.

Произведен анализ эффективности массообмена в вихревом контактном устройстве. Установлено, что для расчета колонного оборудования со ступенчатым контактом фаз используют эффективность Мерффри, который определяется по конечному составу фаз на реальной ступени и выражается через концентрации легкой (газовой) E_y и жидкой E_x фаз. Выявлено, что эффективность массообмена в ВКУ возрастает с увеличением нагрузки по жидкости и скорости потока газа в завихрителе.

Проанализировав существующие методы исследования вихревых аппаратов, установлено, что численные методы решений задач по исследованию газо-гидродинамики в вихревых аппаратах при помощи современных программных комплексов, а также экспериментальные исследования эффективности массообмена, с учетом полученных численных результатов являются эффективными инструментами для определения и научного обоснования оптимальных геометрических параметров ВКУ.

Определено, что применение ВКУ не только позволит отказаться от малоэффективных низкоскоростных крупногабаритных, многообъектных и металлоемких колонных абсорберов, но и даст возможность реализации принципа агрегатирования, т. е. создания абсорбера, который является многофункциональным агрегатом и включает в себя: – секцию

предварительной очистки газа от жидкости; – секцию массообмена, отделенную от секции предварительной очистки и состоящей из нескольких ступеней контакта, каждая из которой включает вихревое контактное устройство; – секцию окончательной очистки газа от жидкого поглотителя.

Во второй главе описаны применяемые в работе методики исследований. Формирование методологических основ исследований производилось на основании представлений о процессе газодинамики и массообмена.

Методология численного интегрирования уравнений в программном комплексе «FlowVision-НРС», описывающих течения сжимаемого газа и несжимаемой жидкости основывается на методе конечных объемов, предполагающая интегрирование уравнений движения жидкости и газа с последующим переносом скалярных величин по объемам ячеек расчетной сетки. Численный метод решения позволяет моделировать сложные течения, сопровождаемые закруткой потока.

Экспериментальные методы исследования эффективности массообмена вихревых аппаратов основываются на конечном составе фаз на реальной ступени (эффективность Мерффри E_y). Основной функцией вихревого аппарата – это очистка попутного нефтяного газа от сероводорода, следовательно, и методика исследования эффективности сводится к определению концентрации газовой E_y фазы, по зависимости:

$$E_y = \frac{y_n - y_k}{y_n - y^*(x_n)}, \quad (1)$$

где y_n – начальная концентрация сероводорода в газе, г/м³;

y_k – конечная концентрация сероводорода в газе, г/м³;

$y^*(x_n)$ – равновесная концентрация сероводорода в газе, г/м³.

Для проведения исследований эффективности массообмена в вихревом аппарате для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода необходимо было создать экспериментальную вихревую установку.

Третья глава посвящена моделированию структуры газового потока в вихревом аппарате. Проведено компьютерное моделирование в программном

комплексе «FlowVision-НРС» газового и впервые газожидкостного потока в вихревом контактном устройстве с комбинированным завихрителем при несимметричном потоке и различных расположениях тангенциального патрубка ввода газа.

Последовательность действий при работе с пакетом «FlowVision-НРС» состоял из следующих шагов: 1) загрузка геометрии; 2) задание параметров задачи; 3) задание параметров расчета; 4) запуск на расчет; 5) отображение результатов.

Геометрия расчетной области, на основе которой разрабатывался проект, создавался вне программного комплекса «FlowVision-НРС» в системе геометрического моделирования «Компас-3D». Эскиз конструкции ВКУ, для которого произведено компьютерное моделирование, представлен на рисунке 3. ВКУ состоит из следующих основных элементов: – корпуса 4 с диаметром D_k 200 мм; – тангенциального патрубка ввода газа 1 с диаметром d 50 мм; – сепаратора 2 высотой 100 мм; – тангенциально-пластинчатого завихрителя 5 диаметром D 100 мм; – пластин 3 с высотой h 120 мм, ширина пластин 40 мм, угол между соседними пластинами 30° , угол наклона 50° , количество пластин 12 шт. (геометрические параметры были выбраны на основании обеспечения наибольшей эффективности массообмена в ВКУ).

