

Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133). С. 24-32. ISSN 1998-8443 (print)

Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 5 (133). P. 24-32. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 669.162.263.222:519.63

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-5-24-32

ПЛОСКООДНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ МОНОЛИТА ГАЗОГИДРАТА

Ангелина Сергеевна Чиглинцева¹, Миляуша Рафаэлевна Давлетшина²

^{1, 2}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹changelina@rambler.ru

²davletshina@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Ангелина Сергеевна Чиглинцева,
changelina@rambler.ru

Аннотация. Данная статья посвящена изучению процессов разложения газового гидрата в воде и в воздухе в условиях смещения термобарических условий. Идея состоит в том, что разложение гидрата происходит в трещинах гидрата метана, где имеются зародыши разложения.

Представлена математическая модель разрушения монолита гидрата для плоскопараллельной трещины. На поверхности трещины формируются условия свободного существования газа и воды, в результате чего газогидрат начинает разлагаться.

В основе модели лежат фундаментальные уравнения сохранения массы и тепла. Численное решение системы позволило получить распределение температуры в полости.

Проведен анализ зависимости скорости разложения гидрата от исходной температуры системы и температуры включений с плоскопараллельными плоскостями.

Ключевые слова: фазовый переход, монолит гидрата, газовые включения

Благодарности: Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук (Конкурс МД-2020) № МД-2179.2020.1.

© Чиглинцева А. С., Давлетшина М. Р., 2021

Для цитирования: Чиглинцева А. С., Давлетшина М. Р. Плоскоодномерная модель разрушения монолита газогидрата // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133), С. 24-32. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-24-32>.

Original article

PLANE-DIMENSIONAL FRACTURE MODEL MONOLITH GAS HYDRATE

Angelina S. Chiglintseva¹, Milyausha R. Davletshina²

^{1,2}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹changelina@rambler.ru

²davletshina@yandex.ru

Corresponding author: Angelina S. Chiglintseva, changelina@rambler.ru

Abstract. This article is devoted to the study of the processes of decomposition of gas hydrate in water and in air under conditions of displacement of thermobaric conditions. The idea is that hydrate decomposition occurs in methane hydrate cracks, where there are decomposition nuclei.

A mathematical model of the destruction of a hydrate monolith for a plane-parallel crack is presented. On the surface of the crack, conditions for the free existence of gas and water are formed, as a result of which the gas hydrate begins to decompose.

The model is based on the fundamental equations of conservation of mass and heat. The numerical solution of the system allowed us to obtain the temperature distribution in the cavity.

The dependence of the rate of hydrate decomposition on the initial temperature of the system and the temperature of inclusions with plane-parallel planes is analyzed.

Keywords: phase transition, methane hydrate, gas inclusions

Acknowledgments: The research was funded by a grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists - doctors of sciences (Competition -MD-2020), according to the research project No. MD-2179.2020.1.

For citation: Chiglintseva A. S., Davletshina M. R. Ploskoodnomernaya model' razrusheniya monolita gazogidrata. [Plane-dimensional Fracture Model Monolith Gas Hydrate]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2021. Issue 5 (133), pp. 24-32. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-24-32>.

Введение

Имеется множество опытов, экспериментально подтверждающих, что процесс разложения гидрата метана замедляется при переходе монолита гидрата из водной среды в газовую за пределами устойчивости термобарических условий [1, 2]. Причиной замедления разложения газогидрата в газовой среде при температурах ниже нуля является «эффект самоконсервации», т.е. образование ледяной корочки на поверхности гидрата метана [3]. Доказано, что ледяная корочка обеспечивает на поверхности гидрата метана термобарические условия, соответствующие устойчивости газогидрата. Для условий Байкала 3-4 °С давление, которое соответствует устойчивости гидрата метана, равно 3.8 МПа, на глубине 380 м. [4].

Известно большое число источников выхода газа (метана) с поверхности дна. Например, при подъеме в воде кусков монолита гидрата метана, доставленного со дна Байкала, наблюдается их растрескивание на более мелкие кусочки при попадании в воздушную среду [3, 5-7]. Предполагается, что описанный процесс разрушения гидратов происходит вследствие наличия в природных гидратах зародышей (микробузырьков), что можно сравнить с процессом вскипания перегретой жидкости. Газовые включения, содержащиеся в монолите гидрата, могут быть в виде мелких сферических или цилиндрических пузырьков или в виде плоскопараллельных трещин. В процессе изменения давления в среде, окружающей монолит газогидрата, ниже равновесного значения, соответствующей его исходной температуре, основная масса газогидрата переходит в метастабильное состояние. Во время подъема гидратного монолита со дна при определенной глубине

начнется раздробление монолита. При этом разрушение происходит с разной скоростью и на различные по объему куски. Такой разный характер, возможно, определяется объемной концентрацией газовых включений, а также наличием различных примесей.

