



БЕЗОПАСНОСТЬ

ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Occupational Safety in Industry

№ 12
2017

Ежемесячный научно-производственный журнал www.btpnadzor.ru

ISSN 0409-2961



*С наступающим Новым годом
и Днем энергетика!*



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-43428

Журнал основан в январе 1932 г.

Редакционный совет

Алешин А.В., Буйновский С.Н. (главный редактор), Буй С.Н. (Вьетнам), Ван Вингерден К. (Норвегия), Голик В.И., Грачёв В.А., Дмитриевский А.Н., Егоров М.П., Заксенхофер Р. (Австрия), Караторгаев М.Н. (Казахстан), Кловач Е.В., Ключев В.В., Котов С.Г. (Белоруссия), Красных Б.А., Кудряшов А.Н. (Белоруссия), Кунанбаев Н.С. (Казахстан), Малышев Ю.Н., Махутов Н.А., Муратбеков К.К. (Киргизия), Непоседова Ю.П., Печёркин А.С., Радионов С.Г., Рафат Г. (Германия), Рыбас А.Л., Сафаров Р.С. (Азербайджан), Сидоров В.И., Татыгулова Ч.С. (Киргизия), Трёмбицкий А.В., Трубецкой К.Н., Ферাপонтов А.В., Шевчук В.Г. (Украина), Шмаль Г.И.

Editorial board

Aleshin A.V., Buinovskiy S.N. (Editor-in-chief), Bui Xuan Nam (Vietnam), Van Wingerden K. (Norway), Golik V.I., Grachev V.A., Dmitrievskiy A.N., Egorov M.P., Sachsenhofer R.F. (Austria), Karatorgaev M.N. (Kazakhstan), Klovach E.V., Kluev V.V., Kotov S.G. (Belarus), Krasnykh B.A., Kudryashov A.N. (Belarus), Kunanbaev N.S. (Kazakhstan), Malyshev Yu.N., Makhutov N.A., Muratbekov K.K. (Kirghizia), Neposedova Yu.P., Pecherkin A.S., Radionova S.G., Rafat G. (Germany), Rybas A.L., Safarov R.S. (Azerbaijan), Sidorov V.I., Tatygulova Ch.S. (Kirghizia), Trembitskiy A.V., Trubetskoi K.N., Ferapontov A.V., Shevchuk V.G. (Ukraine), Shmal G.I.

Редакционная коллегия

Буйновский С.Н., Агапов А.А., Божко Д.И., Буйко К.В., Гонтаренко А.Ф., Гражданкин А.И., Ермак Г.П., Ефимов В.И., Жулина С.А., Зубихин А.В., Иваницкая Е.В., Кадушкин Ю.В., Карабанов Ю.Ф., Климова М.А., Кручинина И.А., Лисанов М.В., Матвиенко Ю.Г., Низовцев А.В., Пиляев Н.А., Селезнёв Г.М., Феоктистов А.А., Филатов А.П., Фролов Д.И., Чернышев В.В., Чуркин Г.Ю., Шалаев В.К., Яковлев Д.А.

Editorial staff

Buinovskiy S.N., Agapov A.A., Bozhko D.I., Bujko K.V., Gontarenko A.F., Grazhdankin A.I., Ermak G.P., Efimov V.I., Zhulina S.A., Zubikhin A.V., Ivanitskaya E.V., Kadushkin Yu.V., Karabanov Yu.F., Klimova M.A., Kruchinina I.A., Lisanov M.V., Matvienko Yu.G., Nizovtsev A.V., Pilyaev N.A., Seleznev G.M., Feoktistov A.A., Filatov A.P., Frolov D.I., Chernyshev V.V., Churkin G. Yu., Shalaev V.K., Yakovlev D.A.

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, сформированный ВАК Минобрнауки России.

The journal is included into the List of the leading reviewed scientific journals and editions, in which the main scientific results of theses on a competition of academic degrees of the candidate and doctor of science shall be published. The List is formed by the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

№ 12 · 2017

Учредители/Founders



Федеральная служба
по экологическому,
технологическому и атомному
надзору (Ростехнадзор)

The Federal Environmental, Industrial
and Nuclear Supervision Service
(ROSTECHNADZOR)



Закрытое акционерное
общество «Научно-технический
центр исследований проблем
промышленной безопасности»
(ЗАО НТЦ ПБ)

Closed Joint Stock Company
«Scientific Technical Center of
Industrial Safety Problems Research»
(STC «Industrial Safety» CJSC)

Издатель

ЗАО НТЦ ПБ: 105082, Москва, Переведеновский пер.,
д. 13, стр. 14, а/я 38
Тел.: +7 (495) 620-47-47; факс: +7 (495) 620-47-46
ntc@safety.ru; www.safety.ru

Publisher

STC «Industrial Safety» CJSC, Block 14, Perevedenovsky
Pereulok 13, P.O.B. 38, 105082, Moscow
Tel.: +7 (495) 620-47-47; Fax: +7 (495) 620-47-46
ntc@safety.ru www.safety.ru

Редакция

105082, Москва, Переведеновский пер.,
д. 13, стр. 14, а/я 38
Телефакс: +7 (495) 620-47-44; btp@safety.ru,
redbtp@safety.ru; www.btpnadzor.ru
Отдел рекламы — К.М. Игнатова,
ignatova@safety.ru.
Тел. +7 (495) 620-47-54

Editorial staff

Block 14, Perevedenovsky Pereulok 13,
P.O.B. 38, 105082, Moscow
Telefax: +7 (495) 620-47-44; btp@safety.ru,
redbtp@safety.ru; www.btpnadzor.ru
Advertizing department — Ignatova K.M.,
ignatova@safety.ru.
Tel. +7 (495) 620-47-54

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (двухлетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,458, пятилетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,352, десятилетний индекс Хирша — 11), в международную реферативную базу данных Chemical Abstracts Service (CAS) и в базы данных компании EBSCO Publishing.

The journal is amongst the Russian journals indexed in the Russian index of the scientific citation (two-year impact-factor of RINTs without self-citation — 0,458, a five-year impact-factor of RINTs without self-citation — 0,352, ten-year Hirsch index — 11), in the international abstract database — Chemical Abstracts Service (CAS) and in EBSCO Publishing databases.