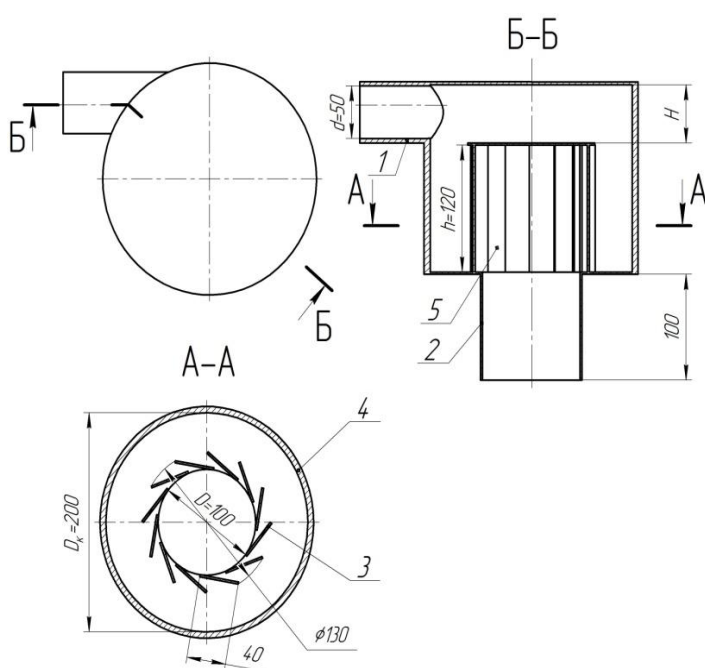


Рисунок 3 – Эскиз ВКУ: 1 – тангенциальный патрубок ввода газа; 2 – сепаратор; 3 – пластины завихрителя; 4 – корпус ВКУ, 5 – тангенциально пластинчатый завихритель; d – диаметр тангенциального патрубка ввода газа, мм; D – диаметр тангенциально-пластинчатого завихрителя, мм; D_k – диаметр корпуса ВКУ, мм; H – высота расположения тангенциального парубка ввода газа, мм

Высота тангенциального патрубка 1 от верхней плоскости тангенциально-пластинчатого завихрителя 5 задана равной $H=50$ мм, что примерно соответствует диаметру патрубка ввода газа d .

Физические параметры газа (за основу взят ПНГ на УПН «Западный Тэбук») были приняты следующие: а) молярная масса – 0,03 кг/моль; б) плотность – 1,49 кг/м³; в) вязкость – $1,82 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с), нормальная массовая скорость газа принята равной 29,8 кг/(м²·с) (20 м/с), пульсация – 0,01, а масштаб турбулентности – 0,00254. В результате численного эксперимента получены графики распределения полной скорости в поперечном сечении вдоль радиуса ВКУ для различных вариантов $H=d$, $H=2d$ и $H=3d$ (рисунок 4).

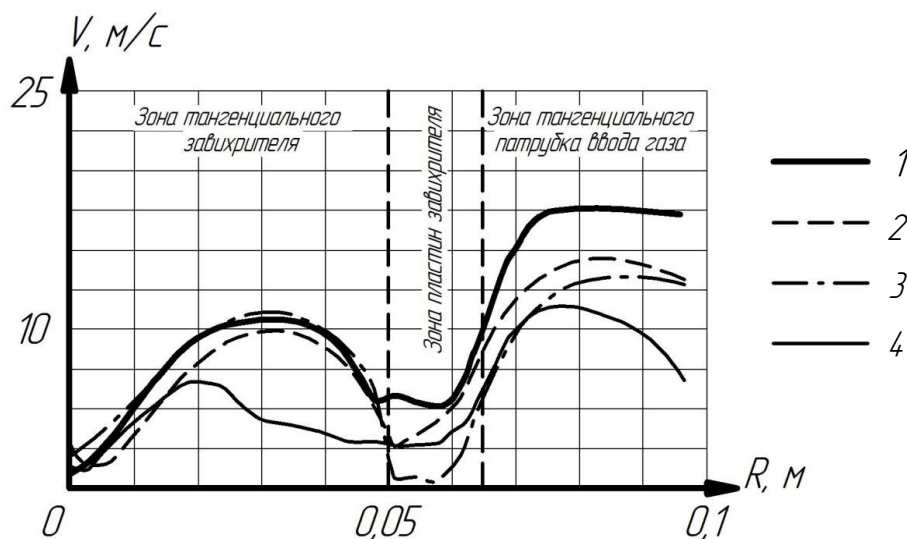


Рисунок 4 – График полной скорости V , м/с в поперечном сечении вдоль радиуса вихревого контактного устройства R , м при различном расположении патрубка:

