DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-6-133-146

УДК 533.6.011.5

А.М. Шаммазов, А.Г. Гумеров, Л.И. Быков, А.В. Колчин, В.Р. Галлямов

(Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация)

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ 3S-СЕПАРАТОРА В КАЧЕСТВЕ РЕДУЦИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ

**Airat M. Shammazov, Asgat G. Gumerov, Leonid I. Bykov,
Aleksandr V. Kolchin, Vadim R. Gallyamov** (Ufa State Petroleum
Technological University, Ufa, Russian Federation)

GEOMETRY OPTIMIZATION OF 3S-SEPARATOR AS A REDUCING DEVICE FOR LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGY

Введение

Перед транспортом по системе магистральных газопроводов скважинная продукция газовых месторождений должна пройти всестороннюю подготовку на узле комплексной подготовки газа (УКПГ). Сырой газ требует осушки и отбензинивания после первичной очистки от механических примесей. В настоящее время для подготовки скважинной продукции широкое распространение получил метод низкотемпературной сепарации (НТС). Товарной продукцией узла НТС являются осушенный и отбензиненный природный газ и стабилизированный углеводородный конденсат. Полученный конденсат может быть использован в качестве сырья для нефтепродуктов, стоимость которого во много раз превышает стоимость газового топлива.

Помимо экономической выгоды от отделения тяжелых углеводородов есть и технологическая необходимость рассматриваемого процесса.

Background

Before transporting by gas pipelines, the gas field borehole products must be treated at the complex gas treatment unit (CGTU). Crude gas need to be dried and stripped after initial purification from mechanical impurities. Currently, for well products treating, low temperature separation (LTS) method has become widespread. The products got from the LTS unit are dried and stripped natural gas and stabilized hydrocarbon condensate. The condensate can be used as a raw material for petroleum products, the cost of which is many times higher than the cost of gas fuel.

In addition to the economic benefits of separating heavy hydrocarbons, there is a technological need for the process considered.

Она заключается в том, что тяжелые углеводородные компоненты могут сконденсироваться при температурах транспорта газа. Следствием этого может стать транспорт двухфазного потока - газа и газового конденсата. Технически простым и экономически менее затратным способом охлаждения газа до температуры точки росы по углеводородам на УКПГ является изоэнтальпийное расширение газа посредством использования дросселирующего клапана. Несмотря на явные эксплуатационные и экономические достоинства, НТС с использованием дросселя имеет ряд недостатков (основным из которых будет малая эффективность при эксплуатации месторождения на этапе падающего давления).

Таким образом, необходима разработка эффективных и технологически простых методов осуществления процесса низкотемпературной сепарации. Перспективными направлениями являются рационализация использования дроссель-эффекта, а также оптимизация работы сепаратора на этапе падающего входного давления.

Цели и задачи

Разработка алгоритма расчета геометрии сопла и способа прогнозирования свойств потока газа. Эти исследования позволяют перейти к созданию реальной модели и проведению стендовых испытаний.

Результаты

Рассчитана геометрия сопла исходя из состава охлаждаемой смеси, а также проведен анализ параметров газа при прохождении потоком полости сопла.

Определены значения основных параметров газового потока расчетным методом в программном комплексе ANSYS Fluent. Необходимо было получить сходимость расчетов, полученных в программной среде и при помощи аналитического метода.

Определена оптимальная геометрия профиля сопла в широком эксплуатационном диапазоне изменения значения входного давления и температуры газа.

It is in the fact that heavy hydrocarbon components can condense at gas transport temperatures. The consequence of this may be the transport of a two-phase flow - gas and gas condensate. A technically simple and economically less expensive way of cooling a gas to the hydrocarbon dew point temperature at a gas treatment unit is the iso-enthalpy expansion of the gas through the use of a throttling valve. Despite the obvious operational and economic advantages, the LTS using a throttle has several drawbacks (the main of which will be low efficiency when operating the field at the stage of falling pressure).

Thus, it is necessary to develop effective and technologically simple methods for implementing the low-temperature separation process. Promising directions are the rationalization of the use of the throttle effect, as well as the optimization of the separator at the stage of falling inlet pressure.

Aims and Objectives

Development of an algorithm for calculating nozzle geometry and a method for predicting the properties of a gas stream. These studies will allow to move on to creating a real model and conducting bench tests.

Results

The nozzle geometry based on the composition of the mixture being cooled was calculated, and analysis of the gas parameters during the passage of the nozzle cavity through the stream was carried out.

