

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗБУЖДЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ В ДВИЖУЩЕМСЯ ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

RESEARCH OF THE PULSATION EXCITATION PROCESS IN A MOVING LIQUID FLOW IN A PIPELINE

М. Я. Хабибуллин
Marat Ya. Khabibullin

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Октябрьский,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Branch, Oktyabrskiy,
Ufa, Russian Federation

Г. Г. Гилаев
Gani G. Gilaev

Кубанский государственный
технологический университет,
г. Краснодар,
Российская Федерация

Kuban State
Technological University,
Krasnodar, Russian Federation

В данной работе затронут важный вопрос, насколько эффективно использование энергии, вводимой в каждый из элементов типа трубы Вентури, т.е. какова величина энергетического КПД. Ответ может быть получен при сравнительных исследованиях удельной площади поверхности пузырей в газожидкостной системе и коэффициентов массопереноса в трубе с периодически меняющимся сечением и в цилиндрической трубе при прочих равных условиях.

Любопытен факт расположения максимумов ускорений разгона и торможения вблизи наиболее узкой части трубы — горловины диаметром d . Частицы деформируемой дисперсной фазы, подходя к горловине, начинают разгоняться, особенно вблизи оси трубы, вытягиваясь в осевом направлении. Одновременно они испытывают значительное падение гидростатического давления. Пройдя горловину, жидкость начинает резко тормозиться, при этом давление восстанавливается почти до начального значения. На пристенные слои жидкости большое влияние оказывают огромные сдвиговые напряжения, обусловленные большими поперечными градиентами скоростей у стенок горловины. Совокупность этих факторов может послужить мощным средством деформирования и дробления дисперсных включений, а также способствовать волнообразованию на их поверхности и улучшению внутреннего перемешивания и в целом — ускорению процессов массопереноса.

Кроме того, падение давления в горловине до давления насыщенных паров может привести к кавитации и сопутствующим ей эффектам. Для твердых частиц, имеющих плотность, отличную от плотности жидкости, постоянный их разгон и торможение также должны способствовать ускорению массопереноса. При обработке капиллярно-пористых частиц ускорению массопереноса внутри частицы могут способствовать пульсации давления, а снаружи — периодическое пульсационное обновление жидкости вблизи поверхности частицы.

Предложенный способ возбуждения пульсаций в движущемся потоке жидкости может быть использован для процессов дробления капель и пузырей в сплошной жидкой фазе, поскольку при этом возникают благоприятные условия — значительные амплитуды давления, скорости и ускорения при частоте порядка десятков герц. Совокупность силовых факторов, возникающих в элементе типа трубы Вентури, может послужить мощным средством деформиро-

Ключевые слова

давление; скорость; ускорение;
частота; коэффициент; трубка;
массоперенос

вания и дробления дисперсных включений, способствовать волнообразованию на их поверхности и улучшению внутреннего перемешивания, и в целом должна способствовать ускорению процессов массопереноса. Эти же факторы могут способствовать ускорению процесса массопереноса при обработке твердых непроницаемых и капиллярно-пористых частиц.

In this work, an important question is raised, how efficient is the use of the energy introduced into each of the elements of the Venturi tube type, i.e. what is the value of the energy efficiency. The answer can be obtained from comparative studies of the specific surface area of bubbles in a gas-liquid system and the coefficients of mass transfer in a pipe with a periodically varying cross-section and in a cylindrical pipe, all other things being equal.

An interesting fact is that the maxima of acceleration and deceleration accelerations are located near the narrowest part of the pipe — the throat with diameter d . Particles of the deformable dispersed phase, approaching the throat, begin to accelerate, especially near the pipe axis, stretching in the axial direction. At the same time, they experience a significant drop in hydrostatic pressure. Having passed the throat, the liquid begins to decelerate sharply, while the pressure is restored almost to the initial value. The near-wall liquid layers are greatly influenced by huge shear stresses caused by large transverse velocity gradients at the throat walls. The combination of these factors can serve as a powerful means of deformation and fragmentation of dispersed inclusions, as well as contribute to wave formation on their surface and improve internal mixing and, in general, accelerate mass transfer processes.