1 – $H=50$ мм; 2 – $H=100$ мм; 3 – $H=150$ мм; 4 – газожидкостный поток ($L/G=2,5$) $H=50$ мм

Во всех вариантах наблюдалась сходная картина распределения полной скорости в вихревом контактном устройстве. Из рисунка 3 видно, что рост полной скорости от оси ВКУ к периферии со стремительным снижением скорости в зоне пластин характерен для всех вариантов, а также, что с увеличением высоты расположения патрубка вид графика и характер неравномерности не изменяется, а скорость вдоль радиуса снижается. С технологической точки зрения увеличение высоты расположения патрубка

нецелесообразно ввиду увеличения металлоемкости, снижения скорости потока вдоль радиуса ВКУ, следовательно, и снижения эффективности массообмена.

На основании полученных численных данных была установлена зависимость полной скорости V , м/с в зоне входа в пластины завихрителя от высоты расположения H , мм тангенциального патрубка ввода газа, представленная на рисунке 5 и равна:

$$V = -0,0004H^2 + 0,0362H + 9,075 \quad (2)$$

Зависимость имеет полиномиальную линию тренда второй степени с величиной достоверности аппроксимации $R^2=0,997$.

Адекватность математических моделей, построенных в ПК «FlowVision-НРС» подтверждены результатами, согласующимися с результатами других авторов, а результатом проведенного моделирования стало обоснование расположение тангенциального патрубка ввода газа при $H \approx d$.

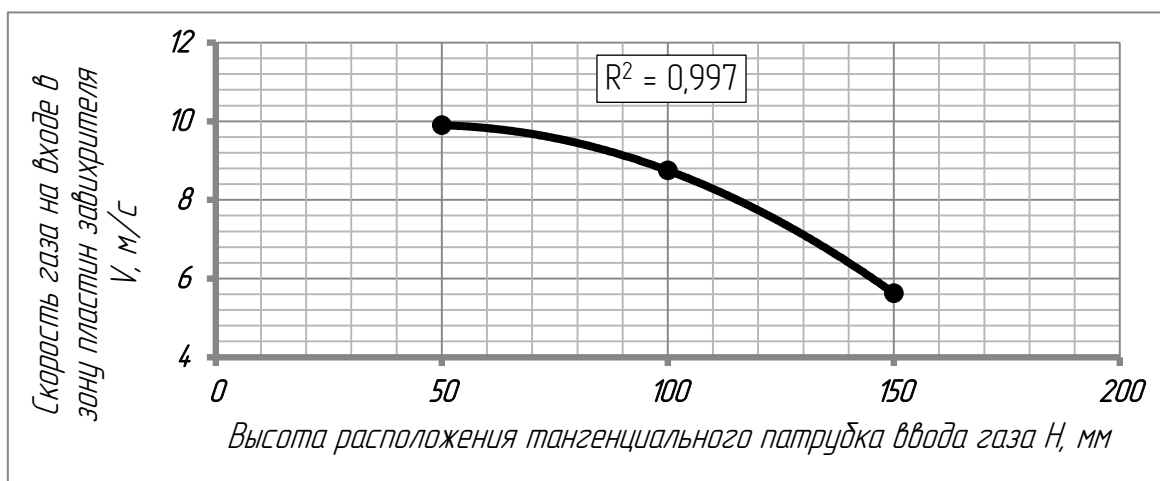


Рисунок 5 – Зависимость полной скорости V , м/с в зоне входа в пластины завихрителя от высоты расположения тангенциального патрубка H , мм

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям эффективности массообмена в вихревом аппарате, которые проводились на основании утвержденной программы опытно-промышленных испытаний вихревого аппарата на УПН «Западный Тэбук» ЦППН-1 ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», на попутном нефтяном газе из газопровода «Пашня – Тэбук». Газ имел следующие физико-химические свойства: плотность $1,1 \text{ кг/м}^3$, давление $0,22 \text{ МПа}$, молярная масса $23,895$

г/моль, концентрация H_2S $1,66 \text{ г/м}^3$. Очистка попутного нефтяного газа от сероводорода осуществлялась водным раствором щелочи NaOH с концентрацией 7 % масс.