Редакция не несет ответственности за достоверность и точность приведенных фактов, экономико-статистических данных и прочих сведений, содержащихся в авторских публикациях. Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Безопасность труда в промышленности», только с разрешения редакции.

Материалы, представленные в редакцию, авторам не возвращаются.

За содержание рекламы ответственность несет рекламодатель.

На 1-й с. обл.: Красноярская ГЭС, отметившая в ноябре 2017 г. 50-летие пуска первого энергоблока, фото пресс-службы Красноярской ГЭС

Компьютерная подготовка и верстка —
С.В. Косторнова

Подписано в печать 11.12.17

Формат 60x90 1/8

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Тираж 3450 экз. Зак. 17-4372

Цена 869 руб.

Отпечатано в АО «Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

109548, г. Москва, ул. Шоссейная, д. 4д.

Тел. +7 (495) 276-16-06.

Computer-aided preparation and makeup —
S.V. Kostornova

Signed for printing 11.12.17

Format 60x90 1/8

Enameled stock. Indirect printing

Circulation 3450 copies. Order 17-4372

Price — 869 RUB

Printed in AO «Polygraphic complex «Pushkinskaya
Ploshiyad»

Shosseynaya str., Block 4 D, 109548, Moscow

Tel. +7 (495) 276-16-06.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

Наука и техника5

Science and Technology.....5

Черданцев Н.В.5

Об одном варианте расчета траектории движения трещины, нагруженной внутренним давлением, в кровле пластовой выработки

Cherdantsev N.V.5

About One Option of Calculation of the Trajectory of the Movement of Crack Loaded with Internal Pressure in the Roof of the In-seam Working

Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Филатов Ю.М.11

Об эффективности дегазации выемочных участков для условий пологих пластов юга Кузбасса

Govorukhin Yu.M., Domrachev A.N., Krivolapov V.G., Paleyev D.Yu., Filatov Yu.M.11

On the Efficiency of Degassing of the Extraction Sites for the Conditions of Flat Layers of Kuzbass South

Хасанова А.Ф., Галлямов М.А., Закирова З.А.18

Повышение эффективности теплообменных процессов на производстве

Khasanova A.F., Gallyamov M.A., Zakirova Z.A.18

Increase of Heat Exchange Processes Efficiency at Production Site

Феклистов Ю.Г., Зубков А.В., Криницын Р.В.22

Контроль напряженного состояния горных и строительных объектов полярископом ПШК-С

Feklistov Yu.G., Zubkov A.V., Krinitsin R.V.22

Control of Strained Condition of Mining and Construction Objects by Polariscope PSHK-S

Проблемы, суждения28

Views and Opinions28

Жулина С.А., Лисанов М.В., Жуков И.С., Козельский В.В., Крюков А.С., Кульберг С.Б.28

О подходах к определению границ регламентированных значений параметров технологических процессов

Zhulina S.A., Lisanov M.V., Zhukov I.S., Kozelsky V.V., Kryukov A.S., Kulberg S.B.28

On the Approaches to Identifying Boundaries of the Regulated Values of the Technological Processes Parameters

Насибулин А.Г., Гольдт А.Е., Оверченко М.Н.35

Способ скрытой маркировки промышленных взрывчатых веществ с использованием химического штрихкода

Nasibulin A.G., Goldt A.E., Overchenko M.N.35

The Method of Hidden Marking of Industrial Explosives Using Chemical Bar-Code

Лесконог А.А., Чуркин Г.Ю., Бекасов Ю.В.41

Основные проблемы обеспечения промышленной безопасности криогенных трубопроводов сжиженного природного газа

Leskonog A.A., Churkin G.Yu., Bekasov Yu.V.41

Main Problems of Ensuring Industrial Safety of Cryogenic Pipelines of the Liquefied Natural Gas

Об эффективности дегазации выемочных участков для условий пологих пластов юга Кузбасса



Ю.М. Говорухин,
канд. техн. наук, вед.
науч. сотрудник,
govorukhin_ym@mail.ru



А.Н. Домрачев,
д-р техн. наук, проф.,
ст. науч. сотрудник



В.Г. Криволапов,
канд. техн. наук, вед.
науч. сотрудник



Д.Ю. Палеев,
д-р техн. наук, проф.,
начальник отдела



Ю.М. Филатов,
канд. техн. наук, ген.
директор

ФГКУ «Национальный горноспасательный центр», Новокузнецк, Россия

АО «НЦ ВостНИИ»,
Кемерово, Россия

Выполнено математическое моделирование процессов формирования газового коллектора в выработанном пространстве выемочного участка угольной шахты. Результаты исследований представлены в виде 3D-моделей и изоповерхностей слоев трехмерной разностной сетки. Предложены рекомендации по повышению эффективности дегазации выемочных участков для условий пологих пластов южной части Кузнецкого бассейна.

Ключевые слова: выемочный участок, выработанное пространство, пласты, спутники, метан, аэродинамические сопротивления, газовый коллектор, метановыделение, дегазация, эффективность дегазации.

DOI: 10.24000/0409-2961-2017-12-11-17

Введение

Как известно, выработанные пространства (ВП) выемочных участков угольных шахт считаются составной частью шахтной вентиляционной сети (ШВС). Они имеют аэродинамическую связь с действующими выработками, поэтому существует возможность создания единой математической модели ШВС и ВП в целях: прогноза и текущего контроля объемов фильтрационных потоков в обрушенной среде; выявления участков зоны обрушения, в которых происходят процессы формирования газового коллектора с большими объемами метана; проектирования эффективных систем управления газовой выделением в пределах ВП.

При этом приходится сталкиваться с рядом специфичных проблем. Наиболее существенная из них — несовместимость математических моделей, описывающих движение воздуха в ВП и выработках: первая решается с привлечением аппарата дифференциальных уравнений математической физики, вторая — с использованием классических законов Кирхгофа, основывающихся на алгебраических соотношениях.