In addition, a drop in throat pressure to the saturated vapor pressure can lead to cavitation and its attendant effects. For solid particles with a density different from that of a liquid, their constant acceleration and deceleration should also contribute to the acceleration of mass transfer. When processing capillary-porous particles, the acceleration of mass transfer inside the particle can be promoted by pressure pulsations, and outside — by periodic pulsational renewal of the liquid near the particle surface.

The proposed method for the excitation of pulsations in a moving fluid flow can be used for the processes of crushing drops and bubbles in a continuous liquid phase, since this creates favorable conditions — significant amplitudes of pressure, velocity and acceleration at a frequency of the order of tens of hertz. The combination of force factors arising in an element such as a Venturi tube can serve as a powerful means of deformation and crushing of dispersed inclusions, promote wave formation on their surface and improve internal mixing, and, in general, should facilitate the acceleration of mass transfer processes. The same factors can accelerate the process of mass transfer when processing solid impermeable and capillary-porous particles.

В данной работе затронут важный вопрос, насколько эффективно использование энергии, вводимой в каждый из элементов типа трубы Вентури, т.е. какова величина энергетического КПД. Ответ может быть получен при сравнительных исследованиях удельной площади поверхности пузырей в газожидкостной системе и коэффициентов массопереноса в трубе с периодически меняющимся сечением и в цилиндрической трубе при прочих равных условиях.

Циклическая частота пульсаций давления, скорости и ускорения в этом случае определяется по формуле

Key words

pressure; speed; acceleration; frequency; coefficient; tube; mass transfer

$$\omega = 2\pi/T. \quad (1)$$

Распределение давлений может быть приближенно найдено с достаточной для инженерных расчетов точностью с использованием одномерной модели.

Согласно работе [1], коэффициент местного сопротивления для конфузора запишем в виде

$$\zeta_m = (-0.0125n_0^4 + 0.0224n_0^3 - 0.00723n_0^2 + 0.00444n_0 - 0.00745) \times (\alpha_p^3 - 2\pi\alpha_p^2 - 10\alpha_p), \quad (2)$$

где $n_0 = (d/D)^2$ — степень сужения потока; α_p — угол α , выраженный в радианах.

Коэффициент потерь на трение в конфузоре определяется по формуле

$$\zeta_{m.k} = \lambda_1 (1 - n_0)^2 / 8tg(\alpha/2), \quad (3)$$

где λ_1 — коэффициент гидравлического трения, который рассчитывается по формуле Альтшуля в сечении диаметром D :

$$\lambda_1 = 0.11[(68/Re_D) + (D/D)]^{0.25}; \quad (4)$$

$Re_D = w_2 D \rho / \mu$ — число Рейнольдса, которое рассчитывается по сечению диаметром D ;

ρ — плотность жидкости, кг/м³;

μ — коэффициент динамической вязкости, Па·с;

Δ — абсолютная шероховатость внутренней поверхности трубы, м.

Потери давления в конфузоре можно представить в виде [2]:

$$\Delta p_k = (\zeta_m + \zeta_{m.k}) (\rho w_1^2 / 2). \quad (5)$$

Коэффициент полноты удара для диффузора в работе [3] представлен выражением

$$\varphi = 3.2[tg(\beta/2)]^{1.25}, \quad (6)$$

а коэффициент сопротивления, обусловленный расширением потока, выражением

$$\zeta_{pac} = \varphi(1 - n_0)^2. \quad (7)$$

Коэффициент потерь на трение в диффузоре согласно работе [4] определяется по формуле

$$\zeta_{m.d} = \lambda_{cp}(1 - n_0)^2 / 8tg(\beta/2), \quad (8)$$

где λ_{cp} — коэффициент гидравлического трения, рассчитываемый как среднее арифметическое: $\lambda_{cp} = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$, а коэффициент гидравлического трения λ_2 рассчитывается по формуле Альтшуля в сечении диаметром d :

$$\lambda_2 = 0.11[(68/Re_d) + (D/D)]^{0.25}, \quad (9)$$

$Re_d = w_1 d \rho / \mu$ — число Рейнольдса, рассчитываемое по сечению диаметром d .

