Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133). С. 47-56. ISSN 1998-8443 (print)
Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 5 (133). P. 47-56. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 532.546:536.421

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-5-47-56

ОСОБЕННОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ГАЗОГИДРАТА МЕТАНА ПРИ ПРОДУВКЕ ПЛАСТА

Ангелина Сергеевна Чиглинцева¹, Миляуша Рафаэлевна Давлетшина²,
Максим Владимирович Столповский³, Екатерина Юрьевна Кочанова⁴

^{1, 2, 3, 4}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹changelina@rambler.ru

²davletshina@yandex.ru

³s_maxim.pmm@mail.ru

⁴moto8728@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Юрьевна Кочанова, moto8728@mail.ru

Аннотация. В работе представлена математическая модель разложения газогидрата при непрерывной продувке пористого резервуара теплым газом. На основе представленной модели построены распределения полей температуры, давления и насыщенности.

Показано, что при продувке пласта разложение гидрата, происходящее в начальный момент времени на фронтальной границе, может в дальнейшем происходить в трехфазной области.

Ключевые слова: газовые гидраты, нефть, разливы нефти, образование гидратов, ликвидация разлива

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., Столповский М. В., Кочанова Е. Ю., 2021

Для цитирования: Чиглинцева А. С., Давлетшина М. Р., Столповский М. В., Кочанова Е. Ю. Особенности разложения газогидрата метана при продувке пласта // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 5 (133), С. 47-56. <http://doi/10.17122/ntj-oil-2021-5-47-56>.

Original article

SPECIFIC FEATURES OF METHANE GAS HYDRATE DECOMPOSITION DURING PURGE OF THE FORMATION

Angelina S. Chiglintseva¹, Milyausha R. Davletshina², Maksim V. Stolpovskiy³,
Ekaterina Yu. Kochanova⁴

^{1, 2, 3, 4}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹changelina@rambler.ru

²davletshina@yandex.ru

³s_maxim.pmm@mail.ru

⁴moto8728@mail.ru

Corresponding author: **Ekaterina Yu. Kochanova**, moto8728@mail.ru

Abstract. The paper presents a mathematical model of the decomposition of gas hydrate with continuous blowing of a porous reservoir with warm gas. On the basis of the presented model, the distributions of the temperature, pressure and saturation fields are constructed.

It is shown that when blowing a formation, the decomposition of hydrate, which occurs at the initial moment of time at the frontal boundary, can subsequently occur in the three-phase region.

Keywords: gas hydrates, oil, oil spills, hydrate formation, spill response

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., Stolpovskiy M. V., Kochanova E. Yu. Osobennosti razlozheniya gazogidrata metana pri produvke plasta. [Specific Features of Methane Gas Hydrate Decomposition during Purge of the Formation]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, Issue 5 (133), pp. 47-56. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-5-47-56>.

Введение

Газовые гидраты рассматриваются в настоящий момент как один из наиболее перспективных источников метана [1]. Согласно оценкам, при нормальных условиях 1 м³ газогидрата содержит в своем составе до 160 м³ газа, преимущественно метана. Таким образом, понимание закономерностей разложения природных газогидратов достаточно важно, например, с точки зрения наиболее эффективной добычи газа из них. В настоящее время существуют тепловые, депрессионные методы воздействия на пористые резервуары [2], содержащие газогидрат, для его разложения и, как следствие, извлечение газа. Следует отметить, что тепловые методы воздействия недостаточно эффективны, поскольку нагреву подвергается лишь призабойная зона пласта. При этом в дальнейшем большая часть энергии от источника тепла будет идти на прогрев прискважинной области, а не на разложение гидрата. Поэтому наиболее эффективным воздействием на газогидратный пласт является одновременное тепловое и депрессионное воздействие. Математические модели процессов образования и разложения газогидратов в пористых средах представлены, в частности, в работах [3-7]. Следует отметить, что в [3, 7] полагается, что гидрат полностью насыщает все пористое пространство резервуара и разложение осуществляется лишь тепловым методом. Кроме того, в настоящее время экспериментально показана возможность [8, 9] замещения метана в газогидрате углекислым газом. Теоретические модели таких процессов, сопровождающихся нагнетанием двуокиси углерода (жидкой или газообразной) в метаногидратные пласты,

представлены в работах [10-13]. Исследования процессов разложения гидрата под действием СВЧ-излучения представлены в [14, 15]. В настоящей работе представлена модель инъекции метана в пористый резервуар, частично насыщенный газогидратом. Показано, что при продувке пласта разложение гидрата, происходящее в начальный момент времени на фронтальной границе, может в дальнейшем происходить в трехфазной области.

