

УДК 622.276.8 + 622.692.1

## **Сепарационное оборудование с повышенным эффектом разделения продукции скважин**

**М. Я. Хабибуллин<sup>1\*</sup>, Г. Г. Гилаев<sup>2</sup>, Р. И. Сулейманов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета,  
г. Октябрьский, Россия

<sup>2</sup>Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия  
\*e-mail: m-hab@mail.ru

**Аннотация.** Совершенствование сепарационной техники и технологии с целью повышения эффекта разделения продукции скважин является важным вопросом в области сбора и подготовки нефти.

Увеличение производительности сепарационной техники за счет изменения размеров емкостей сепараторов достигло своих максимальных возможностей, и последующая работа в этом направлении затруднительна и неоправданна.

Изучение и исследование движения газожидкостных потоков в сепараторе, влияния внутрипакетных и внутривихревых потоков, изменения конструкции пакетов, процесса разрушения дисперсной фазы и флотационного эффекта позволят создать технологическую и техническую базу для обеспечения эффекта работы сепарационной техники в дальнейшем.

В результате исследования предложена конструкция аппарата с лучшими условиями разделения продукции скважин, применение которого обеспечивает эффективность сепарирования и вывода плотной фракции через отверстие выгрузки.

На основе представленных исследований разработан и выполнен опытный образец аппарата.

**Ключевые слова:** продукция скважин; газожидкостный поток; сепарирование; сепаратор; гидроциклон; конус; ротор

## **Separation equipment with increased well fluids separation capacity**

**Marat Ya. Khabibullin<sup>1\*</sup>, Gani G. Gilaev<sup>2</sup>, Rustem I. Suleymanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky, Russia

<sup>2</sup>Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia  
\*e-mail: m-hab@mail.ru

**Abstract.** Separation technique and technology improving to increase well production fluids separation effect is an important issue in the field of petroleum production and treatment.

Due to the change in the size of separator containers, the increase in the separation equipment productivity has reached its maximum capabilities, and subsequent work in this direction is difficult and unjustified.

Studying the gas-liquid flows movement in the separator, the in-package and in-rotor flows impact, changes in package design, the process of the dispersed phase and the flotation effect destruction will allow us to create a technological and technical basis for separation equipment performance ensuring in the future.

Because of the study, the design of the apparatus with the best well production fluids separation was proposed, the use of which ensures the separation and dense fraction removal through the discharge opening efficiency.

Based on the presented research, a prototype apparatus was developed and machined.

*Key words:* well production; gas-liquid flow; separation; separator; hydrocyclone; cone; rotor

## Введение

Совершенствованию процессов качественного и производительного сепарирования жидких неоднородных систем в нефтегазодобывающей промышленности уделяется значительное внимание как со стороны производителей, так и со стороны научных работников. Для осуществления этих операций применяются различные виды конструкций отстойников, сепараторов, гидроциклонов и т. д., принцип действия которых основан на гравитационном и центробежном разделении неоднородных масс различной плотности.

## Объект и методы исследования

В жидкостных сепараторах поверхность разделения формируется пакетом конических тарелок. Как известно, их производительность определяется значением индекса производительности по формуле [1, 2]:

$$\Sigma Q = \frac{2\omega^2 V}{g}, \quad (1)$$

где  $\omega$  — угловая частота вращения ротора сепаратора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $V$  — объем, ограниченный рабочей поверхностью разделения и замыкающей его плоскостью,  $\text{м}^3$ ;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Естественным путем увеличения  $\Sigma Q$  является увеличение как размеров (диаметра и высоты), так и числа тарелок. Однако в конечном счете это ведет к недопустимому увеличению высоты ротора, ухудшающему динамические характеристики сепараторов, и росту неравномерности питания пакета по высоте. Известно, что современные соотношения между диаметром и высотой роторов продиктованы многолетним опытом и подкреплены теоретическими соображениями в части оптимальных динамических характеристик сепараторов. Увеличение числа тарелок возможно как за счет некоторого увеличения высоты ротора, так и за счет уменьшения зазора между тарелками для отдельных разделяемых жидкостей. Объем, ограниченный одной тарелкой разделительного пакета при ее постоянной форме, можно выразить в виде произведения  $aR_T^3$ , где  $a$  — коэффициент пропорциональности;  $R_T$  — наибольший радиус тарелки.

Тогда

$$\Sigma Q = \frac{2aR_T^3 z \omega^2}{g}, \quad (2)$$

где  $z$  — число тарелок в пакете.

Учитывая, что рабочая линейная скорость наиболее удаленных от оси вращения точек ротора  $v = \omega R$  (здесь  $R$  — радиус ротора), и условно приняв, что количество тарелок пропорционально  $R$ , получим

$$\Sigma Q = \frac{2a_1 v^2 R^2}{g}, \quad (3)$$

где  $a_1$  — новый коэффициент пропорциональности, равный отношению суммарного объема, ограниченного всеми тарелками, к  $R^4$ .

Для дальнейших выкладок используем понятие допустимого значения критерия прочности быстровращающихся узлов

$$[Ne] = \frac{[\sigma]}{\rho v^2}, \quad (4)$$

где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение для материала ротора, МПа;  $\rho$  — плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $[\sigma]/\rho = \gamma$  — удельная прочность материала.