Потери давления в диффузоре в работе [2] представлены в виде

$$\Delta p_d = (\zeta_{pac} + \zeta_{m.d}) (\rho w_1^2 / 2). \quad (10)$$

Сжатием потока в горловинах трубы Вентури можно пренебречь, что подтверждается нашими расчетами методом конечных элементов.

Тогда потери давления в узкой горловине определяются по формуле:

$$\Delta p_d = \lambda_2 (L_2 / d) (\rho w_1^2 / 2), \quad (11)$$

в широкой горловине — по формуле:

$$\Delta p_D = \lambda_1 (L_4 / d) (\rho w_2^2 / 2). \quad (12)$$

Общие необратимые потери давления в одном элементе типа трубы Вентури длиной L определяются суммой потерь

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_d + \Delta p_d + \Delta p_D. \quad (13)$$

Из уравнения Бернулли, предполагая течение повсюду плавно изменяющимся, нетрудно получить формулы для расчета давлений в сечениях 1–4 (см. рисунок 1):

$$p_1 = p_0 + (\rho w_2^2 / 2) - (\rho w_1^2 / 2) - \Delta p_k; \quad (14)$$

$$p_2 = p_1 - \Delta p_d; \quad (15)$$

$$p_3 = p_2 + (\rho w_1^2 / 2) - (\rho w_2^2 / 2) - \Delta p_d; \quad (16)$$

$$p_4 = p_3 - \Delta p_d. \quad (17)$$

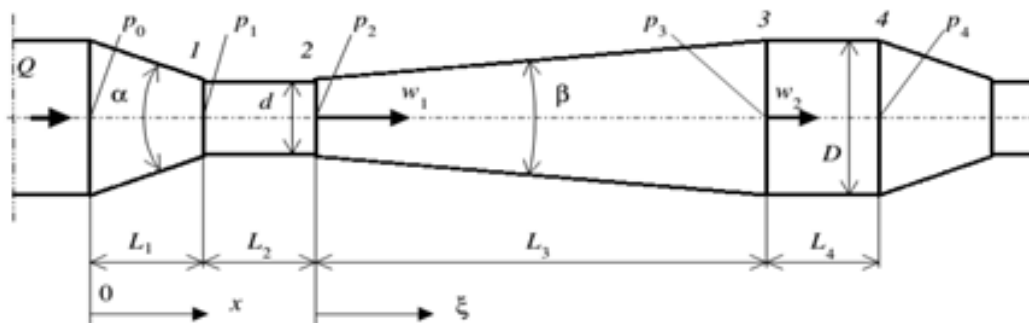


Рисунок 1. Схема конфузурно-диффузорного элемента трубы с периодическим профилем

Графики распределения скоростей, ускорений и давлений по длине элемента типа трубы Вентури, приведенные к координате x , представлены на рисунке 2.

Любопытен факт расположения максимумов ускорений разгона и торможения вблизи наиболее узкой части трубы — горловины диаметром d . Частицы деформируемой дисперсной фазы, подходя к горловине, начинают разгоняться, особенно вблизи оси трубы, вытягиваясь в осевом направлении. Одновре-

менно они испытывают значительное падение гидростатического давления. Пройдя горловину, жидкость начинает резко тормозиться, при этом давление восстанавливается почти до начального значения. На пристенные слои жидкости большое влияние оказывают огромные сдвиговые напряжения, обусловленные большими поперечными градиентами скоростей у стенок горловины. Совокупность этих факторов может послужить мощным средством деформирования и дробления дисперсных вклю-

