

# ТЕХНОЛОГИИ НЕФТИ И ГАЗА

научно-технологический журнал

№4<sup>(147)</sup> 2023

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4

## Главный редактор

Б. П. ТУМАНЯН – д.т.н., проф.

## Научно-редакционный совет

А. Ф. ВИЛЬДАНОВ – д.т.н., проф.

А. И. ГРИЦЕНКО – д.т.н., проф.

А. Н. ДМИТРИЕВСКИЙ – д.г.-м.н.,  
проф.

О. Н. КУЛИШ – д.т.н., проф.

А. Л. ЛАПИДУС – д.х.н., проф.

ЛИ ГО ЮЙ – проф. (Китай)

Н. А. МАХУТОВ – д.т.н., проф.

Б. П. ТОНКОНОГОВ – д.х.н., проф.

К. ТРАВЕР – проф. (Франция)

В. А. ХАВКИН – д.т.н., проф.

М. ЦЕХАНОВСКА – д.т.н., проф.  
(Польша)

## Head Editor

B. P. TUMANYAN – Dr. Eng. Sci., prof.

## Editorial Board

A. F. VIL'DANOV – Dr. Eng. Sci., prof.

A. I. GRITSENKO – Dr. Eng. Sci., prof.

A. N. DMITRIEVSKY –  
Dr. Geo.-Min. Sci., prof.

O. N. KULISH – Dr. Eng. Sci., prof.

A. L. LAPIDUS – Dr. Chem. Sci., prof.

LI GO IUY – prof. (China)

N. A. MAKHUTOV – Dr. Eng. Sci., prof.

B. P. TONKONOGOV –  
Dr. Chem. Sci., prof.

Ch. TRAVERS – prof. (France)

V. A. KHAVKIN – Dr. Eng. Sci., prof.

M. TSEKHANOVSKA –  
Dr. Eng. Sci., prof. (Poland)

Журнал издается в Российском  
государственном университете  
нефти и газа им. И. М. Губкина

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ И ГАЗА

С. Г. Дьячкова, Ж. Н. Артемьева, М. А. Горевая

ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ  
ДЕСУЛЬФИРИЗАЦИИ СУДОВОГО МАЛОВЯЗКОГО ТОПЛИВА –  
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ..... 3

Ю. В. Вострикова, В. М. Капустин

КОМПЛЕКСНАЯ РЕАГЕНТНАЯ ЗАЩИТА  
УСТАНОВКИ ВИСБРЕКИНГА С ЦЕЛЬЮ  
УВЕЛИЧЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНОГО ПРОБЕГА..... 7

### ИССЛЕДОВАНИЯ

Н. И. Брызгалов, А. Ф. Кемалов, Р. А. Кемалов

НЕФТЯНОЙ КОКС И ЕГО НЕЦЕЛЕВЫЕ ФРАКЦИИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ  
ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА ..... 13

### ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

А. Н. Абдулла Имад, Р. А. Абдулкадер Каис, А. Г. Аль-Агбари Сара,  
О. А. Аль-Беадун Абдулкадер

ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ФОРМАЦИИ КИШН  
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ..... 20

**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА**

А. А. Абросимов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ  
И ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ  
ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ  
СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ..... 26

А. Н. Кабиров, Н. Н. Ситдилов,  
А. Ю. Лыкова, Р. Т. Горданов

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДАВЛЕНИЯ  
ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ  
В КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ..... 33

**ТРАНСПОРТ НЕФТИ И ГАЗА**

И. Л. Сарычев, А. С. Кузьбожев, И. Н. Бирилло, И. В. Шишкин

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ БОКОВОГО  
ОГОЛЕНИЯ ГАЗОПРОВОДА..... 39

Т. Банерджи, Р. А. Шестаков

МАСШТАБИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНОЙ ПРИСАДКИ ..... 45

А. Д. Бабакин

СНИЖЕНИЕ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДРОССЕЛИРОВАНИИ  
ГАЗА С ПОМОЩЬЮ ДРОССЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ ..... 50