Схема экспериментальной установки (рисунок 6) состояла из:

– вихревого аппарата 6; – емкости для свежего поглотителя 11; – емкости для отработанного раствора 12; – центробежного насоса 18, марки NSC-500/50; – запорно-регулирующей арматуры 1, 4, 8, 9, 10, 13, 15; – средств измерения, контроля и индикации измеряемых параметров, включающих счетчик газа 3 типа СГ75М, счетчика жидкости 7 (турбинный), манометры 2, 16 типа МП.

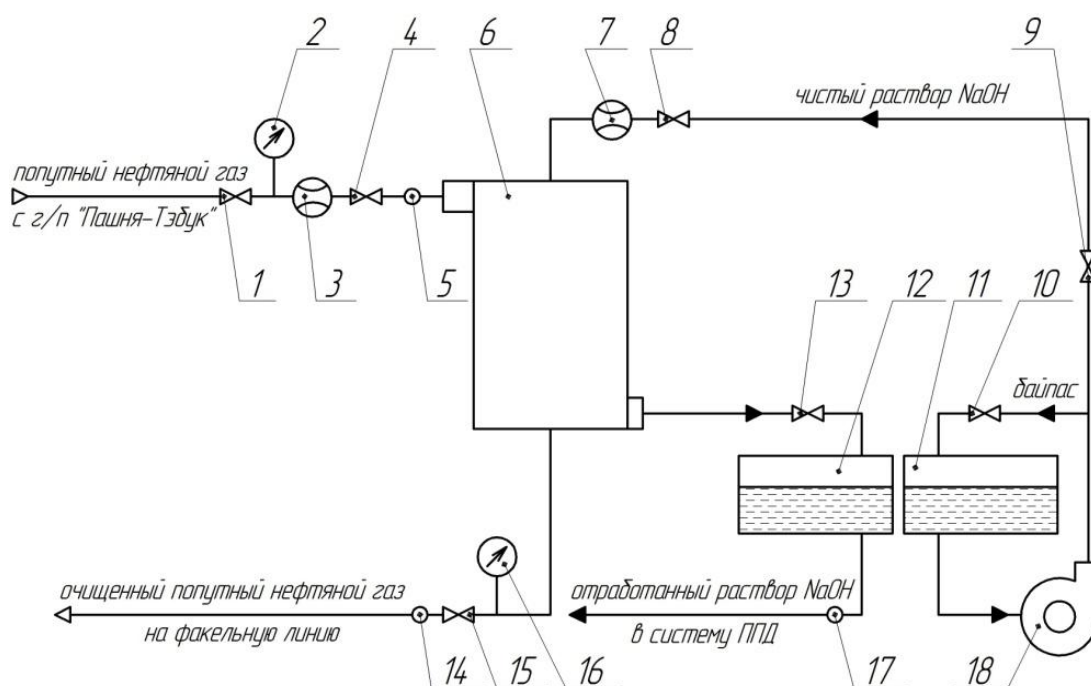
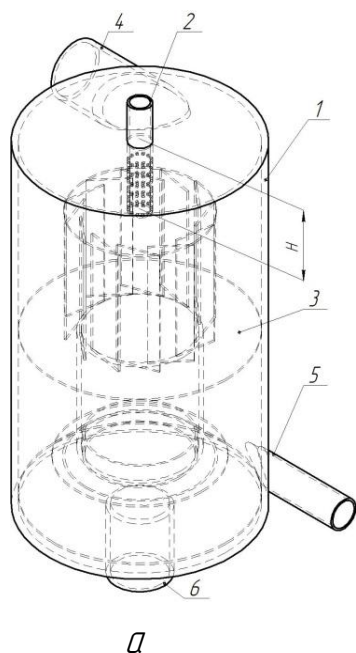


Рисунок 6 – Схема экспериментальной установки:

1, 4, 8, 9, 10, 13, 15 – запорно-регулирующая арматура; 2, 16 – манометр; 3 – счетчик газа; 5, 14, 17 – точки отбора проб; 6 – вихревой аппарат; 7 – счетчик жидкости; 11 – емкость для свежего поглотителя; 12 – емкость для отработанного раствора; 18 – центробежный насос

В качестве массообменного устройства был изготовлен и использовался одноступенчатый вихревой аппарат (рисунок 7) с прямоточным нисходящим движением фаз. Аппарат состоит из корпуса 1, тангенциального-пластинчатого завихрителя 3 с сепаратором, установленных в центральной части корпуса, центральной трубки 2 подачи поглотителя с 24 отверстиями диаметром 1 мм,.