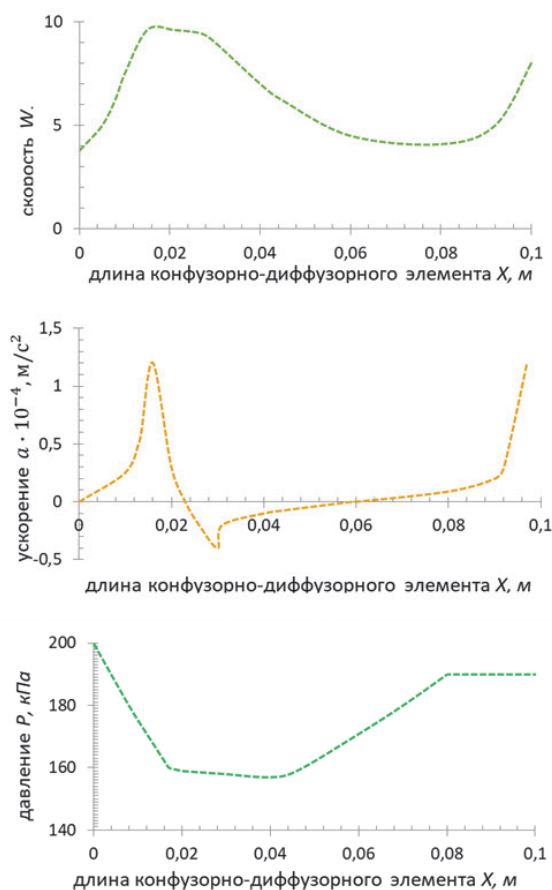


Рисунок 2. Теоретическое распределение скоростей w , ускорений a и давлений p по длине x конфузорно-диффузорного элемента (расчетные параметры: $d = 10$ мм; $D = 20$ мм; $L_1 = 15$ мм; $L_2 = L_4 = 10$ мм; $L_3 = 50$ мм; $\alpha = 36^\circ$; $\beta = 11.5^\circ$; $Q = 7.8 \cdot 10^{-4}$ м³/с)

чений, а также способствовать волнообразованию на их поверхности и улучшению внутреннего перемешивания и в целом — ускорению процессов массопереноса.

Кроме того, падение давления в горловине до давления насыщенных паров может привести к кавитации и сопутствующим ей эффектам [5–10]. Для твердых частиц, имеющих плотность, отличную от плотности жидкости, постоянный их разгон и торможение также должны способствовать ускорению массопереноса. При обработке капиллярно-пористых частиц ускорению массопереноса внутри частицы могут способствовать пульсации давления [11–13], а снаружи — периодическое пульсационное обновление жидкости вблизи поверхности частицы [14–16].

На рисунке 3 представлено распределение давления в трубе с периодически меняющимся сечением, состоящей из 10 последовательно установленных элементов типа трубы Вентури, которое рассчитывалось по

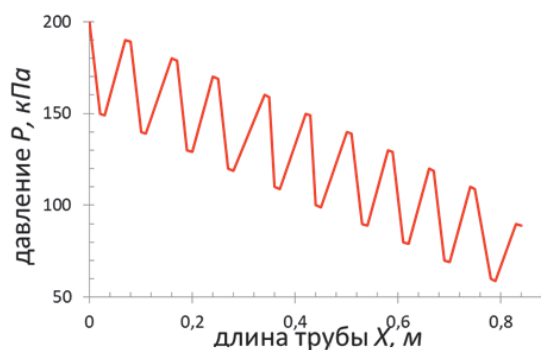


Рисунок 3. Теоретическое распределение давлений p по длине трубы x с периодически меняющимся сечением, состоящей из 10 конфузорно-диффузорных элементов

формулам (14)–(17) с учетом соотношений (9)–(12).