В работе [1] приведен подход, в основу которого положен метод разностной аппроксимации уравнений турбулентной фильтрации газа в ВП. Предлагаемые математические представления расчетной области ВП позволяют рассматривать его модель как часть модели ШВС. В работах [2–6] указывается, что для корректного определения параметров фильтрации метановоздушных смесей (МВС) в ВП необходимо описание геомеханических процессов, происходящих в углепородном массиве, и газодинамических, протекающих в ВП.

Для моделирования геомеханических процессов, происходящих в массиве при подвигании очистного забоя, возможно применение авторского пакета компьютерных программ «Геомеханика» (кафедра геотехнологии СибГИУ), основанного на применении метода конечных элементов. Исходными данными в нем являются [7]: горно-геологическое строение углевлещающего массива, основные физико-механические свойства слагающих пород, горнотехнические и геометрические параметры. На выходе получаем распределение напряжений, деформаций и коэффициента остаточной прочности

(отношение остаточной прочности в деформируемом массиве к паспортной в нетронutom массиве) в окружающем выемочный участок массиве. Результаты расчетов позволяют получить данные, необходимые для определения аэродинамических сопротивлений пористой среды.

Для моделирования газодинамических процессов в ВП авторами рассмотрена возможность использования математической модели, реализованной в дополнительном модуле программного комплекса (ПК) «Вентиляция». Фильтрация газа здесь рассчитывается на основе классических уравнений газовой динамики на прямоугольной разностной сетке, которая рассматривается как пространственно-ориентированный связный граф. Ветви этого графа также несут дополнительную информацию об их ориентации относительно координатных осей.

Основная часть

Фильтрационные потоки в обрушенных породах описываются уравнениями турбулентной фильтрации, которые для случая прямолинейного движения по осям x, y, z в декартовой системе координат приводятся к общепринятому виду двучленного закона сопротивления:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial x} &= -\left(\frac{\mu}{k} + \frac{\rho}{l}|U|\right)u_x; \\ \frac{\partial P}{\partial y} &= -\left(\frac{\mu}{k} + \frac{\rho}{l}|U|\right)u_y; \\ \frac{\partial P}{\partial z} &= -\left(\frac{\mu}{k} + \frac{\rho}{l}|U|\right)u_z, \end{aligned} \quad (1)$$

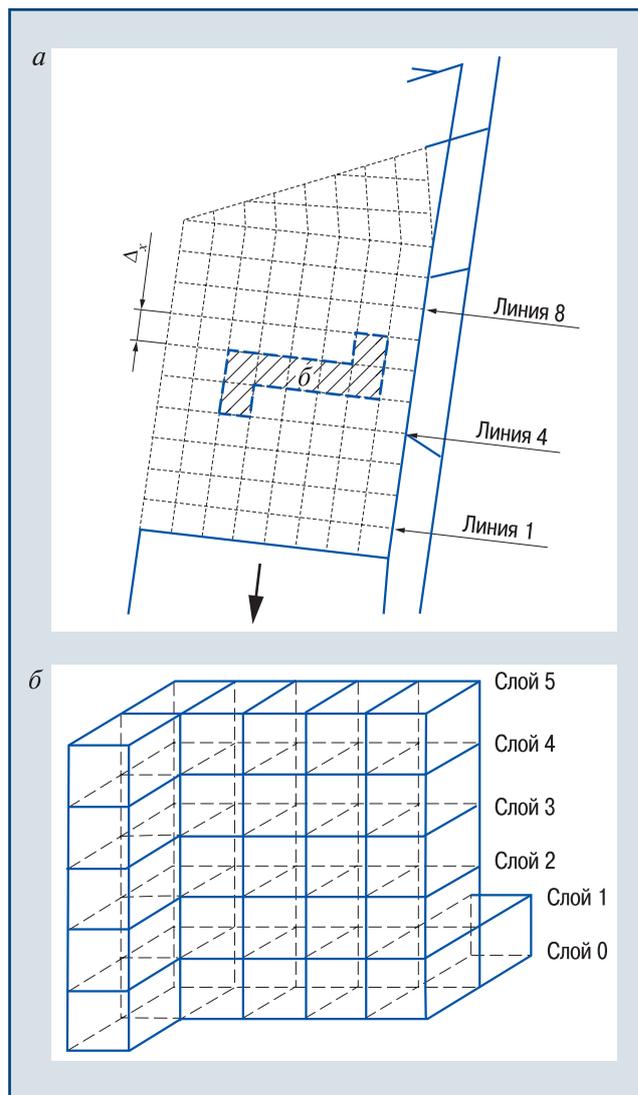
где P — давление газа, Па; μ — коэффициент динамической вязкости газа, Па·с; k — коэффициент проницаемости, m^2 ; ρ — плотность газа, kg/m^3 ; l — коэффициент макрошероховатости, м; u_x, u_y, u_z — проекции вектора фильтрационной скорости газа U на оси декартовой системы координат, м/с.

Однако, принимая во внимание сложность объединения геомеханической и газодинамической моделей для применения двучленного закона сопротивления, а также то, что в пористых средах распределение пустот — беспорядочное, хаотичное и фильтрационные течения в них характеризуются всегда нерегулярными изменениями линий тока, сделаем допущение, что фильтрация в ВП происходит в турбулентном режиме.

Для решения задач воздухораспределения в ВП применен ПК «Вентиляция», в основе которого лежит пространственная математическая модель топологии сети выработок. Этот комплекс позволяет рассчитывать распределение воздуха, депрессии и вентиляционного давления по ШВС любой сложности, состоящей из произвольного числа одновременно работающих источников тяги. Значения аэродинамических сопротивлений частично сохра-

няемых и погашаемых выработок заданы по [8], обрушенной среды ВП — [8, 9].

Для исследования газораспределения в ВП при различных способах газоуправления выбрана модель ВП, построенная по горно-геологическим и горно-техническим параметрам условного выемочного участка пласта 26. По ширине и длине участок, на котором определена трехмерная разностная сетка, ограничен длиной очистного забоя $L = 200$ м и расстоянием от очистного забоя до монтажной камеры (300 м). Принято, что разностная сетка имеет шесть слоев («слой 0» — «слой 5») с расстоянием между ними 3 м. «Слой 0» соответствует почве ВП, а «слой 5» — зоне трещин и разломов над сводом естественного обрушения пород основной кровли (рис. 1, здесь Δ_x — шаг разностной сетки вдоль оси x , м).