А. А. Игнатик

ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН  
И РЕСУРСА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ..... 55

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

А. Д. Бабакин

ВНЕДРЕНИЕ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО ЦИКЛА  
В СИСТЕМЕ РЕДУЦИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОГО ГАЗА..... 62

Директор по информации  
Н. П. ШАПОВА

Редактор  
В. С. ДМИТРИЕВА

Верстка  
В. В. ЗЕМСКОВ

Подготовка материалов  
Т. С. ГРОМОВА

Издатель — Международный центр  
науки и технологий «ТУМА ГРУПП»

Адрес редакции:  
105318, г. Москва,  
Измайловское шоссе, д. 20-1Н

e-mail: tng98@list.ru

Интернет: <http://www.nitu.ru>

При перепечатке любых  
материалов ссылка на журнал  
«Технологии нефти и газа» обязательна

**№4<sup>(147)</sup> 2023**

Журнал зарегистрирован  
в Министерстве РФ по делам печати,  
телерадиовещания и средствам  
массовой коммуникации  
Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-16415 от 22.09.2003 г.

ISSN 1815-2600

Включен в перечень изданий  
Высшей аттестационной комиссии  
Министерства образования  
и науки РФ

Тираж 1200 экз.

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

Материалы авторов  
не возвращаются

Отпечатано в ООО ИПФ «СТРИНГ»  
424006, Республика Марий Эл,  
г. Йошкар-Ола, ул. Строителей, 95

## **Побочные продукты окислительной десульфуризации судового маловязкого топлива — перспективные ингибиторы коррозии**

С. Г. Дьячкова<sup>1</sup>, Ж. Н. Артемьева<sup>2</sup>, М. А. Горевая<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,

<sup>2</sup>АО «Ангарская нефтехимическая компания» (АО «АНХК»),

dyachkova@ex.istu.edu

*Исследования, представленные в статье, свидетельствуют, что побочный продукт окислительной десульфуризации топлива маловязкого судового является перспективным ингибитором кислотной коррозии, проявляя в среде диметилформамида антикоррозионную активность по отношению к углеродистой стали марки Ст3сп со степенью защиты 75,5%. Это позволит не только упростить материальное обеспечение предложенного альтернативного технологического процесса обессеривания топлива и решить экологические задачи, но и сократить потребность промышленности в дорогостоящих импортных реагентах.*

**Ключевые слова:** ингибитор коррозии, сульфоны, сульфоксиды, эфиры сульфокислот,

топливо судовое маловязкое, десульфуризация.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-3-6

S. G. Dyachkova<sup>1</sup>, Zh. N. Artemeva<sup>2</sup>, M. A. Gorevaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University, <sup>2</sup>SC “Angarsk Petrochemical Company” (SC “APCC”)

### **By-Products of Oxidative Desulfurization of Low-Viscosity Marine Fuel – Promising Corrosion Inhibitors**

*The studies described in the article show that the by-product of oxidative desulfurization of low-viscosity marine fuel is a promising inhibitor of acid corrosion, showing anticorrosive activity in dimethylformamide medium with respect to carbon steel grade St3sp with a degree of protection of 75.5%. This will not only simplify the material support of the proposed alternative technological process of desulfurization of fuel and solve environmental problems, but also reduce the need of the domestic industry for expensive imported reagents.*

**Key words:** corrosion inhibitor, sulfones, sulfoxides, sulfonic acid esters, low-viscosity marine fuel, desulfurization.