The values of the main parameters of the gas flow were determined by the calculation method in the ANSYS Fluent software package. It was necessary to obtain the convergence of the calculations obtained in the software environment and using the analytical method.

The optimal geometry of the nozzle profile in a wide operating range of the input pressure and gas temperature was determined.

Ключевые слова: магистральный газопровод; углеводородный конденсат; сепаратор; дросселирующий клапан; метод низкотемпературной сепарации; ANSYS Fluent

Key words: gas main; hydrocarbon condensate; separator; throttle valve; low temperature separation method; ANSYS Fluent

Введение

Перед транспортом по системе магистральных газопроводов скважинная продукция газовых месторождений должна пройти всестороннюю подготовку на узле комплексной подготовки газа (УКПГ). В частности, сырой газ требует осушки и отбензинивания после первичной очистки от механических примесей. В настоящее время для подготовки скважинной продукции широкое распространение получил метод низкотемпературной сепарации (НТС). Товарной продукцией узла НТС являются осушенный и отбензиненный природный газ и стабилизированный углеводородный конденсат.

Среди компонентов скважиной продукции могут быть тяжелые углеводородные соединения, к которым можно отнести C_{3+} . Их потеря с основным газовым потоком нецелесообразна, поэтому следует предусмотреть сепарацию и конденсацию рассматриваемых углеводородов. Полученный конденсат может быть использован в качестве сырья для нефтепродуктов, стоимость которого во много раз превышает стоимость газового топлива.

Помимо экономической выгоды от отделения тяжелых углеводородов есть и технологическая необходимость рассматриваемого процесса. Она заключается в том, что тяжелые углеводородные компоненты могут сконденсироваться при температурах транспорта газа. Следствием этого может стать транспорт двухфазного потока - газа и газового конденсата. Поэтому в стандарте организации регламентированы значения температуры точки росы по углеводородам ($ТТР_{УВ}$). К примеру, в зимний период, в холодном климатическом районе, в диапазоне давления газового потока от 2,5 до 7,5 МПа $ТТР_{УВ}$ не должна превышать минус 10 °С [1].

Принцип НТС заключается в конденсации углеводородов за счет охлаждения газового потока до требуемой температуры путем изотропного или изотальпного расширения [2]. Технически простым и экономически менее затратным способом охлаждения газа до $ТТР_{УВ}$ на УКПГ является изотальпное расширение газа посредством использования дросселирующего клапана.

Несмотря на явные эксплуатационные и экономические достоинства, НТС с использованием дросселя имеет ряд недостатков (основным из которых будет малая эффективность при эксплуатации месторождения на этапе падающего давления).

Таким образом, необходима разработка эффективных и технологически простых методов осуществления процесса низкотемпературной сепарации. Перспективным направлением является рационализация использования дроссель-эффекта, а также оптимизация работы сепаратора на этапе падающего входного давления.

Обзор дроссельного узла систем НТС

Классический процесс НТС реализуется, как было отмечено ранее, с применением дросселирующего клапана, что является технически простым и экономически мало затратным решением. К основным преимуществам простой технологии НТС с дросселирующим клапаном можно отнести:

- низкие капитальные затраты;
- высокую эффективность работы в начальный период разработки месторождения при достаточном давлении скважины;
- простоту работы и настройки;
- возможность автоматизации установки.

Несмотря на очевидные преимущества, дроссельный клапан имеет ряд недостатков и жесткие ограничения по входному давлению на УКПГ:

- безвозвратные потери давления;
- при падении пластового давления уменьшается доступный перепад давления, что приводит к «недоохлаждению» газа, а значит и к недостаточной глубине извлечения конденсата;
- из-за уменьшения пластового давления может возникнуть необходимость введения дополнительных единиц компрессорного оборудования перед клапаном;
- несовершенство изотальпного расширения газа как процесса охлаждения (потенциальная работа, которую мог бы совершить расширяющийся газ, превращается в теплоту, тем самым снижая эффективность охлаждения) [3].

Альтернативой изохальпийного охлаждения скважинной продукции при помощи дроссельного клапана является процесс, близкий к изотропийному, реализуемый с использованием детандерной технологии.

Как видно из рисунка 1, этот процесс термодинамически более совершенен, так как газовый поток охлаждается до более низких температур, что ведет к более глубокому извлечению тяжелых углеводородов [4].

Недостатками рассматриваемой технологии являются дороговизна оборудования, а также сложность технологического процесса.