▲ **Рис. 1. Схема дискретизации расчетной области ВП на элементарные объемы**
Fig. 1. Extraction area diagram of separation to elementary volumes

Метановыделение в ВП задано в соответствии с основными составляющими газового баланса участ-

ка: вмещающие породы и сближенные угольные пласты (спутники), эксплуатационные потери, обнаженные поверхности пласта.

Для расчета метанообильности вмещающих пород, сближенных пластов (спутников), попавших в зону сдвижения массива, а также очистной выработки использована программа «Вентиляция выемочных участков» (свидетельство о государственной регистрации № 2017614796). Все расчеты, выполняемые в программе, проводятся на основании нормативных и руководящих документов [10, 11]. Результатом являются печатные формы отчетных материалов с возможностью их предварительного просмотра на экране. В табл. 1 приведены результаты расчета относительной метанообильности подрабатываемых пластов (здесь $m_{\text{сп}}$ — суммарная мощность угольных пачек пласта (спутника), м; $M_{\text{сп}}$ — расстояние от разрабатываемого пласта до пласта (спутника), м; $A_{3.с}$ — зольность сближенного пласта, %; W_c — пластовая влажность сближенного пласта, %; X_r — природная газоносность пласта, м³/т с.б.м.; $X_{ог}$ — остаточная газоносность угля, м³/т с.б.м.; X — природная газоносность пласта, м³/т; X_o — остаточная газоносность угля, м³/т; M_p — расстояние по нормали между разрабатываемым и сближенным пластами, при котором метановыделение из последнего практически равно нулю,

м; $q_{\text{сп.п}}$ — относительное метановыделение из отдельного подрабатываемого пласта, м³/т).

Как источник газовой выделение над- и подрабатываемые пласты (спутники) оказывают непосредственное влияние на газораспределение соответственно в нижнем и верхнем слоях трехмерной разностной сетки модели ВП.

Вблизи очистного забоя, на расстоянии, равном шагу обрушения основной кровли, плотность газовой выделение имеет максимум [12]. По мере удаления от очистной выработки она монотонно снижается, приближаясь к нулю на расстоянии 150–200 м вглубь ВП. Расчет расстояний до зоны максимального газовой выделение для каждого над- и подрабатываемого пласта (спутника), попавшего в зону влияния горных работ, выполнен по формуле [12]

$$x_m = 9 + 0,82L, \quad (2)$$

где x_m — расстояние от очистного забоя до зоны максимального газовой выделение, м; L — расстояние между сближенным и разрабатываемым пластами, м.

Принято, что в зоне максимального газовой выделение из пласта (спутника) выделяется 80 % объема метана (см. табл. 1), а остальные 20 % — равномерно на расстоянии 150–200 м. В табл. 2 приведены результаты расчета и распределение по линиям ветвей

Таблица 1

Наименование пласта	$m_{\text{сп}}, \text{ м}$	$M_{\text{сп}}, \text{ м}$	$A_{3.с}, \%$	$W_c, \%$	$X_r, \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$	$X_{ог}, \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$	$X, \text{ м}^3/\text{т}$	$X_o, \text{ м}^3/\text{т}$	$M_p, \text{ м}$	$q_{\text{сп.п}}, \text{ м}^3/\text{т}$
Пласт	0,25	40	8,3	3,5	17,0	2,5	14,99	2,20	184,6	1,19
Пласт	0,10	44	7,0	3,4	17,0	2,5	15,23	2,24	184,6	0,47
Пласт	0,50	50	6,9	3,5	16,9	2,5	15,14	2,24	184,6	2,24
Пласт 26в	0,50	70	7,3	3,5	16,5	2,5	14,72	2,23	184,6	1,85
Пласт 27а	0,30	79	8,5	3,4	16,4	2,5	14,45	2,20	184,6	1,00
Пласт 27б	0,40	88	7,0	3,5	16,3	2,5	14,59	2,24	184,6	1,23
Пласт 28	0,60	107	7,5	3,5	15,9	2,5	14,15	2,22	184,6	1,43
Пласт	0,20	123	9,0	3,6	15,7	2,5	13,72	2,18	184,6	0,37
Пласт	0,25	128	8,0	3,6	15,6	2,5	13,79	2,21	184,6	0,42
Пласт 29а	2,60	130	7,6	3,6	15,5	2,5	13,76	2,22	184,6	4,23

Таблица 2

Наименование пласта	$M_{\text{сп}}, \text{ м}$	$x_m, \text{ м}$	$x_m/\Delta_x, \text{ м}$	$q_{\text{сп.п}}, \text{ м}^3/\text{т}$	$I_{\text{сп.п}}, \text{ м}^3/\text{с}$	Линия	$I_{\text{сум.л}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$0,8I_{\text{сум.л}}, \text{ м}^3/\text{с}$
Подрабатываемые пласты								
Пласт	40	41,8	1,6	1,19	0,0482	2	0,1579	0,12632
Пласт	44	45,1	1,8	0,47	0,0190	2	0,1579	0,12632
Пласт	50	50,0	2,0	2,24	0,0907	2	0,1579	0,12632
Пласт 26в	70	66,4	2,6	1,85	0,0749	3	0,1652	0,13216
Пласт 27а	79	73,8	2,9	1,00	0,0405	3	0,1652	0,13216
Пласт 27б	88	81,2	3,2	1,23	0,0498	3	0,1652	0,13216
Пласт 28	107	96,7	3,8	1,43	0,0579	4	0,0899	0,07192
Пласт	123	109,9	4,3	0,37	0,0150	4	0,0899	0,07192
Пласт	128	114,0	4,5	0,42	0,0170	4	0,0899	0,07192
Пласт 29а	130	115,6	4,6	4,23	0,1714	5	0,1714	0,13712
Надрабатываемые пласты								
Пласт	13	19,6	0,8	2,48	0,1005	1	0,1191	0,09528
Пласт	32	35,0	1,4	0,46	0,0186	1	0,1191	0,09528

трехмерной разностной сетки модели, параллельным линиям очистного забоя (здесь $I_{\text{сп.п}}$ — абсолютная метанообильность пласта (спутника), $\text{м}^3/\text{с}$; $I_{\text{сум.л}}$ — суммарный дебит метана по соответствующей линии, $\text{м}^3/\text{с}$; $0,8I_{\text{сум.л}}$ — дебит метана на участке с максимальным газовыделением, $\text{м}^3/\text{с}$).