Основные уравнения

Рассмотрим пористый пласт длиной L , насыщенный в начальный момент времени газом и гидратом (с исходной гидратонасыщенностью ν), давление p_0 и температура T_0 , которых соответствуют условиям их стабильного существования гидрата, т.е. $T_0 < T_s(p_0)$, где $T_s(p_0)$ – равновесная температура, соответствующая исходному давлению системы. Будем полагать, что через левую границу пласта ($x = 0$) происходит нагнетание или отбор газа под давлением p_e . При этом температура на ней поддерживается равной значению T_e , например с помощью нагревателя, помещенного в забой скважины. Данные параметры соответствуют условиям разложения гидрата ($T_e > T_s(p_e)$) и поддерживаются постоянными в ходе всего процесса диссоциации гидрата.

В общем случае при разложении гидрата, насыщающего пористый резервуар, происходит формирование трех областей: ближней, дальней и промежуточной. В ближней области поры насыщены газом и водой, а

дальней - газом и гидратом. Промежуточная область содержит газ, гидрат и воду в состоянии термодинамического равновесия. При этом формируются две подвижные границы фазового перехода $x = x(n)$ и $x = x(d)$. Граница $x = x(n)$ разделяет ближнюю и промежуточную области; на ней начинается про-

цесс разложения гидрата. Граница $x = x(d)$ разделяет дальнюю и промежуточную области. На ней процесс разложения заканчивается.

Система уравнений тепло- и массопереноса в плоскоодномерном случае для ближней и дальней областей имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(mS_g \rho_g) + \frac{\partial}{\partial x}(mS_g v_g \rho_g) = -mG \rho_h \frac{\partial S_h}{\partial t},$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(mS_l \rho_l) = -m(1-G) \rho_l \frac{\partial S_h}{\partial t},$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c T) + c_g \rho_g mS_g v_g \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + m \rho_h L_h \frac{\partial S_h}{\partial t},$$

$$mS_g v_g = -\frac{k_g}{\mu_g} \frac{\partial p}{\partial x},$$

$$S_g + S_l + S_h = 1.$$

Здесь x - пространственная координата, отсчитываемая от левой границы пласта;

t - время;

p - давление;

T - температура;

Rg - приведенная газовая постоянная;

S_j ($j = g, l, h$) - насыщенности пор j -ой фазы;

v_g, c_g, μ_g - соответственно скорость, удельная теплоемкость, вязкость газовой фазы;

ρc - удельная объемная теплоемкость;

λ - коэффициент теплопроводности;

L_h - удельная теплота разложения газогидрата.

Поскольку основной вклад в теплопередачу вносят параметры скелета, то ρc и λ будем считать постоянными величинами. Зависимость коэффициента проницаемости k_g газовой фазы от текущей газонасыщенности будем задавать на основе формулы Козени :

$$k_g = k_0 S_g^3,$$

где k_0 - коэффициент абсолютной проницаемости пласта.

Температура и давление в области совместного существования газа, гидрата, воды связаны условием фазового равновесия [4, 5]:

$$T = T_0 + T_* \ln \left(\frac{p}{p_{s0}} \right), \quad (1)$$

где T_0 - исходная температура системы;

p_{s0} - равновесное давление, соответствующее исходной температуре;

T_* - эмпирический параметр, зависящий от вида газогидрата.