## **Комплексная реагентная защита установки висбрекинга**

**с целью увеличения межремонтного пробега**

Ю. В. Вострикова, В. М. Капустин

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,

vostrikova.yulia@gmail.com

*Представлен подробный анализ химических реагентов, которые применяются на установках висбрекинга на нефтеперерабатывающих предприятиях. Были определены присадки, которые применяют на ряде НПЗ, такие как пассиватор, ингибитор коксообразования, диспергант, ингибитор коррозии, нефтразлизатор, пеногаситель или антивспениватель. Рассмотрены наиболее уязвимые места технологии установки висбрекинга. Представлена схема с обозначениями зон с возможными проблемами: вспенивание нефтепродукта, загрязнение коксовыми отложениями оборудования, коррозия шлемовых линий, образование сероводорода и других нежелательных компонентов. Комплексный обзор каждого реагента позволяет понять его предназначение на установке, разобраться в механизмах воздействия реагентов.*

*Проанализированы примерный состав каждого реагента, рассмотрены требования, предъявляемые к присадкам.*

**Ключевые слова:** висбрекинг, пассиватор коксоотложения, ингибитор коксообразования, диспергант, ингибитор коррозии, нейтрализатор, антивспениватель, пеногаситель.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-7-12

Yu. V. Vostrikova, V. M. Kapustin

Gubkin Russian State University of Oil and Gas

### **Comprehensive Reagent Protection of the Visbreaking Unit**

#### **in Order to Increase the Overhaul Run**

*A detailed analysis of chemical reagents that are used in visbreaking units at oil refineries is presented. Additives have been identified that are used in a number of refineries, such as a passivator, coke inhibitor, dispersant, corrosion inhibitor, neutralizer, defoamer or antifoaming agent. The most vulnerable points of the visbreaking installation technology are considered. A diagram is presented with the designation of areas with possible problems, namely foaming of the oil product, contamination by coke deposits of equipment, corrosion of helmet lines, the possible formation of hydrogen sulfide and other undesirable components. A comprehensive review of each reagent allows you to understand its purpose at the facility, to understand the mechanisms of the action of reagents. The approximate compositions of each reagent are analyzed, the requirements for additives are considered.*

**Key words:** visbreaking, coking passivator, coking inhibitor, dispersant, corrosion inhibitor, neutralizer, defoamer, antifoam, coke, antifoaming agent, corrosion.

### **Нефтяной кокс и его нецелевые фракции в производстве стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона**

Н. И. Брызгалов, А. Ф. Кемалов, Р. А. Кемалов

Казанский федеральный университет

*ni.bryzgalov@mail.ru*

*В работе представлен краткий анализ современного состояния проблемы расширения сферы использования высокосернистого нефтяного кокса и коксовой мелочи в качестве эффективного композиционного материала стабилизирующей добавки к щебеночно-мастичному асфальтобетону с улучшенными физико-механическими характеристиками, в том числе асфальту с повышенной устойчивостью к колееобразованию.*

**Ключевые слова:** нефтяной кокс, нефтяной битум, целлюлоза, механоактивация, щебеночно-мастичный асфальтобетон.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-13-19

N. I. Bryzgalov, A. F. Kemalov, R. A. Kemalov

Kazan Federal University

### **Petroleum Coke and Non-target Fractions in the Production of a Stabilizing Additive for Stone-Mastic Asphalt**

*The article provides a brief analysis of the current state of the problem of expanding the scope of qualified use of high-sulphur petroleum coke and its non-target fraction such as «coke breeze» as an effective composite material of a stabilizing additive to crushed stone mastic asphalt concrete with improved physical and mechanical characteristics, including increased resistance to rutting asphalt.*

**Key words:** *petroleum coke, petroleum bitumen, cellulose, mechanical activation, stone mastic asphalt.*

### **Обоснование границ формации Кишн на основе комплекса сейсмических данных**

А. Н. Абдулла Имад, Р. А. Абдулкадер Каис, А. Г. Аль-Агбари Сара,

О. А. Аль-Беадун Абдулкадер

Российский университет дружбы народов,

*emad.alshaibani@mail.ru*

*В работе рассмотрены вопросы применения методов 2D и 3D моделирования для обоснования границ формации Кишн на основе комплекса сейсмических данных для месторождения Тавила (Республика Йемен). Предложенные алгоритмы и подходы к выделению границ коллектора и последующему моделированию залежи формации Кишн дают возможность оценить не только строение нефтенасыщенной части, но и возможность обнаружения перспективных зон на добычу нефти для территории соседних месторождений, а также нефтеносных пластов в выше- и нижележащих формациях.*