Таким образом, если в результате разрушений вблизи газосодержащих замкнутых включений давление станет ниже равновесного значения для исходной температуры монолита гидрата, то начнется разложение гидрата с выделением газа и это обстоятельство, главным образом, будет способствовать дальнейшей интенсификации процесса распада твердого гидрата.

Данная проблема на сегодняшний день недостаточно исследована, в литературных источниках отсутствуют описания подобных процессов.

Постановка задачи и основные уравнения

Для описания температурных полей вблизи полостей, заполненных продуктами разложения гидрата, запишем уравнение теплопроводности в виде:

$$\rho_h c_h \frac{\partial T_h}{\partial t} = \frac{\lambda_h}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n \frac{\partial T_h}{\partial r} \right),$$
$$(a < r < \infty).$$

Здесь $n = 0, 1$ и 2 показатель степени, соответствующий для распределения вокруг включений с плоскопараллельными плоскостями, цилиндрической и сферической поверхностью;

a - полуширина между плоскими поверхностями (в случае включений в виде трещин) и радиусы, когда полость представ-

ляет собой цилиндрический и сферический объемы.

Для замкнутой трещины в виде параллельных плоскостей уравнение теплопроводности имеет вид:

$$\rho_h c_h \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_h \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (1)$$

Здесь x - пространственная координата;

t - время;

T - температура;

ρ_i, c_i, λ_i - соответственно плотность, удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности i -ой фазы;

a - текущий радиус полости.

Здесь и далее нижние индексы $i = h, g, l$ относятся соответственно к параметрам гидрата, газа и воды.

Граничные условия для уравнения теплопроводности примем в виде

$$T_h = T_s(p), \quad r = a \quad \text{и} \quad T_h = T_0, \quad r = \infty.$$

Уравнения состояния для газа, воды и гидрата примут вид [4, 5]

$$p = \rho_g^0 R_g T, \quad T = T_s(p), \quad \rho_l^0, \rho_h^0 = const.$$

Будем полагать, что для температуры в трещине справедливо соотношение:

$$t > 0, \quad 0 \leq x \leq a: \quad T = T_s(p). \quad (2)$$

Для зависимости равновесной температуры $T_s(p)$ от давления примем выражение [8]

$$T_s(p) = T_0 + T_* \ln(p/p_0),$$

где T_* - эмпирический параметр, который зависит от вида газогидрата и от рассматриваемых диапазонов температур и давлений [9].

Температура на поверхности гидратной частицы равна исходной температуре T_0 :

$$t > 0, \quad x = a: \quad T = T_0. \quad (3)$$

Условие баланса тепла на поверхности включений ($r = a$) запишем как

$$\rho_h l_h \dot{a} = \lambda_h \left(\frac{\partial T_h}{\partial r} \right)_{x=a}. \quad (4)$$

Здесь l_h - удельная теплота разложения гидрата;

$\dot{a} = \frac{da}{dt}$ - скорость движения фронта фазового перехода.

Здесь l_h - удельная теплота разложения гидрата;

В этом уравнении затратами тепла на изменение температуры газовой смеси в полости пренебрегается.

Запишем уравнение сохранения масс для продуктов разложения гидрата:

$$\frac{dm}{dt} = \rho_h \dot{a}. \quad (5)$$

С другой стороны, масса газа и воды в полости может быть определена через среднюю плотность ρ газожидкостной смеси:

$$m = \rho a. \quad (6)$$

Среднюю плотность газожидкостной смеси, которую можно записать как [8, 10]

$$\rho = \rho_g \alpha + \rho_l (1 - \alpha),$$

где ρ_i ($i = g, l$) - истинные плотности газа и воды;

α - объемная концентрация газа.

Здесь и далее нижний индекс $i = g, l$ соответствует газу и воде.

Для получения замкнутой системы уравнений добавим уравнение для изменения

массы воды в полости, которое в линейном случае имеет вид:

$$\frac{dm_l}{dt} = \rho_h (1-G) \dot{a}. \quad (7)$$

Здесь G массовое содержание газа в составе гидрата.