На подвижных границах фазового перехода выполняются условия, следующие из условий баланса масс и тепла:

$$\begin{aligned} [m(S_h \rho_h (1 - G) + S_l \rho_l) \dot{x}_{(i)}] &= 0, \quad [m(\rho_g S_g (v_g - \dot{x}_{(i)}) - \rho_h S_h G \dot{x}_{(i)})] = 0, \\ \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] &= m \rho_h L_h S_h \dot{x}_{(i)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $[\psi]$ - скачок величины ψ на границе $x_{(i)}$ между областями;

$\dot{x}_{(i)}$ - скорость движения границы фазового перехода;

индексы $i = n$ и d соответствуют ближней и дальней границам. Температуру и давление на них будем полагать непрерывными.

Условия на левой границе пласта ($x = 0$) имеют вид:

$$T = T_e, \quad p = p_e \quad (t > 0, x = 0). \quad (3)$$

На правой границе пласта ($x = L$) поставим условие, соответствующее «открытой» границе (продувка пласта):

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, \quad p = p_0 \quad (t > 0, x = L). \quad (4)$$

В качестве начальных условий системы примем следующие:

$$T = T_0, \quad p = p_0, \quad S_h = v, \quad S_l = 0, \quad (5)$$

$$S_g = 1 - v \quad (t = 0, 0 \leq x \leq L).$$

Для решения системы уравнений (1)-(5) использовался метод ловли фронта в узел пространственной сетки.

Результаты расчетов

Результаты расчетов проводились для модельного пласта длины $L = 1$ м с исходной газонасыщенностью $v = 0.2$ и абсолютной проницаемостью пласта $k_0 = 10^{-14} \text{ м}^2$. Начальные давление и температура полагались равными соответственно $p_0 = 6$ МПа, $T_0 = 280$ К; пористость пласта $m = 0.1$.

Для остальных параметров системы приняты следующие значения:

$$G = 0.12,$$

$$k_0 = 10^{-13} \text{ м}^2,$$

$$R_g = 520 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)},$$

$$\rho_h = 900 \text{ кг/м}^3,$$

$$\begin{aligned}c_g &= 1560 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}, \\ \rho_c &= 2.5 \cdot 10^6 \text{ Дж/(К} \cdot \text{м}^3), \\ \lambda &= 2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \\ \mu_g &= 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}, \\ L_h &= 5 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}, \\ p_{s0} &= 5.5 \text{ МПа}, \\ T^* &= 10 \text{ К}.\end{aligned}$$

На рисунке 1 представлены распределения температуры (сплошные линии) и гидратонасыщенности при продувке. Пунктирная линия соответствует равновесной температуре пласта. Параметры нагнетаемого газа предполагались равными $p_e = 7 \text{ МПа}$, $T_e = 290 \text{ К}$.

Как следует из рисунка 1, диссоциация гидрата до момента времени $t = 10 \text{ ч}$ происходит на фронтальной поверхности. Однако затем наблюдается возникновение протяженной области диссоциации гидрата. Это связано с тем, что при продувке имеется непрерывный поток тепла от левой границы вглубь пласта, приводящий к повышению температуры в области насыщенной газом и гидратом и появлению протяженной зоны. При этом появляются две подвижные границы, одна из которых (дальняя) к моменту времени $t \approx 13.6 \text{ ч}$ достигает правой границы пласта. В дальнейшем в пласте существуют две области: ближняя, насыщенная газом и водой и дальняя, содержащая гидрат и продукты его разложения и единственная подвижная граница, разделяющая их.

На рисунке 2 представлены зависимости значений гидратонасыщенности на ближней границе со стороны протяженной области $S_{h(n)}^+$ (сплошная линия) и на дальней границе со стороны дальней $S_{h(d)}^+$ (пунктирная линия). Как следует из рисунка 2, с уменьшением проницаемости пласта растут как время, через которое происходит появление протяженной области, так и время одновременного существования трех областей. Так при абсолютной проницаемости пласта $k_0 = 10^{-13} \text{ м}^2$ данные времена соответственно равны

$t \approx 0.5 \text{ ч}$ и $t = 1.2 \text{ ч}$, а при $k_0 = 10^{-14} \text{ м}^2$ – $t \approx 7.5 \text{ ч}$ и $t \approx 6 \text{ ч}$. При этом время одновременного существования трех областей также увеличивается.