**Ключевые слова:** *формация Кишн, Тавила, коллектор, сейсмопрофиль, структурные карты.*

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-20-25

A. N. Abdullah Emad, R. A. Abdulqader Qais, A. G. Al-Aghbari Sarah, O. A. Al-Beaduni Abdulqader  
Peoples' Friendship University of Russia

### **Justify the Boundaries of the Qishn Formation Based on a Set of Seismic Data**

*The paper considers the issues of applying 2D and 3D modeling methods to justify the boundaries of the Qishn formation based on a set of seismic data for the Tawila field (Republic of Yemen). The proposed algorithms and approaches to identifying reservoir boundaries and subsequent modeling of the Qishn formation reservoir make it possible to assess not only the structure of the oil-saturated part, but also to assess the possibility of detecting promising oil production zones for the territory of neighboring fields, as well as oil-bearing formations in the upper and lower formations.*

**Key words:** *Qishn formation, Tawila, reservoir, seismic profile, structural maps.*

### **Определение остаточной водонасыщенности и ее распределения в горных породах по данным компьютерной томографии с использованием интегральных интенсивностей спектров поглощения рентгеновского излучения**

А. А. Абросимов

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,

*Abrosimov.a@gubkin.ru*

*В статье представлены методология и результаты исследований по оценке распределения остаточной водонасыщенности в реальных образцах керна с использованием рентгеновской компьютерной томографии. Алгоритм определения остаточной водонасыщенности основан на анализе интегральных интенсивностей спектров поглощения, который также применяется в других методах исследования химического состава вещества, например, инфракрасной спектроскопии, ядерного магнитного резонанса. Данная методика апробирована на стандартных петрофизических образцах терригенных и карбонатных отложений, характеризующимися различными фильтрационно-емкостными свойствами и типом коллектора. Разработанная методика позволила определить распределение остаточной воды в образцах керна, что может служить дополнительной информацией для инженеров-разработчиков нефтегазовых месторождений.*

**Ключевые слова:** компьютерная томография, остаточная водонасыщенность, рентгеновское излучение, спектр поглощения.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-26-32

A. A. Abrosimov

Gubkin Russian State University of Oil and Gas

### **Determination of Residual Water Saturation and Its Distribution in Rocks**

#### **Using Integral Intensities of X-Ray Absorption Spectra of Computed X-Ray Tomography**

*This article describes the methodology and results of studies to assess the distribution of residual water saturation in real core samples using X-ray computed tomography. The algorithm for determining residual water saturation is based on the analysis of integral intensities of absorption spectra, which is also used in other methods of studying the chemical composition of a substance, for example, infrared spectroscopy, nuclear magnetic resonance.*

*This technique has been tested on standard petrophysical samples of terrigenous and carbonate deposits, characterized by various filtration-capacitance properties and collector type. The developed technique made it possible to determine the distribution of residual water in core samples, which can serve as additional information for development engineers of oil and gas fields.*

**Key words:** computed tomography, residual water saturation, X-ray radiation, absorption spectrum.

### **Анализ переходных процессов давления вертикальной скважины в карбонатных коллекторах**

А. Н. Кабиров<sup>1,2</sup>, Н. Н. Ситдииков<sup>1,3</sup>, А. Ю. Лыкова<sup>1,2</sup>, Р. Т. Горданов<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет,

<sup>2</sup>Тюменское отделение «СургутНИПИнефть»,

<sup>3</sup>Филиал ООО «Лукойл-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»,

<sup>4</sup>ООО «Газпром добыча Ноябрьск»,

*sitdik.tiu@bk.ru*

*В работе представлена новая математическая модель нестационарного течения естественно трещиноватой пористой среды, в которой были рассмотрены искусственные трещины, пересекающие вертикальную скважину, и три различные геометрические формы поровых блоков, содержащих плиты, цилиндры и сферы. Решение было получено с использованием преобразования Лапласа и интегрального*

подхода с использованием функции точечного источника. Преобразование полярных координат использовалось для обработки радиального распределения произвольного числа трещин и угла. Модель была проверена путем сравнения с тремя опубликованными случаями.