С другой стороны, для массы воды, содержащейся в полости, можно записать:

$$m_l = \rho_l (1-\alpha) a. \quad (8)$$

В качестве начальных условий ($t \leq 0$) примем

$$a = a_0, \quad p = p_0, \quad \alpha = 1, \quad T = T_0 \quad (0 \leq x \leq a_h). \quad (9)$$

Решение представленной системы уравнений осуществлялось конечно-разностным методом с использованием алгоритма ловли фронта в узел пространственной сетки, рассмотренного в [10-15].

Результаты численных расчетов

На рисунке 1 для момента времени $t = 50$ мин представлено распределение системы «полость - гидрат» для исходной температуры частицы $T_0 = 274$ К.

Для остальных параметров, характеризующих систему, приняты следующие значения:

$$\begin{aligned} c_h &= 2100 \text{ Дж/(кг·К)}, \\ \lambda_h &= 2.45 \text{ Вт/(м·К)}, \\ l_h &= 5 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}, \\ \rho_h &= 900 \text{ кг/м}^3, \quad \rho_l = 1000 \text{ кг/м}^3, \\ R_g &= 520 \text{ Дж/(кг·К)}, \\ G &= 0.12. \end{aligned}$$

При этом считаем, что температура полости соответствует равновесной температуре разложения гидрата при давлении $p = 3.8$ МПа и равна $T_s = 273.3$ К.

Исходные размеры частицы и полости полагались равными соответственно $a_h = 15$ мм и $a_0 = 1.5$ мм.

График распределения температуры системы, представленный на рисунке 1, показывает, что в области газогидрата температура убывает от максимального значения на границе полости до минимального на поверхности газогидратной частицы. Согласно постановке задачи, температура в области, содержащей газ и воду, постоянна.

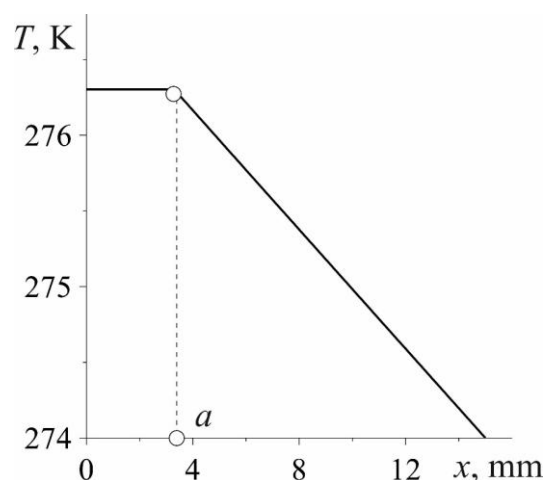


Рисунок 1. Распределение температуры системы «полость - гидрат»

Figure 1. Temperature distribution of the «cavity - hydrate» system

На рисунке 2 иллюстрируются графики зависимости масс смеси, воды и газа, приходящихся на единицу площади от времени.

Из рисунка 2 видим, что с ростом исходной температуры интенсивность образования полости уменьшается. Это связано с тем, что скорость разложения гидрата, лимитируемая подводом тепла к границе «полость - газогидрат», с ростом температуры T_0 уменьшается. Поэтому вследствие интенсивного разложения гидрата при более низких значениях T_0 объемная концентрация газа в полости уменьшается быстрее.

На рисунке 3 представлены зависимости объемной концентрации газа и радиуса

полости от времени при различных значениях температуры полости при $T_0 = 274$ К.

На рисунке 3, *a* температура полости полагалась равной $T_s = 276.3$ К (соответствует давлению 3.8 МПа); на рисунке 3, *b* - $T_s = 277.3$ К (соответствует давлению 4.2 МПа). Из рисунка 3 видим, что с течением времени интенсивность разложения гидрата также уменьшается при снижении температу-

ры полости, что, в свою очередь, соответствует уменьшению давления.

Это обусловлено тем, что с уменьшением температуры полости уменьшается и поток тепла, направленный на разложение гидрата, что и приводит к снижению объемной концентрации газа в полости при более высоких значениях T_s .