а

б

в

Рисунок 7 – Экспериментальный вихревой аппарат:

а – эскиз; б – в собранном виде; в – смонтирован на экспериментальной установке; 1 – корпус; 2 – центральная трубка подачи поглотителя; 3 – ВКУ; 4 – тангенциальный патрубок ввода газа; 5 – патрубок выхода отработанного поглотителя; 6 – патрубок выхода очищенного газа, Н – высота расположения патрубка ввода газа, мм

тангенциального патрубка ввода газа 4 диаметром 50 мм, патрубка выхода отработанного поглотителя 5 и патрубка выхода очищенного газа 6. Экспериментальные исследования заключались в определении эффективности массообмена E_y , рассчитываемой по формуле (1). Данные, полученные в результате экспериментальных исследований, представлены в таблице 1. Установлено, что эффективность массообмена увеличивается при увеличении скорости газа в зоне пластин завихрителя, что достигается регулированием высоты расположения тангенциального патрубка ввода газа

Наибольшая эффективность массообмена при $H \approx d$ и $L/G=2,5$ составила $E_y = 0,863$. С увеличением нагрузки по щелочному раствору NaOH до $L/G=3$ эффективность массообмена возросла до $E_y = 0,946$.

На основании полученных данных была установлена зависимость эффективности массообмена (при $L/G=2,5$) от скорости газа в ВКУ, при различных вариантах расположения тангенциального патрубка, представленная

Таблица 1 – Данные экспериментальных исследований эффективности массообмена вихревого аппарата

Варианты	Расход газа Q_r , $\text{м}^3/\text{ч}$	Соотношение нагрузок, L/G	Расход NaOH (7%) $Q_{\text{ж}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	Начальная концентрация H_2S в газе u_n , $\text{г}/\text{м}^3$	Масса прошедшего H_2S ч/з NaOH m_r , г	Концентрация H_2S в NaOH, x_k , $\text{г}/\text{л}$	Масса поглощенного H_2S NaOH, m_p , г	Конечная концентрация H_2S в газе u_k , $\text{г}/\text{м}^3$	Эффективность массообмена по Мерффи, E_y
H=50 мм	260	2,5	0,655	1,66	14,4	0,57	12,43	0,227	0,863
H=100 мм	260	2,5	0,655	1,66	14,4	0,53	11,6	0,323	0,805
H=150 мм	260	2,5	0,655	1,66	14,4	0,5	10,9	0,404	0,757
H=50 мм	260	3	0,786	1,66	14,4	0,52	13,62	0,090	0,946

на рисунке 8 и равна:

$$E_y = 0,0081V^2 - 0,1008V + 1,0675 \quad (3)$$

где V – скорость газа на входе в зону пластин завихрителя, $\text{м}/\text{с}$

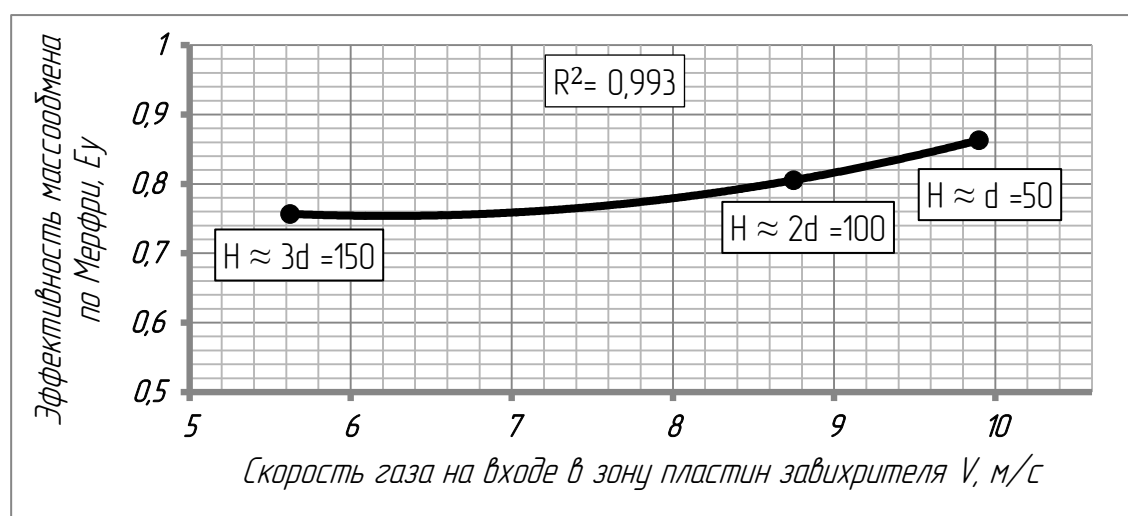


Рисунок 8 – Зависимость эффективности массообмена от скорости газа при различных вариантах расположения тангенциального патрубка ввода газа ($L/G=2,5$)

На рисунке 8 видно, что с увеличением скорости газа (при уменьшении высоты расположения тангенциального патрубка ввода газа) увеличивается эффективность массообмена. Зависимость имеет полиномиальную линию тренда второй степени с величиной достоверности аппроксимации $R^2=0,993$.

На основании проведенных экспериментальных исследований получено уравнение зависимости эффективности массообмена в вихревом аппарате с диаметром тангенциального входного патрубка $d=50$ мм от высоты его расположения над завихрителем H , мм, имеющее вид: $E_y = 0,0081 \cdot (-0,0004H^2 + 0,0362H + 9,075)^2 - 0,1008 \cdot (-0,0004H^2 + 0,0362H + 9,075) + 1,0675$.

В пятой главе приведена методика обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов утвержденная в ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» для применения на объектах ТПП и разработаны рекомендации для применения их на промысле.

После проведения подробного анализа технологической схемы установки сероочистки на ГКС «Западный Тэбук» и на основании разработанной инженерной методики обоснования оптимальных параметров вихревого аппарата был произведен сравнительный расчет проектируемой колонны-абсорбера А-1 с вихревым аппаратом (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика показателей работы насадочной колонны А-1 и вихревого аппарата

Параметр	Насадочная колонна	Вихревой аппарат
Расход газа Q_g , $\text{нм}^3/\text{час}$	8700	8700
Соотношение массовых нагрузок L/G , $\text{кг}/\text{кг}$	3	3
Давление рабочее P_p , МПа	0,2	0,2
Скорость захлебывания, м/с	1,919	-
Скорость газа в аппарате, м/с	1,439	20
Гидравлическое сопротивление, МПа	< 0,01	< 0,01
Высота, м	10	3
Диаметр, м	1,6	1
Количество аппаратов, шт.	1	1

Таким образом, с целью сокращения технологических аппаратов, габаритов и металлоемкости и, следовательно, уменьшение капитальных вложений для строительства установки очистки попутного нефтяного газа от сероводорода на ГКС «Западный Тэбук» ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз»

целесообразно применить высокоскоростной малогабаритный многоступенчатый вихревой аппарат.

Сравнение характеристик аппаратов показало, что при сопоставимых параметрах габариты (высота и диаметр аппарата) вихревого аппарата значительно меньше, чем насадочной колонны А-1, что подтверждает преимущество многоступенчатого вихревого аппарата. К тому же, применение вихревого аппарата позволит исключить из технологической схемы газосепаратор высотой 4,5 м и диаметром 1,6 м. (рисунок 9).