Газовыделение в очистную выработку, определенное в программе «Вентиляция выемочных участков» для условий принятого выемочного участка, равномерно задано в ветвях нулевого слоя вдоль линии очистного забоя.

Для описания процессов формирования газового коллектора в ВП предложена модель, в которой ВП представлено сетью каналов. Ее особенность — возможность задавать и корректировать значения сопротивлений и утечек через ВП самостоятельно для отдельных ветвей.

На основе разработанной модели ВП проанализированы следующие системы газоправления на участке и их влияние на процессы формирования газового коллектора:

1) прямоточная схема проветривания с выдачей исходящей струи через передовую сбойку без применения изолированного отвода МВС (рис. 2, здесь *a* — в объеме ВП; *б* — изоповерхности распределения метана в слоях трехмерной разностной сетки);

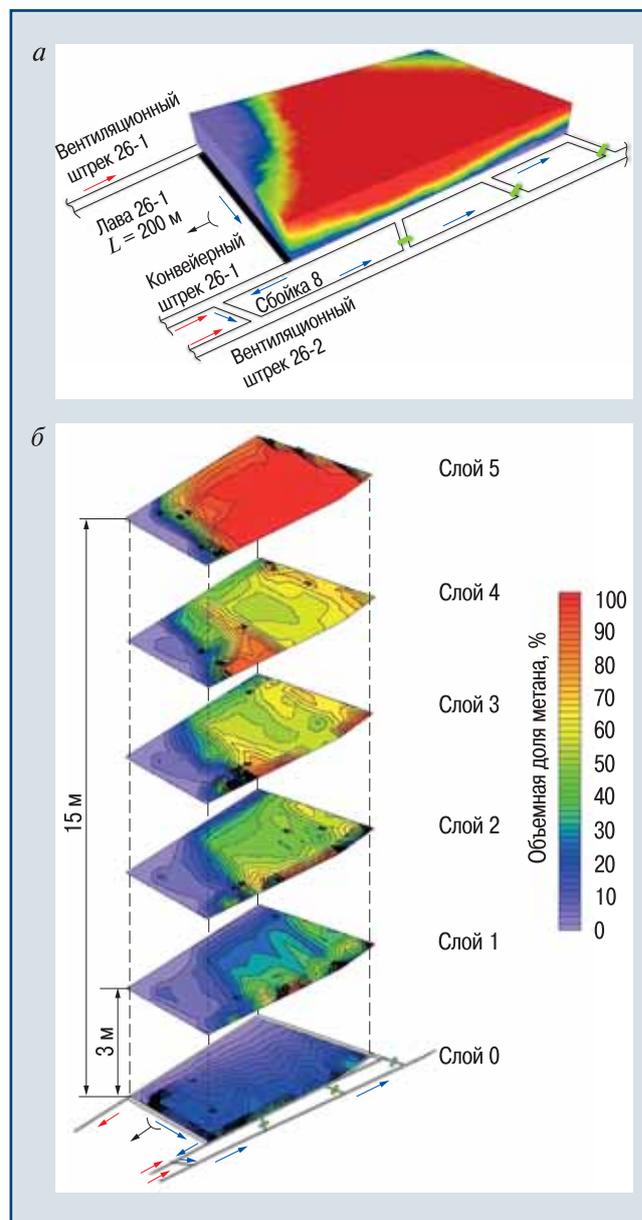
2) прямоточная схема проветривания с выдачей исходящей струи через передовую сбойку с применением изолированного отвода МВС из ВП с помощью газоотсасывающей установки, установленной на устье скважины (рис. 3, здесь *a* — в объеме ВП; *б* — изоповерхности распределения метана в слоях трехмерной разностной сетки);

3) сочетание изолированного отвода МВС и дегазации ВП скважинами, пробуренными с поверхности. Шаг дегазационной сети — 50 м, расстояние включения передовых скважин от линии очистного забоя — 75 м;

4) сочетание изолированного отвода МВС и дегазации ВП по скважинам, пробуренным с поверхности. Шаг дегазационной сети — 75 м, расстояние включения передовых скважин от линии очистного забоя — 75 м;

5) сочетание изолированного отвода МВС и дегазации ВП по скважинам, пробуренным с поверхности. Заложение скважин определено аналитическим путем на основе модели газоправления на выемочном участке с изолированным отводом МВС из ВП, скважины расположены в зонах с максимальной концентрацией метана, порядок дегазационной сети — шахматный, расстояние от передовых скважин до линии очистного забоя — 75 м, число скважин — 7 (рис. 4, здесь *a* — в объеме ВП; *б* — изоповерхности распределения метана в слоях трехмерной разностной сетки).

Эффективность газоправления на участке с точки зрения безопасности ведения работ оценивали сравнением участков ВП, в которых объемная доля