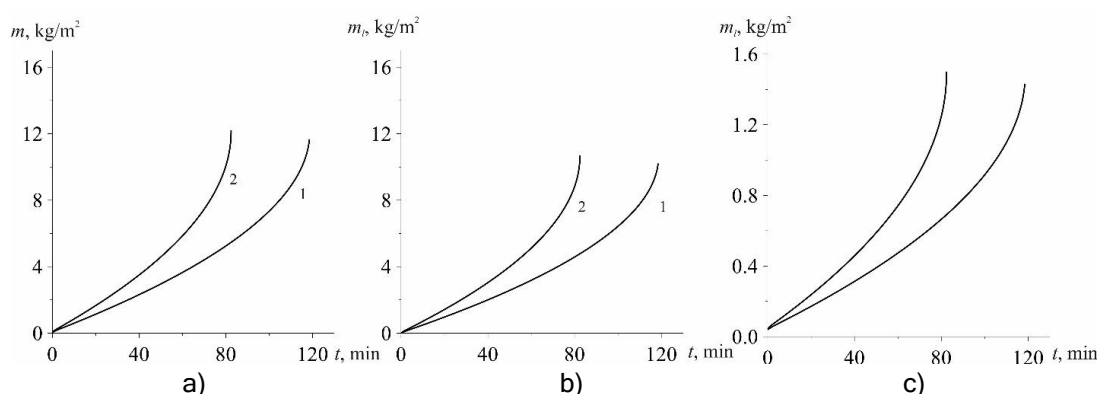


Рисунок 2. Зависимость масс смеси (*a*), воды (*b*) и газа (*c*), приходящихся на единицу площади от времени при $T_s = 276.3$ К (1) и $T_s = 277.3$ К (2)

Figure 2. Dependence of the masses of the mixture (*a*), water (*b*) and gas (*c*) per unit area on time at $T_s = 276.3$ К (1) and $T_s = 277.3$ К (2)

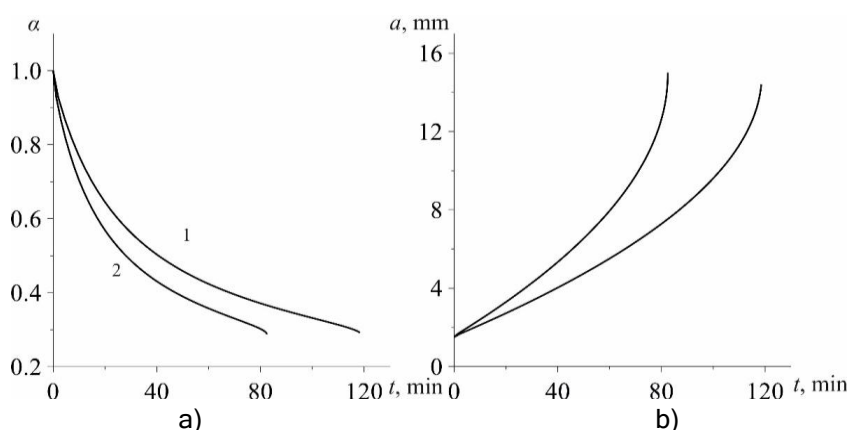


Рисунок 3. Зависимость объемной концентрации газа (*a*) и радиуса полости (*b*) от времени при $T_s = 276.3$ К (1) и $T_s = 277.3$ К (2)

Figure 3. Dependence of the volumetric gas concentration (*a*) and the cavity radius (*b*) on time at $T_s = 276.3$ К (1) and $T_s = 277.3$ К (2)

Выводы

Сформулирована задача о разрушении монолита гидрата метана при подъеме со дна водоема при переходе из водной среды в газовую. Для плоскопараллельного включения построена математическая модель разрушения газогидратной частицы в воде. На основе полученной системы, состоящей из уравнений сохранения массы и тепла, построены поля температур в системе «полость - газогидрат», а также исследуется влияние начальной температуры системы и температу-

ры в полости на динамику разложения гидрата.

Установлено, что с ростом исходной температуры интенсивность образования полости уменьшается. На основе численных расчетов показано, что при более высоких значениях температуры в полости объемная концентрация газа в ней уменьшается быстрее. Предложенная теоретическая модель позволяет проанализировать влияние препада температуры на скорость разложения газогидрата.