Еще одним способом реализации НТС является применение холодильных циклов. Хладагент выбирается в зависимости от того, какую температуру, а значит и какую глубину извлечения тяжелых углеводородов, нужно получить. В качестве хладагента применяют аммиак, пропан, этан и смеси различных углеводородов. Среди недостатков подобного метода можно выделить:

- дополнительные затраты на эксплуатацию компрессоров, нужных для циркуляции хладагента;
- теплота парообразования хладагента - показатель, определяющий холодопроизводительность системы, - снижается с увеличением молекулярной массы охлаждаемых углеводородов, давления и температуры [4].

Перспективной альтернативой существующим методам является устройство газодинамического сепаратора, основанного на изотропийном расширении с последующим изотропийным сжатием потока.

Изотропийный процесс, лежащий в основе данного метода, термодинамически более эффективен (рисунок 1).

Сравнивая графики изотропийного и изохальпийного процессов, видно, что при одинаковом изменении давления в первом случае достигается более низкая температура.

Принцип предлагаемой технологии состоит в следующем (рисунок 2).

Газовый поток проходит через закручивающее устройство и далее в конфузор сопла Лавая. В критическом сечении сопла скорость потока достигает значения скорости

звука. Этот процесс изотропийного расширения сопровождается значительным охлаждением потока.

Рисунок 1. Снижение температуры газа при изотропийном (1) и изохальпийном (2) расширении газа

По мере охлаждения газа в канале сверхзвукового сопла происходят зарождение ядер конденсации тяжелых углеводородов, их рост в диффузионном режиме и коагуляция капель за счет турбулизации потока, вызванной его вращением.

После сопла Лавая скважинная продукция поступает в рабочую секцию, в которой образовавшийся конденсат в поле центробежных сил отбрасывается к стенкам, образуя газожидкостный пристеночный слой. Далее конденсат через кольцевые щели покидает установку.

Таким образом, на вход установки поступает один поток, содержащий конденсат, а на выходе два потока: один из которых - охлажденный и отбензиненный газ, а второй - газовый конденсат, направляемый на дополнительную стабилизацию [5].

Из-за превращения потенциальной энергии в кинетическую и последующего частичного восстановления исходного давления в выходном диффузоре [5] данная установка представляет особый интерес для эксплуатации газовых месторождений, работающих на этапе падающего давления. В этом случае при обеспечении необходимого перепада

давления на узле НТС отпадает необходимость сооружения дожимной компрессорной станции. Эффективность термодинамического процесса и несложная схема установки делают сверхзвуковую сепарацию с использованием сопла Лавала простой в эксплуатации, не требующей высококвалифицированного обслуживания.

Рисунок 2. Принципиальная схема работы сверхзвукового сепаратора

Постановка задачи

В настоящее время нет единого метода расчета как геометрии профиля сопла, так и способа прогнозирования параметров газа. Поэтому цель нашей работы - разработка алгоритма расчета геометрии сопла и способа прогнозирования свойств потока газа. Эти исследования позволят перейти к созданию реальной модели и проведению стендовых испытаний.

Для решения поставленной задачи последовательно были осуществлены три следующие этапа.

- На первом этапе была рассчитана геометрия сопла исходя из состава охлаждаемой смеси, а также проведен аналитический анализ параметров газа при прохождении потоком полости сопла.

- На втором этапе были определены значения основных параметров газового потока расчетным методом в программном комплексе ANSYS Fluent. Необходимо было получить сходимость расчетов, полученных в программной среде и при помощи аналитического метода.
- На третьем этапе была определена оптимальная геометрия профиля сопла в широком эксплуатационном диапазоне изменения значения входного давления и температуры газа.

Методика расчета

На первом этапе были произведены расчеты конфузора и диффузора сверхзвукового сопла. Исходными данными для расчета

геометрии являются состав охлаждаемого газа, давление и температура потока, массовый расход и скорость на входе в сопло. Для осуществления расчетов были заданы следующие упрощения:

- расчеты были осуществлены на модели идеального газа;
- толщина пограничного слоя газового потока не учитывалась;
- потерями напора по длине сопла пренебрегли.

В данной работе было смоделировано течение газового потока только в профиле сверхзвукового сопла. Иными словами, рабочая секция установки, а также выходной диффузор не проектировались. Поэтому ниже приведена методика расчета последовательных элементов сверхзвукового сопла Лаваля: конфузора и диффузора.