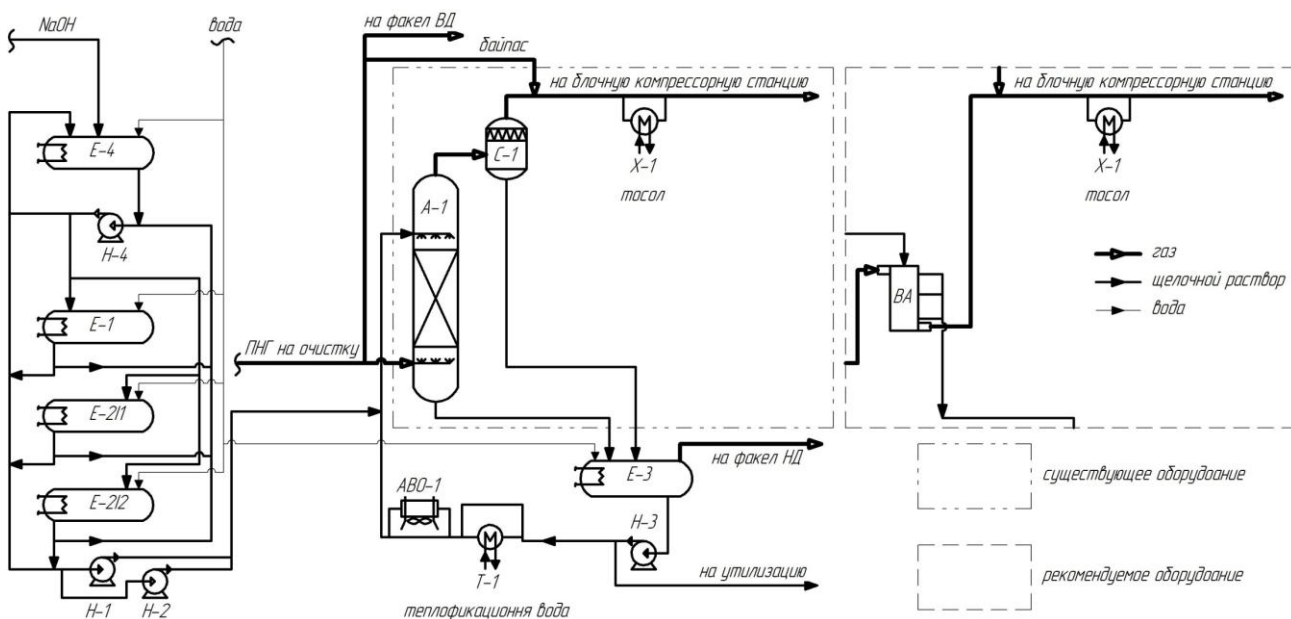


Рисунок 9 – Рекомендуемая схема очистки попутного нефтяного газа на месторождении «Западный Тэбук» на основе вихревого аппарата:

А – абсорбер; С – газосепаратор; Е – емкость; Х – холодильник; Т – теплообменник;
АВО – воздушный холодильник; Н – насосы; ВА – вихревой аппарат

Основные выводы.

1. На основании проведенного анализа эффективности существующего абсорбционного оборудования и, учитывая их недостатки, перспективным представляется использование для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода вихревых аппаратов, лишенных недостатков, связанных с многообъектностью, большими габаритами и высокой металлоемкостью.

2. Применение вихревых аппаратов позволяет реализовать принцип агрегатирования, т. е. создание абсорбера, являющегося многофункциональным агрегатом и включающим в себя: – секцию предварительной очистки газа от жидкости; – секцию массообмена, отделенную от секции предварительной очистки и состоящую из нескольких ступеней контакта, каждая из которых включает вихревое контактное устройство; – секцию окончательной очистки газа от жидкого поглотителя.

3. Для определения оптимальных геометрических параметров вихревого контактного устройства проведено компьютерное моделирование газового и впервые газожидкостного потока в вихревом контактном устройстве с комбинированным завихрителем при несимметричном потоке и различных расположениях тангенциального патрубка ввода газа с помощью численных методов решений задач при помощи современного программного комплекса «FlowVision-НРС». Проведенное сравнение вариантов ВКУ с разной высотой расположения патрубка показало, что для всех вариантов характерен рост полной скорости от оси вихревого контактного устройства к периферии со стремительным снижением скорости в зоне пластин и автомодельность профилей скорости с изменением фактора высоты расположения тангенциального патрубка ввода газа.

4. Установлено, что с увеличением высоты расположения патрубка вид графика распределения полной скорости и характер не изменяются, следовательно, увеличение высоты расположения патрубка нецелесообразно. На основании сравнений обосновано расположение тангенциального патрубка ввода газа при $H \approx d$ и установлена зависимость полной скорости V , м/с, от высоты расположения H , мм, имеющая вид: $V = -0,0004H^2 + 0,0362H + 9,075$.

5. Для проведения экспериментальных исследований разработана и реализована программа опытно-промышленных испытаний вихревого аппарата на УПН «Западный Тэбук» ЦППН-1 ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». В результате сравнения эффективности массообмена в зависимости от высоты расположения тангенциального патрубка над

поверхностью завихрителя экспериментально установлено, что при неизменном массовом расходе газа наибольшая эффективность достигается при $H \approx d$.