Расчетные параметры приведены в подписи к рисунку 2. Полученные при расчете результаты были проверены опытным путем на стеклянной модели такой трубы с периодически меняющимся сечением. Расход жидкости в трубе варьировался в диапазоне $(1.16\text{--}2.98) \cdot 10^{-4}$ м³/с, режим течения при этом турбулентный ($Re_d > 9500$).

Результаты измерений и расчетов обобщались зависимостью вида

$$\Delta p_0 = CQ^2, \quad (18)$$

где $\Delta p_0 = 10\Delta p$ — потери давления в трубе, состоящей из 10 последовательно установленных элементов типа трубы Вентури;

C — коэффициент потерь давления.

По данным экспериментов коэффициент C составляет $2.61 \cdot 10^{11}$ кг·м⁻⁷, расчет же по формулам (9)–(13) при $Q = 2.8 \cdot 10^{-4}$ м³/с дает теоретическое значение коэффициента C , равное $1.69 \cdot 10^{11}$ кг·м⁻⁷, которое в 1.54 раза меньше экспериментального. Это расхождение может быть обусловлено погрешностью изготовления стеклянной трубы сложной формы, отклонениями ее линейных и угловых размеров от расчетных (при отклонении диаметра горловины от номинального всего на 8 % сопротивление трубы возрастает в 1.52 раза); погрешностью измерения давления и расхода, а также тем, что коэффициент полноты удара диффузора рассчитывается исходя из прямоугольного профиля скорости в узком сечении.

Вместе с тем характер экспериментальной зависимости (18) совпадает с характером теоретической, что позволяет рекомендовать в целом предложенную методику расчета для инженерных расчетов трубы с периодически меняющимся сечением.

Интересно отметить, что для цилиндрической трубы диаметром 10 мм и длиной $10L = 0.85$ м при $Q = 2.8 \cdot 10^{-4}$ м³/с теоретическое значение коэффициента C составило $1.76 \cdot 10^{11}$ кг·м⁻⁷, что на 4,1 % выше, чем теоретическое значение коэффициента для трубы с периодически меняющимся сечением. Это связано с тем, что, во-первых, ее профиль обеспечивает безотрывное течение жидкости, и, во-вторых, на некоторых участках скорость течения жидкости ниже. Таким образом, несмотря на сложную форму трубы с периодически меняющимся сечением, общие потери энергии в ней несколько ниже.

Теоретическая частота пульсаций согласно формуле (9) при $Q = 2.8 \cdot 10^{-4}$ м³/с для трубы рассматриваемой формы составляет 130 с⁻¹. Экспериментальная проверка этого соотношения, к сожалению, затруднена в связи с необходимостью перемещения датчика давления внутри трубы вместе с потоком.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ширяев А.М., Жолобов В.В., Савинов С.А. О применении замкнутых вихревых образований для повышения энергоэффективности технологических процессов трубопроводного транспорта // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 1 (17). С. 26–35.
2. Хабибуллин М.Я. Исследование процессов, происходящих в колонне труб при устьевой импульсной закачке жидкости в скважину // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 6. С. 34–39. DOI: 10.17122/ngdelo2018-6-34-39.
3. Лысенко В.С. Технология снижения гидравлических потерь в напорных трубопроводах // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 3. С. 59–61.
5. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. 628 с.
6. Брянская Ю.В. Уточнение кинематических характеристик турбулентного течения // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 6. С. 31–38.
7. Khabibullin M.Ya., Suleimanov R.I. Selection of Optimal Design of a Universal Device for Nonstationary Pulse Pumping of Liquid in a Reservoir Pressure Maintenance System // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54. Issue 3–4. P. 225–232. DOI: 10.1007/s10556-018-0467-2.
8. Abdyukova R.Y. Studies on Operation and Types of Drilling Pump Valves // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012050.
9. Orlov V. Pipeline Walls Hydrophobic Properties Study and Their Protective Coatings Used in Trenchless Technologies // Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education: Materials of MATEC

Выводы

Предложенный способ возбуждения пульсаций в движущемся потоке жидкости может быть использован для процессов дробления капель и пузырей в сплошной жидкой фазе, поскольку при этом возникают благоприятные условия — значительные амплитуды давления, скорости и ускорения при частоте порядка десятков герц.