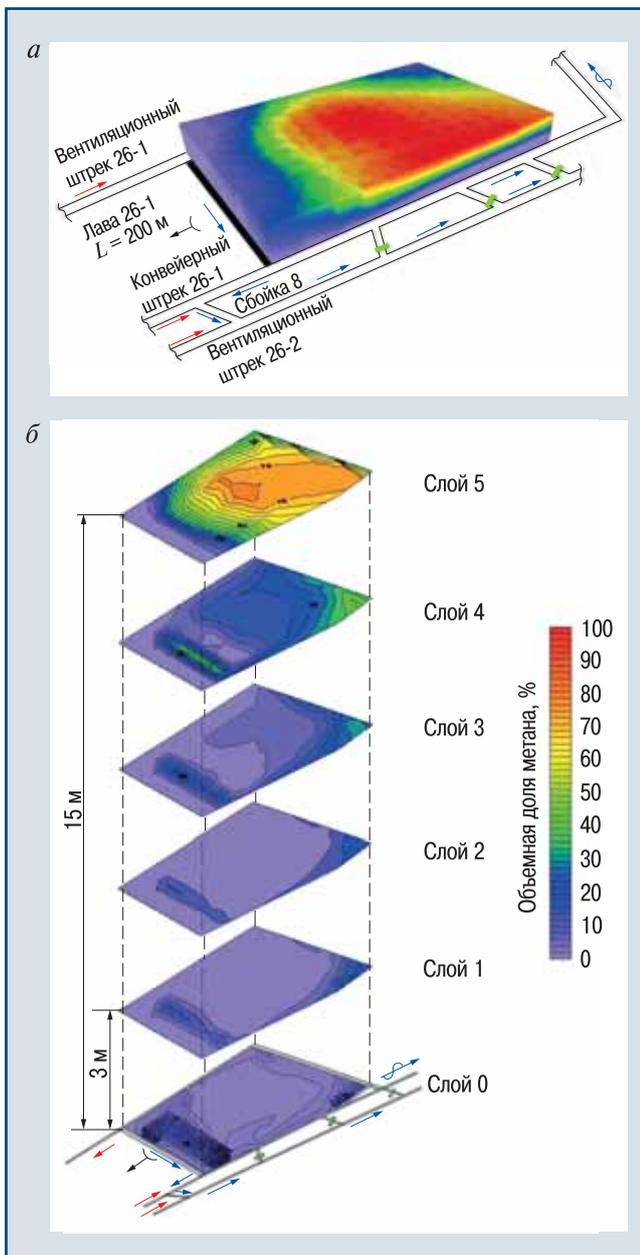


▲ Рис. 2. Распределение метана в ВП при прямоточной схеме проветривания без изолированного отвода МВС

▲ Fig. 2. Distribution of methane in the extraction area at the direct-flow diagram of ventilation without the isolated removal of methane and air mix

метана превышала 5 %. Из рис. 2 видно, что практически вся расчетная область заполнена метаном объемной долей от 10 до 100 %. Согласно рис. 3 в «слое 0» и «слое 1», т.е. на расстоянии 3 м от почвы пласта, отмечены скопления МВС объемной долей метана от 5 до 25 %, в «куполе» обрушения и нижней части зоны трещин и разломов сформирован газовый коллектор (узлы четвертого и пятого слоев), в котором объемная доля метана достигает 100 %.

Для третьей и четвертой систем управления газовыделением отмечено снижение объемной доли метана в МВС, находящейся в ВП, до 3–25 %, причем большая часть данного пространства за-

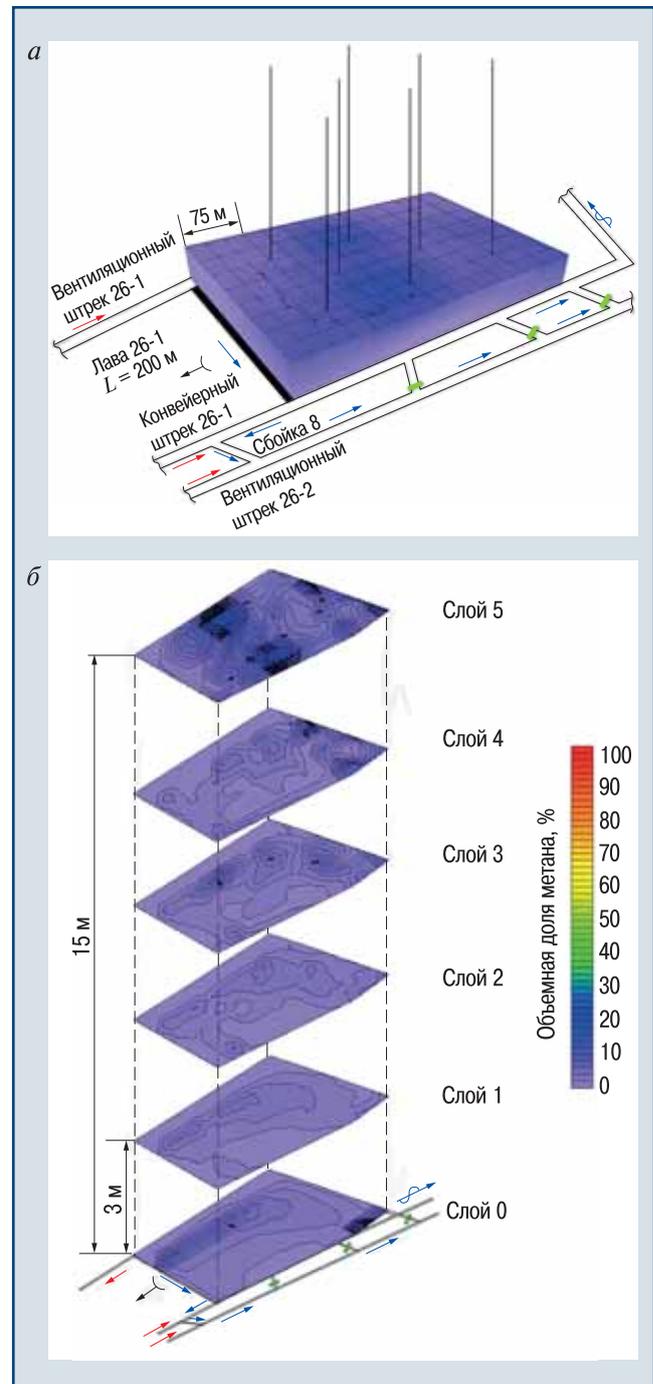


▲ Рис. 3. Распределение метана в ВП при прямоточной схеме проветривания с изолированным отводом МВС

▲ Fig. 3. Distribution of methane in the extraction area at the direct-flow diagram of ventilation with the isolated removal of methane and air mix

полнена МВС с содержанием метана менее 5 %. Опасные же участки с объемной долей метана от 5 до 25 % расположены ближе к призабойной части ВП и обусловлены расстояниями зон максимального метановыделения из надрабатываемых пластов (спутников).