На кривых указано время, ч

Рисунок 1. Распределение температуры и гидратонасыщенности при диссоциации гидрата в режиме продувки пласта
Figure 1. Distribution of temperature and hydrate saturation during hydrate dissociation in the reservoir blowdown mode

Рисунок 2. Зависимость гидратонасыщенности на ближней (сплошная линия) и дальней (пунктирная) границах при продувке пласта с абсолютной проницаемостью $k_0 = 10^{-13} \text{ м}^2$ (а), $k_0 = 10^{-14} \text{ м}^2$ (б)

Figure 2. Dependence of hydrate saturation at the near (solid line) and far (dashed) boundaries when blowing a reservoir with absolute permeability $k_0 = 10^{-13} \text{ м}^2$ (а), $k_0 = 10^{-14} \text{ м}^2$ (б)

Выводы

Представлена математическая модель процесса разложения газогидрата при продувке резервуара, содержащего в исходном состоянии газ и газогидрат. На основе представленной модели построены распределе-

ния полей температуры и насыщенности. Показано, что при продувке пласта разложение гидрата, происходящее в начальный момент времени на фронтальной границе, может в дальнейшем происходить в трехфазной области.

Список источников

1. Sloan E.D., Koh C.A. *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2008. XXV. 721 p.
2. Koh C.A., Sum A.K., Sloan E.D. Gas Hydrates: Unlocking the Energy from Icy Cages // *Journal of Applied Physics*. 2009. Vol. 106. Issue 6. Article Number 061101. DOI: 10.1063/1.3216463.
3. 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 62070. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062070.
4. 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.
5. Хасанов М.К., Столповский М.В., Мусакаев Н.Г., Ягафарова Р.Р. Численные решения задачи об образовании газогидрата при закачке газа в частично насыщенную льдом пористую среду // *Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки*. 2019. Т. 29. № 1. С. 92-105. DOI: 10.20537/vm190109.
6. Gimaltdinov I.K., Stolpovsky M.V., Khasanov M.K. Heating of the Porous Medium in Gas Hydrates Formation Process // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 155. Article Number 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/155/1/012008.
7. Давлетшина М.Р., Столповский М.В., Чиглинцева А.С. Разложение гидрата метана при тепловом воздействии // *Актуальные проблемы науки и образования в современном ВУЗе: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции / Отв. ред. А.Л. Галиев. Уфа: БашГУ, 2019. С. 40-46.*
8. Yamasaki A., Wakatsuki M., Teng H., Yanagisawa Y., Yamada K. A New Ocean Disposal Scenario for Anthropogenic CO₂: CO₂ Hydrate Formation in a Submerged Crystallizer and its Disposal // *Energy*. 2000. Vol. 25. Issue 1. P. 85-96. DOI:

References

1. Sloan E.D., Koh C.A. *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. Boca Raton, CRC Press/Taylor and Francis Group, 2008. XXV. 721 p.
2. Koh C.A., Sum A.K., Sloan E.D. Gas Hydrates: Unlocking the Energy from Icy Cages. *Journal of Applied Physics*, 2009, Vol. 106, Issue 6, Article Number 061101. DOI: 10.1063/1.3216463.
3. 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 62070. DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062070.
4. 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].
5. Khasanov M.K., Stolpovskii M.V., Musakaev N.G., Yagafarova R.R. Chislennye resheniya zadachi ob obrazovanii gazogidrata pri zakachke gaza v chastichno nasyshchennuyu l'dom poristuyu sredu [Numerical Solutions of the Problem of Gas Hydrate Formation upon Injection of Gas into a Porous Medium Partly Saturated by Ice]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye nauki - Bulletin of Udmurt University. Mathematics. Mechanics. Computer Science*, 2019, Vol. 29, No. 1, pp. 92-105. DOI: 10.20537/vm190109. [in Russian].
6. Gimaltdinov I.K., Stolpovsky M.V., Khasanov M.K. Heating of the Porous Medium in Gas Hydrates Formation Process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 155, Article Number 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/155/1/012008.
7. Davletshina M.R., Stolpovskii M.V., Chiglintseva A.S. Razlozhenie gidrata metana pri teplovom vozddeistvii [Dissociation of Methane Hy-

10.1016/S0360-5442(99)00036-5.