Совокупность силовых факторов, возникающих в элементе типа трубы Вентури, может послужить мощным средством деформирования и дробления дисперсных включений, способствовать волнообразованию на их поверхности и улучшению внутреннего перемешивания, и в целом должна способствовать ускорению процессов массопереноса. Эти же факторы могут способствовать ускорению процесса массопереноса при обработке твердых непроницаемых и капиллярно-пористых частиц.

Web of Conferences 5th International Scientific Conference. Moscow, Russia. 2016. Vol. 86. Article Number 04020. DOI: 10.1051/mateconf/20168604020.

10. Khabibullin M.Ya. Development of the Design of the Sucker-Rod Pump for Sandy Wells // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 560. P. 012065. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012065.

11. Orlov V., Zotkin S., Dezhina I., Zotkina I. Calculation of the Hydraulic Characteristics of the Protective Coating Used in Trenchless Technologies for the Construction and Renovation of Pipelines to Extend Their Service Life // Theoretical Foundation of Civil Engineering: Materials of MATEC Web of Conferences 6th RSP Seminar 2017. Warsaw, Poland. 2017. Vol. 117. Article Number 00185. DOI: 10.1051/mateconf/201711700185.

12. Aristizabal-Fontal J.E., Cortes F.B., Franco C.A. Viscosity Reduction of Extra Heavy Crude Oil by Magnetite Nanoparticle-Based Ferrofluids // Adsorption Science and Technology. 2017. Vol. 36. Issue 1–2. P. 23–45. DOI: 10.1177/0263617417704309.

13. Bushella G.C., Yan Y.D., Woodfield D., Raper J., Amal R. On Techniques for the Measurement of the Mass Fractal Dimension of Aggregates // Advances in Colloid and Interface Science. 2002. Vol. 95. Issue 1. P. 1–50. DOI: 10.1016/S0001-8686(00)00078-6.

14. Хабибуллин М.Я. Систематизированный подход к методам закачки воды в нагнетательные скважины // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17. № 3. С. 80–86. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-3-80-86.

15. Tao R., Tang H. Reducing Viscosity of Paraffin Based Crude Oil with Electric Field for Oil Production and Transportation // Fuel. 2014. Vol. 118. P. 69–72. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.056.

16. Михалев А.Д. Гидравлический расчет напорных трубопроводов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 2. С. 20–28. DOI: 10.5862/MCE.32.3.