По результатам исследования предложена схема газуправления на принятом выемочном участке с использованием изолированного отвода МВС из ВП и расположением дегазационных скважин, пробуренных с поверхности в зоны максимальных концентраций метана в ВП. Данная схема позволяет



▲ Рис. 4. Распределение метана в ВП при прямоточной схеме проветривания с изолированным отводом МВС и дегазацией скважинами с поверхности

▲ Fig. 4. Distribution of methane in the extraction area at the direct-flow diagram of ventilation with the isolated removal of methane and air mix, and degassing by holes from the surface

сократить объем буровых работ и повысить полезный дебит метана из дегазационных скважин.

По изображению 3D-модели ВП (см. рис. 4, а), построенной на основе массива данных концентраций метана в узлах трехмерной разностной сетки, а также изоповерхностей каждого отдельного слоя (см. рис. 4, б), видно, что изолированный отвод

МВС совместно с дегазацией по предложенной сетке расположения скважин обеспечивает безопасные концентрации метана (менее 5 %) во всей расчетной области ВП, за исключением экстремумов по верхнему пятому слою, не оказывающих особого влияния на процессы формирования газового коллектора.

Место заложения скважин в модели при дегазации с поверхности выбрано с таким расчетом, чтобы после окончания бурения и обсадки перфорированная, забойная часть скважины располагалась в зоне трещин и разломов над участками с максимальными концентрациями метана в 10–15 м над естественным сводом обрушения основной кровли. Таким образом, метан, поступающий из подрабатываемых пластов (спутников), улавливается и отводится по скважинам на поверхность, что снижает его дебит в ВП.

Заключение

На основе результатов моделирования газодинамических процессов в ВП для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий возможно разрабатывать эффективные технико-технологические решения, которые обеспечат: повышение безопасности ведения горных работ, увеличение нагрузки на очистной забой, сокращение объема буровых работ.

Список литературы

1. Палеев Д.Ю., Балаганский М.Ю., Кнышенко А.Н. О численном методе решения стационарной задачи проветривания горных выработок и выработанного пространства шахты// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2010. — № 1. — С. 31–34.
2. Методология моделирования фильтрации газоздушных смесей в выработанном пространстве выемочного участка/ Ю.М. Говорухин, А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов и др.// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2011. — № 1. — С. 72–76.
3. Gharehdash G., Barzegar M. Numerical models currently being developed for use in mining industry// Mine planning and equipment selection. Proceedings of the 22nd MPES Conference. — Drezden: Springer, 2013. — P. 481–490.
4. Guo H., Yuan L. An integrated approach to study of strata behaviour and gas flow dynamics and its application// International Journal of Coal Science & Technology. — 2015. — № 2 (1). — P. 12–21.
5. Liu X., Yang S. Three-dimensional numerical simulation of methane drainage by high-level drill holes in a lower protective coal seam with a «U» type face// International Journal of Coal Science & Technology. — 2014. — № 1 (4). — P. 434–440.
6. Gas drainage from different mine areas: optimal placement of drainage systems for deep coal seams with high gas emissions/ P. Lu, P. Li, J. Chen et al.// International Journal of Coal Science & Technology. — 2015. — № 2 (1). — P. 84–90.
7. Руб С.В., Басов В.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моде-

лирования неоднородных угольных целиков// Вестник сибирского государственного индустриального университета. — 2014. — № 4 (10). — С. 11–14.

8. Временные рекомендации по снижению газообильности выемочных участков шахт Кузбасса поверхностными газоотсасывающими вентиляторами, установленными на устьях вентиляционных скважин. — Кемерово: ВостНИИ, 1987. — 30 с.

9. Гращенков Н.Ф., Петросян А.Э., Фролов М.А. Рудничная вентиляция: справ./ под ред. К.З. Ушакова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1988. — 440 с.

10. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. — Макеевка–Донбасс: МакНИИ, 1989. — 319 с.

11. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. — Сер. 05. — Вып. 18. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. — 152 с.

12. Ушаков К.З. Газовая динамика шахт. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: МГГУ, 2004. — 480 с.

govorukhin_ym@mail.ru

Материал поступил в редакцию 9 ноября 2017 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2017, № 12, pp. 11–17.
DOI: 10.24000/0409-2961-2017-12-11-17

On the Efficiency of Degassing of the Extraction Sites for the Conditions of Flat Layers of Kuzbass South

Information about the Author

Yu.M. Govorukhin, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, govorukhin_ym@mail.ru

A.N. Domrachev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Senior Researcher

V.G. Krivolapov, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher

D.Yu. Paleyev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department Head

FGKU «National Mine Rescue Center», Novokuznetsk, Russia

Yu.M. Filatov, Cand. Sci. (Eng.), General Director

AO Scientific Center of VostNII on Industrial and Ecological Safety in Mining Industry, Kemerovo, Russia

Abstract

The results of the mathematical modeling of processes of gas collector formation in the worked-out area at the development of the extraction pillars by the complex longwall mining. As the worked-out area has aerodynamic connection with the operating developments, it is obvious that it is an integral part of mine ventilation network. Due to the fact that the caved media — the important components of gas balance of the extraction sites, for the development of the effective control systems of gas emission it is required to integrate in them the model of the worked-out area during creation of computer models of the ventilation networks.

The authors have taken into account that cavities distribution in the porous media — irregular, chaotic and filtrational flows are characterized by irregular changes of the current lines. On this basis the assumption is accepted that filtration in the worked-out area happens in the turbulent mode.

To resolve the set problem the Ventilation software complex is applied. During creation of the model the mining-geological and mining-technical conditions of one of the mines of the Baydayevsk field are used. Methane release at the worked-out area is set according to the main components of gas balance. Methane abundance of each source is estimated by means of the Ventilation of the worked-out areas software.

Modeling is done related to aero gasdynamic processes in the worked-out area for different control systems of gas emission at the section. The results of researches are presented in the form of 3D models and isosurfaces of layers of the three-dimensional difference grid. The control system is proposed related to gas emission with the use of the isolated removal of methane and air mix from the developed space by the degassing holes drilled from the surface in the zone of maximum concentration of methane in the collapse zone.

The applied approach allows to develop the effective technical and technological solutions ensuring increase in safety of conducting mining operations and increase in load on the working face.