**Ключевые слова:** карбонатные коллекторы, искусственные трещины, вертикальная скважина, нестационарное течение, модель двойной пористости.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-33-38

A. N. Kabirov<sup>1,2</sup>, N. N. Sitdikov<sup>1,3</sup>, A. Yu. Lykova<sup>1,2</sup>, R. T. Gordanov<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Tyumen Industrial University,

<sup>2</sup>Tyumen branch «SurgutNIPIneft»,

<sup>3</sup>Branch of LLC «Lukoil-Engineering» «KogalymNIPIneft»,

<sup>4</sup>Gazprom Dobycha Noyabrsk LLC

### **Pressure Transient Analysis of a Vertical Well with Multiple Etched Fractures in Carbonate Reservoirs**

*In this paper, a new mathematical model of unsteady flow of a naturally fractured porous medium is presented, in which artificial fractures intersecting a vertical well and three different geometries of pore blocks containing plates, cylinders and spheres were considered. A new solution was obtained using the Laplace transform and an integral approach using the point source function. A polar coordinate transformation was used to process the radial distribution of an arbitrary number of cracks and angle. The model was then tested against three published cases.*

**Key words:** carbonate reservoirs, artificial fractures, vertical well, unsteady flow, dual porosity model.

### **Анализ опасности бокового оголения газопровода**

И. Л. Сарычев<sup>1</sup>, А. С. Кузьбожев<sup>2</sup>, И. Н. Бирилло<sup>2</sup>, И. В. Шишкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Газпром трансгаз Ухта», г. Ухта,

<sup>2</sup>Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта,

*a.kuzbozhev@sng.vniigaz.gazprom.ru*

*В работе представлены результаты оценки влияния конструктивно-технологических параметров участка газопровода (протяженности, наличия и высоты грунта над трубой, рабочего давления, температурного перепада) на значение критической продольной сжимающей силы, определяющей его продольную устойчивость при начальной прямолинейной конфигурации оси. Рассмотрены особенности поведения участка газопровода с криволинейной конфигурацией оси в процессе его эксплуатации и условия продольной устойчивости такого участка газопровода после уноса грунта вдоль одной из боковых поверхностей трубы, вызвавшего ее полное оголение.*

**Ключевые слова:** газопровод, оголение трубы, стрелка прогиба, продольная устойчивость.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-39-44

I. L. Sarychev<sup>1</sup>, A. S. Kuzbozhev<sup>2</sup>, I. N. Birillo<sup>2</sup>, I. V. Shishkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazprom Transgaz Ukhta LLC,

<sup>2</sup>Branch of Gazprom VNIIGAZ LLC in Ukhta

## **Analysis of the Danger of Lateral Exposure of the Gas Pipeline**

*This article presents the results of assessing the influence of the structural and technological parameters of the gas pipeline section (length, presence and height of soil above the pipe, operating pressure, temperature drop) on the value of the critical longitudinal compressive force determining its longitudinal stability at the initial rectilinear axis configuration. The article also discusses the features of the behavior of a section of a gas pipeline with a curved axis configuration during its operation and the conditions of longitudinal stability of such a section of the gas pipeline after the removal of soil along one of the lateral surfaces of the pipe, which caused its complete exposure.*

**Key words:** gas pipeline, pipe exposure, deflection of pipeline, longitudinal stability.

## **Масштабирование гидравлической эффективности противотурбулентной присадки**

Т. Банерджи, Р. А. Шестаков

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,

*shestakov.r@gubkin.ru*

*Установлена зависимость гидравлической эффективности противотурбулентной присадки на реальных объектах в стендовых или лабораторных условиях для двух случаев: гладкой и шероховатой стенки трубопровода. Выполнен анализ зависимостей для вычисления коэффициента гидравлического сопротивления при движении потока с присадками в трубопроводах различного диаметра.*