REFERENCES

1. Shiryaev A.M., Zholobov V.V., Savinov S.A. O primeneniі zamknutykh vikhrevykh obrazovaniі dlya povysheniya energoeffektivnosti tekhnologicheskikh protsessov truboprovodnogo transporta [About Application of the Closed Vortex Formations for Increase of Energy Efficiency of Pipeline Transport Technological Processes]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov — Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2015, No. 1 (17), pp. 26–35. [in Russian].
2. Khabibullin M.Ya. Issledovanie protsessov, proiskhodiyashchikh v kolonne trub pri ust'evoi impul'snoi zakachke zhidkosti v skvazhinu [Research of Processes in a Pipe String at a Wellhead Pulse Injection of Liquid to a Well]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2018, Vol. 16, No. 6, pp. 34–39. DOI: 10.17122/ngdelo2018-6-34-39. [in Russian].
3. Lysenko V.S. Tekhnologiya snizheniya gidravlicheskikh poter' v napornykh truboprovodakh [Technology to Reduce the Flow Resistance in the Discharge Line]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii — Modern High Technologies*, 2014, No. 3, pp. 59–61. [in Russian].
4. Idelchik I.E. *Handbook of Hydraulic Resistance*. Redding, Begell House, 2008. 790 p.
5. Masket M. *Techenie odnorodnykh zhidkosti v poristoi srede* [The Flow of Homogeneous Fluids in a Porous Medium]. Moscow-Izhevsk, NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika» Publ., 2004. 628 p. [in Russian].
6. Bryanskaya Yu.V. Utochnenie kinematcheskikh kharakteristik turbulentnogo techeniya [Refinement of Turbulent Flow Velocity Characteristics]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal — Magazine of Civil Engineering*, 2013, No. 6, pp. 31–38. [in Russian].
7. Khabibullin M.Ya., Suleimanov R.I. Selection of Optimal Design of a Universal Device for Nonstationary Pulse Pumping of Liquid in a Reservoir Pressure Maintenance System. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2018, Vol. 54, Issue 3–4, pp. 225–232. DOI: 10.1007/s10556-018-0467-2.
8. Abdyukova R.Y. Studies on Operation and Types of Drilling Pump Valves. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. pp. 012050. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012050.
9. Orlov V. Pipeline Walls Hydrophobic Properties Study and Their Protective Coatings Used in Trenchless Technologies. *Materials of MATEC Web of Conferences 5th International Scientific Conference «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education»*. Moscow, Russia, 2016, Vol. 86, Article Number 04020. DOI: 10.1051/mateconf/20168604020.
10. Khabibullin M.Ya. Development of the Design of the Sucker-Rod Pump for Sandy Wells. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, Vol. 560, pp. 012065. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012065.
11. Orlov V., Zotkin S., Dezhina I., Zotkina I. Calculation of the Hydraulic Characteristics of the Protective Coating Used in Trenchless Technologies for the Construction and Renovation of Pipelines to Extend Their Service Life. *Materials of MATEC Web of Conferences 6th RSP Seminar 2017 «Theoretical Foundation of Civil Engineering»*. Warsaw, Poland, 2017, Vol. 117, Article Number 00185. DOI: 10.1051/mateconf/201711700185.
12. Aristizabal-Fontal J.E., Cortes F.B., Franco C.A. Viscosity Reduction of Extra Heavy Crude Oil by Magnetite Nanoparticle-Based Ferrofluids. *Adsorption Science and Technology*, 2017, Vol. 36, Issue 1–2, pp. 23–45. DOI: 10.1177/0263617417704309.
13. Bushella G.C., Yan Y.D., Woodfield D., Raper J., Amal R. On Techniques for the Measurement of the Mass Fractal Dimension of Aggregates. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2002, Vol. 95, Issue 1, pp. 1–50. DOI: 10.1016/S0001-8686(00)00078-6.
14. Khabibullin M.Ya. Sistematizirovannyi podkhod k metodam zakachki vody v nagnetatel'nye skvazhiny [Systematization of Methods of Water Injection in Wells]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2019, Vol. 17, No. 3, pp. 80–86. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-3-80-86. [in Russian].
15. Tao R., Tang H. Reducing Viscosity of Paraffin Based Crude Oil with Electric Field for Oil Production and Transportation. *Fuel*, 2014, Vol. 118, pp. 69–72. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.056.
16. Mikhalev A.D. Gidravlicheskie raschet napornykh truboprovodov [Hydraulic Calculation of Pressure Pipes]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal — Magazine of Civil Engineering*, 2012, No. 2, pp. 20–28. DOI: 10.5862/MCE.32.3. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Хабибуллин Марат Яхиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Нефтепромысловые машины и оборудование», УГНТУ, филиал, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Marat Ya. Khabibullin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Field Machines and Equipment Department, Branch, USPTU, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

e-mail: m-hab@mail.ru

Гилаев Гани Гайсинович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры нефтегазового дела, Институт нефти, газа и энергетики, КубГТУ, г. Краснодар, Российская Федерация

Gani G. Gilaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Oil and Gas Business Department, Institute of Oil, Gas and Energy, KubGTU, Krasnodar, Russian Federation

e-mail: gggilaev@gmail.com