Key words: worked-out area, developed space, layers, satellite dike, methane, aerodynamic resistance, a gas collector, methane emission, degassing, efficiency of degassing.

References

1. Paleev D.Yu., Balaganskiy M.Yu., Knyshenko A.N. On the numerical method for solving the stationary problem of ventilation of mine workings and the mine worked-out area. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Newsletter of the Scientific Center for Safety of Work in the Coal Industry*. 2010. № 1. pp. 31–34.
2. Govorukhin Yu.M., Domrachev A.N., Krivolapov V.G., Paleev D.Yu., Balaganskiy M.Yu. Methodology of modeling of the filtration of air-gas mixes in the worked-out area of the extraction site. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Newsletter of the Scientific Center on Safety of Works in the Coal Industry*. 2011. № 1. pp. 72–76.
3. Gharehdash G., Barzegar M. Numerical models currently being developed for use in mining industry. Mine planning and equipment selection. Proceedings of the 22nd MPES Conference. Drezden: Springer, 2013. pp. 481–490.
4. Guo H., Yuan L. An integrated approach to study of strata behaviour and gas flow dynamics and its application. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2015. № 2 (1). pp. 12–21.
5. Liu X., Yang S. Three-dimensional numerical simulation of methane drainage by high-level drill holes in a lower protective coal seam with a «U» type face. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2014. № 1 (4). pp. 434–440.

6. Lu P., Li P., Chen J., Zhang C., Xue J., Yu T. Gas drainage from different mine areas: optimal placement of drainage systems for deep coal seams with high gas emissions. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2015. № 2 (1). pp. 84–90.
7. Rib S.V., Basov V.V. Methods of basic data preparation for solution of two-dimensional problems of numerical modeling of non-uniform coal pillars. *Vestnik sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta = Newsletter of the Siberian State Industrial University*. 2014. № 4 (10). pp. 11–14.
8. *Vremennye rekomendatsii po snizheniyu gazoobilnosti vyemochnykh uchastkov shakht Kuzbassa poverkhnostnymi gazootsasyvayushchimi ventilyatorami, ustanovlennymi na ustyakh ventilyatsionnykh skvazhin* (Temporary Recommendations about the Decrease in gas Content of Extraction Sites of Kuzbass Mines by the Superficial Gas-exhaust Fans Installed on the Mouths of the Ventilation Holes). Kemerovo: VostNII, 1987. 30 p.
9. Grashchenkov N.F., Petrosyan A.E., Frolov M.A. *Rudnichnaya ventilyatsiya: spravochnik* (Mine Ventilation: Reference Book). 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Nedra, 1988. 440 p.
10. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugolnykh shakht* (Guide to Design of Coal Mines Ventilation). Makeyevka-Donbass: MakNII, 1989. 319 p.
11. *Instruktsiya po primeneniyu skhem provetrivaniya vyemochnykh uchastkov shakht s izolirovannym otvodom metana iz vyrabotannogo prostanstva s pomoshchyu gazootsasyvayushchikh ustanovok* (Instruction for Application of Ventilation Diagrams of Mines Extraction Sites with the Isolated Removal of Methane from the Developed Space by Means of the Gas-exhaust Installations). Ser. 05. Iss. 18. Moscow: ZAO NTTs PB, 2010. 152 p.
12. Ushakov K.Z. *Gazovaya dinamika shakht* (Gas Dynamics of Mines). 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: MGGU, 2004. 481 p.

По страницам научно-технических журналов декабрь 2017 г.

Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья (научный информационный сборник)

Анализ конструктивных решений средств балластировки магистральных трубопроводов/ Д.А. Гулин, О.И. Гайлуны, Р.Р. Хасанов и др. — 2017. — № 4.

Приводится классификация известных на данный момент устройств для закрепления трубопроводов, рассматриваются их конструктивные решения и особенности использования. На основании анализа приводится возможность применения устройств в тех или иных условиях, устанавливаются их основные преимущества и недостатки.

Многослойная конструкция днища резервуара типа «сэндвич» с несущим и теплоизолирующим промежуточным слоем/ П.А. Комаров, М.Р. Терегулов, А.А. Гашенко, Ю.А. Багдасарова. — 2017. — № 4.

Рассматривается днище резервуара в виде многослойной конструкции типа «сэндвич». Представлена конструкция днища, являющаяся элементом резервуара, которая способна воспринять часть нагрузок на основание. Рассмотрен опыт зарубежного применения аналогичных конструкций. Приведены сравнительные расчеты прогиба сегмента многослойной конструкции и типового однослойного днища аналитическим методом и методом конечного элемента. Согласно полученным результатам, данное конструктивное исполнение днища резервуара позволит увеличить эксплуатационные качества, повысить надежность и экологическую безопасность резервуарных конструкций.

Особенности термогидродинамики магистральных газопроводов в криолитозоне/ Э.А. Бондарев, И.И. Рошин, К.К. Аргунова и др. — 2017. — № 4.

Методами математического моделирования показано, что для магистральных газопроводов, проложенных в мерзлом грунте, образование гидратов может привести к их полной закупорке. Определена динамика этого процесса и показано, что основное влияние на длительность безгидратного периода оказывает перепад давления при незначительном влиянии изменения температуры газа. Приведены примеры расчета реальной ситуации.

Байков И.Р., Рязанов Н.Р., Китаев С.В. Определение оптимальных параметров промысловых трубопроводов. — 2017. — № 9.

Промысловые сборные трубопроводы подвержены внутренней коррозии из-за воздействия высокоминерализованной пластовой воды. При расслоении потока жидкости из-за малых скоростей потока жидкости происходит появление ручейкового коррозионного разрушения по нижней образующей трубопровода. В статье предложен алгоритм выбора наилучшего варианта определения оптимального диаметра линейной части промысловых трубопроводных систем при ремонтах, прокладке новых и байпасных трубопроводов, учитывающий коррозионные процессы.

Федосов А.В., Кабирова Э.Р., Кормакова Д.С. Анализ методов идентификации опасностей на морской платформе. — 2017. — № 9.

Проведен анализ методов выявления опасностей РНА и HAZID. Выявлены их преимущества и недостатки. Предложено использование наиболее подходящего метода — HAZID.