*Проанализирована зависимость гидравлической эффективности противотурбулентной присадки от диаметра трубопровода. В ходе преобразований, в том числе с помощью функции Ламберта, выявлена явная зависимость гидравлической эффективности противотурбулентной присадки в условиях разных диаметров для гладких труб и неявная зависимость для шероховатых труб.*

**Ключевые слова:** противотурбулентная присадка, гидравлическое сопротивление, стендовые испытания, методы масштабирования, функциональная связь.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-45-49

T. Banerji, R. A. Shestakov

Gubkin Russian State University of Oil and Gas

## **Scaling the Hydraulic Efficiency of a Drag-Reducing Agent**

*The purpose of this article is to deduce the dependence of the hydraulic efficiency of drag-reducing agent on real objects on the hydraulic efficiency of drag-reducing agent in bench or laboratory conditions for two cases: smooth and rough pipeline wall. The method used in this article is a mathematical analysis of the dependencies of the efficiency of drag-reducing agent in pipelines of different diameters with different roughness of the pipeline wall. This article analyzes the dependencies for calculating the coefficient of hydraulic resistance during flow in pipelines of various diameters. The dependence of the hydraulic efficiency of the drag-reducing agent on the diameter of the pipeline is analyzed. In the course of transformations, including using the Lambert function, an explicit dependence of the hydraulic efficiency of drag-reducing agent under conditions of different diameters for smooth pipes and an implicit dependence for rough pipes was revealed.*



**Key words:** *drag-reducing agent, hydraulic resistance, experimental studies, bench tests, scaling methods, functional communication.*

## **Снижение гидратообразования при дросселировании газа с помощью дроссельной камеры**

А. Д. Бабакин

ООО «Газпром добыча Надым»,

*babakin-aleksandr@yandex.ru*

*Газовые гидраты, образующиеся вследствие дросселирования потока, способны привести к аварии системы добычи и транспорта газа ввиду уменьшения проходного сечения трубопроводов. Проведенный анализ изменения температуры газа при большом перепаде на запорной арматуре позволяет сделать вывод, что полное насыщение газа имеющейся в нем влагой – основное условие возникновения газовых гидратов.*

*В процессе подготовки газа изменяется температура его точки росы. Совокупность графиков гидратообразования и точки росы для конкретных параметров рабочей среды формируют область величин, в которой образуются газовые гидраты. Предлагаемая конструкция дроссельной камеры позволяет снизить значения перекачки до условий, исключающих гидратообразование. Представлен расчет основных геометрических и физических величин, подтверждающих эффективное распределение давления по эллиптической форме проходного сечения дроссельной камеры. Использование дроссельной камеры обеспечит увеличение срока эксплуатации регулирующей арматуры и увеличит надежность функционирования элементов добычи и транспорта газа.*

**Ключевые слова:** *уменьшение гидратообразования, дросселирование, энтропия и энтальпия газа, дроссельная камера.*

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-50-54

A. D. Babakin

Gazprom Dobycha Nadym LLC

## **Reduction of Hydrate Formation During Gas Throttling Using a Throttle Chamber**

*The analysis of the gas temperature change with a large drop on the shut-off valve forms a conclusion: the complete saturation of the gas with moisture present in it is the main condition for the occurrence of gas hydrates. In the process of gas preparation, the temperature of its dew point changes. A set of graphs of hydrate formation and dew points for specific parameters of the working medium form a range of values in which gas hydrates are formed. The proposed design of the throttle chamber allows you to reduce the pumping values to conditions that exclude hydrate formation. The calculation of the basic geometric and physical quantities confirming the effective distribution of pressure along the elliptical shape of the flow section of the throttle chamber is displayed. The use of a throttle chamber will ensure an increase in the service life of the control valves and increase the reliability of the functioning of gas production and transport elements.*