Расчет геометрии профиля основан на постепенном изменении скорости течения газового потока. Для контроля этого изменения использована безразмерная величина - число Маха, равное отношению скорости потока к скорости звука при тех же условиях. Чтобы получить значения интересующих характеристик газа, а также геометрических характеристик профиля, нужно было знать значение числа Маха в данной точке профиля сопла. Для этого значение числа Маха было распределено по интересующему нас участку (конфузору или диффузору) в соответствии с линейным законом при известных начальных и конечных величинах данного параметра.

Расчет конфузора

Скорость газового потока в критическом сечении сопла равна скорости звука. Таким образом, значение числа Маха для критического сечения равно единице. Определив значение числа Маха для входного сечения, было получено распределение значения этого параметра по профилю конфузора. Далее производится расчет значений давления, скорости, температуры и плотности по соотношениям между статическими параметрами и параметрами изобарного торможения потока [6].

Далее, исходя из уравнения неразрывности, с известными значениями массового расхода и плотности газа определяется радиус критического сечения.

По известным значениям входного и критического сечений рассчитывается профиль сужающейся части по формуле Витошинского:

$$r = \frac{r_{кр}}{\sqrt{1 - \left[1 - \left(\frac{r_{кр}}{r_{вх}}\right)^2\right] \times \frac{\left(1 - \frac{3x^2}{(1 \times \sqrt{3})^2}\right)^2}{\left(1 + \frac{x^2}{(1 \times \sqrt{3})^2}\right)^3}}}$$

Величины, входящие в формулу, пояснены на рисунке 3.

- $r_{вх}$ - входной радиус;
 $r_{кр}$ - радиус критического сечения;
 r - радиус сопла на расстоянии x от входа;
 l - длина конфузора

Рисунок 3. К расчету профиля сужающегося сопла

Расчет диффузора

В соответствии с обозначенной выше методикой было получено распределение значения числа Маха по профилю диффузора. Тогда как во входном сечении диффузора

(критическом сечении сопла) значение этого параметра равно единице, значение этого параметра на выходе из диффузора было найдено исходя из требуемой для конденсации целевых компонентов температуры.

Из соотношений между статическими параметрами и безразмерными скоростями в критическом и выходном сечениях изотропного потока было определено значение числа Маха в выходном сечении:

$$M_{\text{вых}} = \sqrt{\left(\frac{T_{\text{кр}}}{T_{\text{вых}}} \times \frac{k+1}{2} - 1\right) \times \frac{2}{k-1}},$$

где $T_{\text{кр}}$ и $T_{\text{вых}}$ - значения температуры газового потока; k - показатель адиабаты.

Длина диффузора определяется по формуле:

$$L_{\text{диф}} = \frac{d_{\text{вых}} - d_{\text{кр}}}{2 \times \tan \alpha},$$

где $d_{\text{вых}}$ и $d_{\text{кр}}$ - диаметры соответственно выходного и критического сечений сопла;

α - угол раскрытия конического диффузора, принимаемый таким, чтобы не происходил отрыв газовой среды от стенок сопла (в

нашем случае α принят равным $3,5^\circ$, т.к. в этом случае отсутствовал отрыв газового потока от стенок профиля сопла).

Результат расчета моделируемого сопла приведен на рисунке 4.

Характеристика модели

Для анализа характеристик потока был смоделирован такой состав газа, который в рассматриваемых условиях всегда находится в однофазном состоянии. Такой подход позволил не учитывать на этом этапе расчетов воздействие от образовавшегося пристеночного слоя конденсата.

Состав газа приведен в таблице 1.

Таблица 1. Массовая концентрация компонентов анализируемого газа

Наименование компонента	Массовая концентрация, %
Метан	0,8210
Этан	0,1539
Пропан	0,0251

Рисунок 4. Геометрия сопла

Плотность и физико-химические характеристики газа в рабочих условиях были определены расчетным путем на основе уравнения Пенга-Роббинсона-Стрижека-Вера (Peng-Robinson-Stryjek-Vera). Данные параметры были выбраны исходя из условия поступления в полость сопла Лавала однофазного потока. Так как аналитическое решение было получено на модели потока, текущего нормально к входной границе сопла, расчет в программном комплексе ANSYS Fluent осуществлялся при прямооточном течении газа. Теплообменом с окружающей средой через стенку сопла пренебрегаем.