Список источников

1. Егоров А.В., Рожков А.Н. Разрушение подводных залежей газовых гидратов // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2014. № 5. С. 93-103.
2. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Сагалеви́ч А.М., Черняев Е.С. Разрушение глубоководных метановых пузырей // Океанология. 2010. Т. 50. № 4. С. 505-514.
3. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н. Переход глубоководных метановых пузырей в твердые гидратные формы. М.: Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, 2013. 34 с.
4. Черткова Л.В., Стунжас П.А. Геохимия газов Парамуширского подводного источника (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 1990. № 3. С. 35-50.
5. Шагапов В.Ш., Тазетдинов Б.И. Моделирование динамики образования и разложения газогидратных частиц при их всплытии в воде // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. 2013. № 9-2 (110). С. 133-139.
6. Шагапов В.Ш., Тазетдинов Б.И., Нурисламов Р. К теории образования и разложения газогидратных частиц в процессе их всплытия в воде // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. № 6 (26). С. 106-113.
7. Шагапов В.Ш., Чиглинцева А.С., Русинов А.А., Тазетдинов Б.И. О миграции одиночного газового пузырька в воде // Теплофизика высоких температур. 2017. Т. 55. № 3. С. 440-446. DOI: 10.7868/S004036441702017X.
8. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред: В 2 Ч. М.: Наука, 1987. Ч. 1. 464 с.
9. Чиглинцева А.С., Давлетшина М.Р., Шагапов В.Ш. К теории разрушения монолита газогид-

References

1. Egorov A.V., Rozhkov A.N. Razrushenie podvodnykh zalezhei gazovykh gidratov [Breakdown of Under-Water Gas Hydrate Deposits]. *Izvestiya RAN. Mekhanika zhidkosti i gaza - Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Mekhanika Zhidkosti i Gaza*, 2014, No. 5, pp. 93-103. [in Russian].
2. Egorov A.V., Nigmatulin R.I., Rimskii-Korsakov N.A., Rozhkov A.N., Sagalevich A.M., Chernyaev E.S. Razrushenie glubokovodnykh metanovykh puzyrei [Breakup of Deep-Water Methane Bubbles]. *Okeanologiya - Oceanology*, 2010, Vol. 50, No. 4, pp. 505-514. [in Russian].
3. Egorov A.V., Nigmatulin R.I., Rozhkov A.N. *Perekhod glubokovodnykh metanovykh puzyrei v tverdye gidratnye formy* [Transition of Deep-Sea Methane Bubbles into Solid Hydrated Forms]. Moscow, Institut problem mekhaniki im. A.Yu. Ishlinskogo RAN Publ., 2013. 34 p. [in Russian].
4. Chertkova L.V., Stunzhas P.A. Geokhimiya gazov Paramushirskogo podvodnogo istochnika (Kuril'skaya ostrovnaya duga) [Geochemistry of Gases of the Paramushirskiy Underwater Source (Kuril Island Arc)]. *Vulkanologiya i seismologiya - Vulkanologiya i Seismologiya*, 1990, No. 3, pp. 35-50. [in Russian].
5. Shagapov V.Sh., Tazetdinov B.I. Modelirovanie dinamiki obrazovaniya i razlozheniya gazogidratnykh chastits pri ikh vsplytii v vode [Modeling of Dynamics of Formation and Decomposition of Gas Hydrate Particles During their Surfacing in Water]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennonauchnaya seriya - Bulletin of Samara State University. Natural Science Series*, 2013, No. 9-2 (110), pp. 133-139. [in Russian].
6. Shagapov V.Sh., Tazetdinov B.I., Nurislamov O.R. K teorii obrazovaniya i razlozheniya gazogidratnykh chastits v protsesse ikh vsplytiya v vode [A Contribution to the Theory of Gas Hydrate Particle Formation and Decomposition in the Process

рата // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сб. тр. в 4-х т. Уфа: БашГУ, 2019. С. 1135-1136.

10. Davletshina M.R., Stolpovsky M.V., Chiglintseva A.S. Technologies for Methane Production from Hydrogen Using a Heated Liquid // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. Article Number 062070. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062070.

11. Davletshina M.R., Stolpovsky M.V., Chiglintseva A.S., Gimaltdinov I.K. Features of Decomposition of Gas Hydrate When Exposed to Microwave Radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. Article Number 062071. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062071.

12. Гималтдинов И.К., Мусакаев Н.Г., Хасанов М.К., Столповский М.В. Особенности процесса разложения газовых гидратов при тепловом и депрессионном воздействиях в пласте конечной протяженности // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2011. № 7. С. 6-13.

13. Davletshina M.R., Stolpovsky M.V., Chiglintseva A.S., Gimaltdinov I.K. Investigation of the Influence of Medium and Microwave Radiation Parameters on the Dynamics of Decomposition of Gas Hydrate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. Article Number 062069. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062069.