**Key words:** *reduction of hydrate formation, throttling, entropy and enthalpy of gas, throttle chamber.*

## **Оценка скорости развития трещин и ресурса магистральных трубопроводов**

А. А. Игнатик

Ухтинский государственный технический университет,

*tolik.ignatik@yandex.ru*

*В статье на основе таких деформационных параметров, как интенсивность деформаций и объемная деформация, выполнены расчеты скорости роста глубины усталостных и стресс-коррозионных трещин, а также предельного срока эксплуатации участка трубопровода и разрушающего числа циклов нагружения внутренним давлением. Приведены графики зависимости скорости роста трещины, ее глубины, интенсивности деформаций, объемной деформации в дефектной зоне от продолжительности эксплуатации трубопровода. В ходе вычислительных экспериментов для магистрального трубопровода определены разрушающая глубина дефектов, ресурс трубопровода с трещинами, имеющими разную начальную глубину и длину.*

**Ключевые слова:** интенсивность деформаций, критерий разрушения, прочность, ресурс, стресс-коррозионный дефект, трещина, трубопровод.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-55-61

A. A. Ignatik, Ukhta State Technical University

## **Use of an Expander-Generator Cycle in Fuel Gas Reduction Unit**

*In this article, based on determining strain parameters such as the equivalent (von Mises) strain and average strain, calculations of the depth growth rate of fatigue and stress-corrosion cracks as well as the operating life of the pipeline sections are performed. The results are presented as the operating time to failure and cycles number to failure by loading internal pressure. The obtained graphs of the dependence of the crack growth rate, crack depth, equivalent (von Mises) strain, average strain in the defective zone on the pipeline operation time are presented. During computational experiments for the main pipeline the destructive depth of defects, the residual operating life of the pipeline with cracks having different initial depth and length were determined.*

**Key words:** *equivalent strain, fracture criterion, strength, residual operating life, stress corrosion cracking, crack, pipeline.*

## **Внедрение детандер-генераторного цикла в системе редуцирования топливного газа**

А. Д. Бабакин

ООО «Газпром добыча Надым»,

*babakin-aleksandr@yandex.ru*

*Рассмотрена возможность экономии энергоресурсов при транспорте природного газа.*

*Предлагаемое техническое решение основано на применении детандер-генераторной установки в узле подготовки топливного и импульсного газа. На примере компрессорной станции предложена схема установки в блоке редуцирования топливного газа детандер-генераторного агрегата (ДГА), с помощью которого можно вырабатывать дополнительные электроэнергию и холод, при этом теплота охлаждаемого воздуха не сбрасывается в окружающую среду. Приведены технические характеристики применяемого ДГА, а также расчет экономической эффективности.*

**Ключевые слова:** детандер-генераторный агрегат, узел подготовки топливного и импульсного газа, узел редуцирования топливного газа, экономия электрической энергии.

DOI: 10.32935/1815-2600-2023-147-4-62-64

A. D. Babakin

Gazprom Dobycha Nadym LLC

### **Use of an Expander-Generator Cycle in Fuel Gas Reduction Unit**

*The possibility of saving energy resources in the transport of natural gas is considered – one of the most energy-consuming resources, which is characterized by large losses of energy used. The proposed technical solution is based on the use of an expander generator set in the fuel and pulse gas preparation unit. Using the example of a compressor station, a scheme is proposed for installing an expander-generator unit (DGA) in the fuel gas reduction unit, with the help of which additional electricity and cold can be generated. At the same time, the heat of the cooled air is not discharged into the environment, that is. the operation of the installation is characterized by high environmental indicators. The paper presents the technical characteristics of the DGA used, as well as the calculation of economic efficiency.*

**Key words:** *expander-generator unit, fuel and pulse gas preparation unit, fuel gas reduction unit, electric energy saving.*