Так как указанную задачу наиболее полно характеризует изменение давления, во входном сечении зададим следующие параметры:

- полное давление P^* (равное давлению в идеально заторможенной газовой струе) со значением 12,00087 МПа;
- избыточное давление $P_1 = 12$ МПа;
- температура изоэнтропийного торможения потока T^* , равная 258,0018 К.

Выбрана модель идеального газа со следующими параметрами:

- удельная теплоемкость при постоянном давлении $C_p = 1905,39$ Дж/(кг К);
- молекулярная масса $\mu = 17,586$ кг/кмоль.

Сеточная модель

Основными критериями формы элементов для ANSYS Fluent являются ортогональность и асимметричность. Рекомендуется использовать модели сеток, для которых минимальное значение ортогональности $> 0,1$, или максимальное значение асимметрии $< 0,95$. Выходить за описанные диапазоны можно только в случаях относительно простых течений, а также в зонах с незначительными градиентами переменных, к которым наша задача не относится.

Для простоты осуществления вычислений рассечем сопло по оси симметрии и далее будем моделировать сетку для этого плоскости. В результате была получена сетка, изображенная на рисунке 5. Получившаяся сетка удовлетворяет требованиям про-

граммной среды ANSYS Fluent по основным качественным параметрам: ортогональность и асимметричность.

Результаты программного моделирования

Для наглядности были совмещены значения, полученные аналитическим путем, и значения, полученные с помощью программного моделирования, на рисунках 6 и 7. Графики демонстрируют почти полное сходжение, что говорит о правильности аналитического решения и адекватности задания граничных условий (ГУ) в препроцессоре программы. Некоторое различие значений перепада давления между модельным и аналитическим методами можно объяснить тем, что график программного расчета строится по значениям внешней образующей профиля сопла, тогда как значения параметров на оси симметрии сопла на внешней образующей профиля различны ввиду физики течения газового потока, что видно из рисунка 8.

Приведенные результаты стали основой для последующих расчетов.

Поиск оптимальной геометрии профиля

Так как рассматриваемая технология должна обеспечивать требуемый уровень сепарации на всем протяжении разработки месторождения, при расчете ее геометрии необходимо предусмотреть изменения граничных условий, иначе говоря, должна быть подобрана некая оптимальная геометрия профиля. Нами был предположен диапазон изменения давления - от 12 до 5,6 МПа, и температуры - от 15 °С до минус 15 °С. В этих пределах было построено девять профилей сопел, порядковые номера которым присвоены в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2. Номера рассматриваемых эксплуатационных условий

	5,6 МПа	8,0 МПа	12,0 МПа
15 °С	1	4	7
0 °С	2	5	8
минус 15 °С	3	6	9

Рисунок 5. Сетка для анализа в ANSYS Fluent

Рисунок 6. Сравнение температурного перепада

Рисунок 7. Сравнение перепада давлений

Рисунок 8. Распределение значений давления по профилю сопла, Па

В результате данных расчетов было получено 9 геометрических профилей, где самое узкое сечение соответствует входному давлению 12,0 МПа и температуре минус 15 °С, а самое широкое - 5,6 МПа и 15 °С, что изображено на рисунке 9.

Таким образом, все многообразие сопел было сведено к анализу двух, и нам осталось только проанализировать течение газовых потоков со всеми рассматриваемыми граничными условиями через них.

Отметим, что при рассмотрении течений потоков в случае использования удельной теплоемкости при постоянном давлении, найденной для идеального газа, отличий в распределении температур наблюдаться не будет (рисунок 10).

Поэтому в наших расчетах использовалась удельная теплоемкость, полученная с помощью уравнения состояния реального газа.

Результатом стали графики изменения температур, по которым была определена оптимальная геометрия профиля. Был сделан вывод, что расчет профиля сверхзвукового сопла должен вестись на максимальное входное давление.

При последовательном расчете девяти различных по ГУ потоков на двух сравниваемых геометрических профилях были получены следующие распределения температур по профилю сопла (цифры соответствуют граничным условиям, приведенным в таблице 2) (рисунки 11, 12).

Рисунок 9. Профили сверхзвуковых сопел при различных входных параметрах

Рисунок 10. Результаты изменения температуры на профиле для 9 граничных условий при постоянном C_p

Рисунок 11. Сравнение распределений температур при течении разных потоков через сопло, рассчитанное на ГУ 12,0 МПа и минус 15 °С

Рисунок 12. Сравнение распределений температур при течении разных потоков через сопло, рассчитанное на ГУ 5,6 МПа и 15 °С

Выводы

На основе полученных данных можно сделать следующие заключения:

- расчет геометрии профиля сверхзвукового сепаратора нужно вести для максимального значения давления из рассматриваемого диапазона;

- чтобы обеспечить эффективную работу сепаратора при нерасчетном режиме работы, следует учесть температурный запас, который обеспечит температуру сепарации целевых компонентов потока в случае изменения граничных условий.