9. Lee H., Seo Y., Seo Y.-T., Moudrakovski I., Ripmeester J.A. Recovering Methane from Solid Methane Hydrate with Carbon Dioxide // *Angewandte Chemie*. 2003. Vol. 42. Issue 41. P. 5048-5051. DOI: 10.1002/anie.200351489.

10. 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.

11. Gimaltdinov I.K., Stolpovskii M.V., Khasanov M.K. Recovery of Methane from Gas Hydrates in a Porous Medium by Injection of Carbon Dioxide // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2018. Vol. 59. Issue 1. P. 1-8. DOI: 10.1134/S0021894418010017.

12. Khasanov M.K., Stolpovskii M.V., Gimaltdinov I.K. Modeling of Gas Hydrate Formation upon Injection of Carbon Dioxide Gas into a Natural Reservoir // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2018. Vol. 59. Issue 3. P. 466-473. DOI: 10.1134/S0021894418030100.

13. Столповский М.В., Хасанов М.К., Кулаков П.А. Исследование процесса закачки диоксида углерода в метаногидратные пласты с учетом реальных свойств газов // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2018. № 2. С. 101-112.

14. 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.

15. 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.

hydrate with Heat Exposure]. *Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniya v sovremennom VUze»* [Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference «Actual Problems of Science and Education in a Modern University»]. Managing Ed. A.L. Galiev. Ufa, BashGU Publ., 2019, pp. 40-46. [in Russian].

8. Yamasaki A., Wakatsuki M., Teng H., Yanagisawa Y., Yamada K. A New Ocean Disposal Scenario for Anthropogenic CO₂: CO₂ Hydrate Formation in a Submerged Crystallizer and its Disposal. *Energy*, 2000, Vol. 25, Issue 1, pp. 85-96. DOI: 10.1016/S0360-5442(99)00036-5.

9. Lee H., Seo Y., Seo Y.-T., Moudrakovski I., Ripmeester J.A. Recovering Methane from Solid Methane Hydrate with Carbon Dioxide. *Angewandte Chemie*, 2003, Vol. 42, Issue 41, pp. 5048-5051. DOI: 10.1002/anie.200351489.

10. 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].

11. Gimaltdinov I.K., Stolpovskii M.V., Khasanov M.K. Recovery of Methane from Gas Hydrates in a Porous Medium by Injection of Carbon Dioxide. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2018, Vol. 59, Issue 1, pp. 1-8. DOI: 10.1134/S0021894418010017.

12. Khasanov M.K., Stolpovskii M.V., Gimaltdinov I.K. Modeling of Gas Hydrate Formation upon Injection of Carbon Dioxide Gas into a Natural Reservoir. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2018, Vol. 59, Issue 3, pp. 466-473. DOI: 10.1134/S0021894418030100.

13. Stolpovskii M.V., Khasanov M.K., Kulakov P.A. Issledovanie protsessa zakachki dioksida ugleroda v metanogidratnye plasty s uchetom real'nykh svoystv gazov [The Study of the Injection Process of Carbon Dioxide in Methanehydrate the Layers Taking into Account the Real Properties of Gases]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle - Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*, 2018, No. 2, pp. 101-112. [in Russian].

14. 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.

15. 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.

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 Милляуша 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

• Столповский Максим Владимирович, канд. физ.-мат. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Физика»
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: s_maxim.pmm@mail.ru

• Кочанова Екатерина Юрьевна
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Ассистент кафедры «Вычислительная техника и инженерная кибернетика»
Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: moto8728@mail.ru

Information about the authors

• Chiglintseva 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

• Stolpovskiy Maksim V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Physics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: s_maxim.pmm@mail.ru

• Kochanova Ekaterina Yu.
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant of Computing and Engineering Cybernetics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: moto8728@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.08.2021; одобрена после рецензирования 28.08.2021; принята к публикации 01.09.2021.

The article was submitted 18.08.2021; approved after reviewing 28.08.2021; accepted for publication 01.09.2021.