6. Установлено, что эффективность массообмена увеличивается при увеличении скорости газа в зоне пластин завихрителя, что достигается регулированием высоты расположения тангенциального патрубка ввода газа. Наибольшая эффективность массообмена при $H \approx d$ и $L/G=2,5$ составила $E_y = 0,863$. С увеличением нагрузки по щелочному раствору NaOH до $L/G=3$ эффективность массообмена возросла до $E_y = 0,946$.

7. Экспериментально установлена зависимость эффективности массообмена от скорости потока в вихревом контактном устройстве, имеющая вид $E_y = 0,0081V^2 - 0,1008V + 1,0675$ при различных вариантах расположения тангенциального патрубка ввода газа над поверхностью завихрителя.

8. Получено уравнение зависимости эффективности массообмена в вихревом аппарате с диаметром тангенциального входного патрубка $d=50$ мм от высоты его расположения над завихрителем, имеющее вид: $E_y = 0,0081 \cdot (-0,0004H^2 + 0,0362H + 9,075)^2 - 0,1008 \cdot (-0,0004H^2 + 0,0362H + 9,075) + 1,0675$.

9. Разработанная методика обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода утверждена в ТПП «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» для применения на объектах ТПП.

10. Проведен анализ технологической схемы блока очистки попутного нефтяного газа от сероводорода на газокompрессорной станции «Западный Тэбук» ТПП «ЛУКОЙЛ -Ухтанефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми». Установлено, что целесообразно применить высокоскоростной многоступенчатый вихревой аппарат, который значительно меньше по габаритам по сравнению с насадочной колонной при равной эффективности, а также позволяет исключить из технологической схемы газосепаратор, что значительно сокращает капиталовложения и увеличивает рентабельность проекта.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

1. Ильин, В. В. Применение вихревых аппаратов для промышленной подготовки попутного нефтяного газа на УПН "Западный Тэбук" [Текст] / В. В. Ильин, И. Ю. Быков // Сборник научных трудов: материалы научно-технической конференции (20-23 сентября 2011 г.): в 3 ч.; ч. I / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2011. – с. 173-178.

2. Ильин, В. В. Применение вихревых аппаратов для промышленной подготовки попутного нефтяного газа на УПН "Западный Тэбук" [Текст] / В. В. Ильин, И. Ю. Быков // XII международная молодежная научная конференция "Севергеоэкотек-2011": материалы конференции (16-18 марта 2011 г., Ухта): в 5 ч.; ч. 5. – Ухта: УГТУ, 2011. – с. 121-126.

3. Ильин, В. В. К вопросу очистки попутного нефтяного газа с применением вихревых аппаратов [Текст] / В. В. Ильин, И. Ю. Быков // Инженер-нефтяник. – 2011. – №4. – с. 25-28.

4. Ильин, В. В. Методика экспериментальных исследований эффективности массообмена контактной ступени вихревого аппарата с тангенциальным завихрителем [Текст] / В. В. Ильин, И. Ю. Быков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. – №7. – с. 9-11.

5. Ильин, В. В. Теоретические и экспериментальные исследования вихревого контактного устройства для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода [Текст] / В. В. Ильин, И. Ю. Быков // XIV международная молодежная научная конференция "Севергеоэкотек-2013": материалы конференции (20-22 марта 2013 г., Ухта): в 5 ч.; ч. 4. – Ухта: УГТУ, 2013. – с. 126-134.

6. Ильин, В. В. Исследования эффективности вихревого аппарата для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода [Текст] / В. В. Ильин, И. Ю. Быков // Территория Нефтегаз. – 2013. – №4. – с. 56-61.

7. Ильин, В. В. Методика обоснования оптимальных параметров вихревых аппаратов для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода [Текст] / В. В. Ильин // ТПП "ЛУКОЙЛ-Ухтанефтегаз" ООО "ЛУКОЙЛ-Коми": методический документ (03.03.2013), – 2013. – 5 с.

*Отпечатано в типографии
Ухтинского государственного технического университета
Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, 13
Усл. печ. л. 1,4. Подписано в печать 27.09.13 г.
Тираж 100 экз. Заявка № 3749*