Список литературы

1. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. М.: Газпром, 2011. 12 с.
2. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. М.: Химия, 2001. 318 с.
3. Гриценко А.И., Истомин В.А., Кульков А.Н., Сулейманов Р.С. Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России. М.: Недра, 1999. 371 с.
4. Бекиров Т.М., Ланчаков Г.А. Технология обработки газа и конденсата. М.: Недра-Бизнесцентр, 1999. 289 с.
5. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: Разведка нефтяных и газовых

References

1. STO Gazprom 089-2010. Gaz goryuchii prirodnyi, postavlyaemyi i transportiruemyi po magistral'nym gazoprovodam. Tekhnicheskie usloviya [STO Gazprom 089-2010. Natural Combustible Gas Supplied and Transported by Main Gas Pipelines. Technical Conditions]. Moscow, Gazprom Publ., 2011. 12 p. [in Russian].
2. Manovyan A.K. Tekhnologiya pervichnoi pererabotki nefi i prirodnogo gaza [Technology of Primary Oil and Natural Gas Processing]. Moscow, Khimiya Publ., 2001. 318 p. [in Russian].
3. Gritsenko A.I., Istomin V.A., Kul'ukov A.N., Suleimanov R.S. Sbor i promyslovaya podgotovka gaza na severnykh mestorozhdeniyakh Rossii [Collection and Field Treatment of Gas in the Northern Fields of Russia]. Moscow, Nedra Publ., 1999. 371 p.

месторождений. Бурение скважин. Добыча и переработка нефти и газа. Уфа: УГНТУ, 1998. 132 с.

6. Мовсумзадэ Э.М., Мастобаев Б.Н., Мастобаев Ю.Б., Мовсумзадэ М.Э., Шаммазова А.М. Морская нефть. Развитие технологий освоения морских арктических месторождений нефти и газа. СПб.: Недра, 2008. 304 с.

[in Russian].

4. Bekirov T.M., Lanchakov G.A. *Tekhnologiya obrabotki gaza i kondensata* [Technology of Processing of Gas and Condensate]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 1999. 289 p. [in Russian].

5. Korshak A.A., Shammazov A.M. *Osnovy neftegazovogo dela: Razvedka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii. Burenie skvazhin. Dobycha i pererabotka nefti i gaza* [Fundamentals of Oil and Gas Business: Exploration of Oil and Gas Fields. Well Drilling. Oil and Gas Production and Processing]. Ufa, UGNTU Publ., 1998. 132 p. [in Russian].

6. Movsumzade E.M., Mastobaev B.N., Mastobaev Yu.B., Movsumzade M.E., Shammazova A.M. *Morskaya neft'. Razvitie tekhnologii osvoeniya morskikh arkticheskikh mestorozhdenii nefti i gaza* [Marine Oil. Development of Technologies for Development of Offshore Arctic Oil and Gas Fields]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2008. 304 p. [in Russian].

Авторы

• Шаммазов Айрат Мингазович, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Президент
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: ashammazov@mail.ru

• Гумеров Асгат Галимьянович, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: gumerov@anrb.ru

• Быков Леонид Иванович, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: st@rusoil.net

The Authors

• Shammazov Airat M., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
President
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: ashammazov@mail.ru

• Gumerov Asgat G., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Gas and Oil Pipelines and Storage Facilities Construction and Repair Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: gumerov@anrb.ru

• Bykov Leonid I., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Gas and Oil Pipelines and Storage Facilities Construction and Repair Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: st@rusoil.net

• Колчин Александр Владимирович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Старший преподаватель кафедры «Транспорт и
хранение нефти и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: kolchin-alexander@mail.ru

• Kolchin Aleksander V.
Ufa State Petroleum Technological University
Senior Lecturer of Oil and Gas Transportation
and Storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: kolchin-alexander@mail.ru

• Галлямов Вадим Ринатович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Транспорт и хранение нефти
и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: vgalliamov@gmail.com

• Gallyamov Vadim R.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Oil and Gas Transportation
and Storage Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: vgalliamov@gmail.com