14. Чиглинцева А.С., Давлетшина М.Р., Столповский М.В. СВлияние параметров пористой среды и источника СВЧ-излучения на динамику разложения газогидрата // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Вып. 6 (128). С. 45-54. DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-6-45-54.

15. Гималтдинов И.К., Столповский М.В., Додова М.И. Численное решение задачи об образовании гидрата двуокиси углерода в пористом пласте, изначально насыщенном гидратом метана // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. С. 91-98.

of their Ascent in Water]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika imekhanika - Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*, 2013, No. 6 (26), pp. 106-113. [in Russian].

7. Shagapov V.Sh., Chiglintseva A.S., Rusinov A.A., Tazetdinov B.I. O migratsii odinochnogo gazovogo puzyr'ka v vode [On the Migration of a Single Gas Bubble in Water]. *Teplofizika vysokikh temperatur - Teplofizika Vysokikh Temperatur*, 2017, Vol. 55, No. 3, pp. 440-446. DOI: 10.7868/S00403644 1702017X. [in Russian].

8. Nigmatulin R.I. *Dinamika mnogofaznykh sred: V 2 Ch.* [Dynamics of Multiphase Media: In 2 Parts]. Moscow, Nauka Publ., 1987. Part 1. 464 p. [in Russian].

9. Chiglintseva A.S., Davletshina M.R., Shagapov V.Sh. K teorii razrusheniya monolita gazogidrata [On the Theory of Destruction of a Gas Hydrate Monolith]. *Sbornik trudov v 4-kh tomakh «XII Vserossiiskii s'ezd po fundamental'nym problemam teoreticheskoi i prikladnoi mekhaniki»* [Collection of Works in 4 Volumes «XII All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics»]. Ufa, BashGU Publ., 2019, pp. 1135-1136. [in Russian].

10. Davletshina M.R., Stolpovsky M.V., Chiglintseva A.S. Technologies for Methane Production from Hydrogen Using a Heated Liquid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 919, Article Number 062070. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062070.

11. Davletshina M.R., Stolpovsky M.V., Chiglintseva A.S., Gimaltdinov I.K. Features of Decomposition of Gas Hydrate When Exposed to Microwave Radiation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 919, Article Number 062071. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062071.

12. Gimaltdinov I.K., Musakaev N.G., Khasanov M.K., Stolpovskii M.V. Osobennosti protsessa razlozheniya gazovykh gidratov pri teplovom i depressionnom vozddeistviyakh v plaste konechnoi protyazhennosti [Process Specifics of Dissociation of Gas Hydrates at Thermal and Pressure Influences in Reservoir of Final Extent]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika - Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, 2011, No. 7, pp. 6-13. [in Russian].

13. Davletshina M.R., Stolpovsky M.V., Chiglintseva A.S., Gimaltdinov I.K. Investigation of the Influence of Medium and Microwave Radiation Parameters on the Dynamics of Decomposition of Gas Hydrate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 919, Article Number 062069. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062069.

14. Chiglintseva A.S., Davletshina M.R., Stolpovskii M.V. SVliyanie parametrov poristoi sredy i istochnika SVCh-izlucheniya na dinamiku razlozheniya gazogidrata [Influence of Parameters of

a Porous Medium and a Microwave Source on the Dynamics of Gas Hydrate Decomposition]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2020, Issue 6 (128), pp. 45-54. DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-6-45-54. [in Russian].

15. Gimaltdinov I.K., Stolpovskii M.V., Dodova M.I. Chislennoe reshenie zadachi ob obrazovanii gidrata dvoukisi ugleroda v poristom plaste, iznachal'no nasyshchennom gidratom metana [Numerical Solution of the Problem of the Formation of Carbon Dioxide Hydrate in a Porous Formation Initially Saturated with Methane Hydrate]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, Vol. 328, No. 6, pp. 91-98. [in Russian].

Информация об авторах

• Чиглинцева Ангелина Сергеевна, д-р физ.-мат. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Физика»
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: changelina@rambler.ru

• Давлетшина Миляуша Рафаэлевна, канд. с.-х. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Физика»
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: davletshina@yandex.ru

Information about the authors

• Chigliintseva Angelina S., Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Physics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: changelina@rambler.ru

• Davletshina Milyausha R., Candidate of Agricultural Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Physics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: davletshina@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 28.06.2021; одобрена после рецензирования 20.08.2021; принята к публикации 01.09.2021.

The article was submitted 28.06.2021; approved after reviewing 20.08.2021; accepted for publication 01.09.2021.