Тогда

$$\Sigma Q = 2\gamma a_1 R^2 / \{g[Ne]\}. \quad (5)$$

Значение  $[Ne]$  для вращающегося стального цилиндрического ротора, заполненного водой, можно принять равным двум [3, 4]. При этом получим

$$\Sigma Q = a_1 R^2 / g. \quad (6)$$

Из последнего выражения следует, что производительность сепаратора при заданной линейной скорости ротора может быть повышена соответствующим увеличением радиуса тарелки, а следовательно, и ротора.

Из выражения для критерия  $[Ne]$  вытекает, что

$$v^2 = (\omega R)^2 = \gamma[Ne] = const;$$

$$\omega = \frac{1}{R} \sqrt{\gamma[Ne]}. \quad (7)$$

Удельная прочность материала представляет собой квадрат окружной скорости разрушения вращающегося тонкого кольца, выполненного из того же материала. Обозначив линейную безопасную скорость через  $v_\partial$ , формулу (7) при  $[Ne] = 2$  можно записать в виде

$$\omega = 0,71 \frac{v_\partial}{R}. \quad (8)$$

Для цилиндрического ротора при заданных значениях плотности его материала и разделяемой жидкости в работе [5] приводится зависимость

$$S/R = f([Ne]), \quad (9)$$

где  $S$  — толщина стенки ротора.

На основании этих зависимостей нами построена зависимость отношения  $v_\partial/v$  от отношения  $S/R$  (рис. 1).

Воспользуемся примером, приведенным в работах [5, 6]. Требуется спроектировать ротор, внутренний радиус которого 0,346 м, вращающийся с частотой 4 500 об/мин. Допускаемое напряжение  $[\sigma] = 450$  МПа. Линейная скорость поверхности ротора на радиусе 0,316 м равна 163 м/с, в то время как безопасная скорость  $v_\partial \leq 239,4$  м/с. Отношение  $v_\partial/v = 1,47$ .

Данному отношению на рисунке 1 соответствует отношение  $S/R = 0,08$ , следовательно, толщина стенки будет  $S = 27,7$  мм.

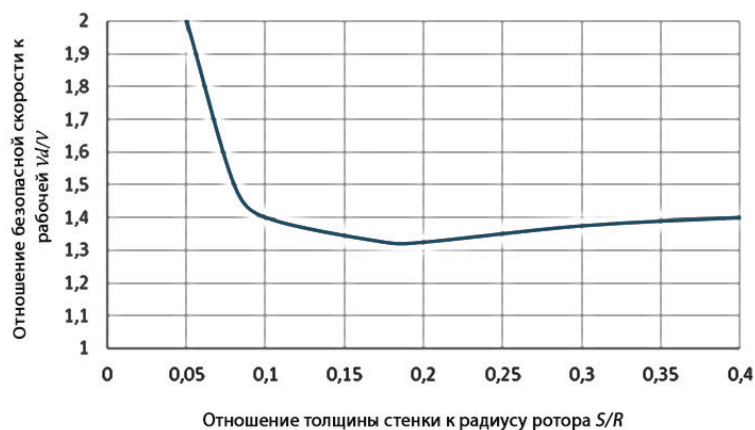


Рис. 1. Зависимость отношения  $v_0/v$  безопасной скорости к рабочей от отношения  $S/R$  толщины стенки к радиусу ротора

Как следует из рисунка 1, минимуму отношения  $v_0/v = 1,325$  соответствует отношение  $S/R = 0,175$ . Следовательно, имеется возможность при том же значении  $v_0$  увеличить скорость в  $1,47/1,325 = 1,1$  раза (то есть на 10 %), но при этом толщина стенки увеличится в  $0,175/0,08 = 2,2$  раза (соответственно, также увеличится и масса ротора). Видно, что дальнейшее увеличение рабочей скорости (когда  $1,325 v > v_0$ ) исключено (см. рис. 1).

Резерв увеличения скорости ротора возможен за счет снижения разрушающей скорости. Если воспользоваться преобразованной формулой для вероятности неразрушения, приняв нормальное распределение прочности материала ротора, можно написать [7–9]

$$P = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_b^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \quad (10)$$

где  $b = \frac{K_v^2 - 1}{\sqrt{v_s^2 K_v^4 + v_{s_i}^2}}$ ;  $P$  — вероятность безотказной работы ротора;  $K_v^4$  — запас прочности по скорости;  $v_s = 0,19$ , коэффициент вариации удельной прочности ротора для стали;  $v_{s_i}$  — коэффициент вариации квадрата скорости ротора, который принимается равным нулю.

Рассчитывая для различных значений  $K_v^4$  значения  $b$ , найдем по стандартной методике [10] величины вероятности неразрушения ротора (таблица).

Величины вероятности неразрушения ротора

|       |        |      |        |      |        |        |        |
|-------|--------|------|--------|------|--------|--------|--------|
| $K_v$ | 1,41   | 1,35 | 1,3    | 1,25 | 1,2    | 1,15   | 1,1    |
| $P$   | 0,9957 | –    | 0,9842 | –    | 0,9463 | 0,8997 | 0,8186 |

На рисунке 2 приведен график  $P = f(K_v)$ .

Итак, резерв увеличения скорости ротора возможен за счет снижения значения разрушающей скорости и, следовательно, понижения его надежности.

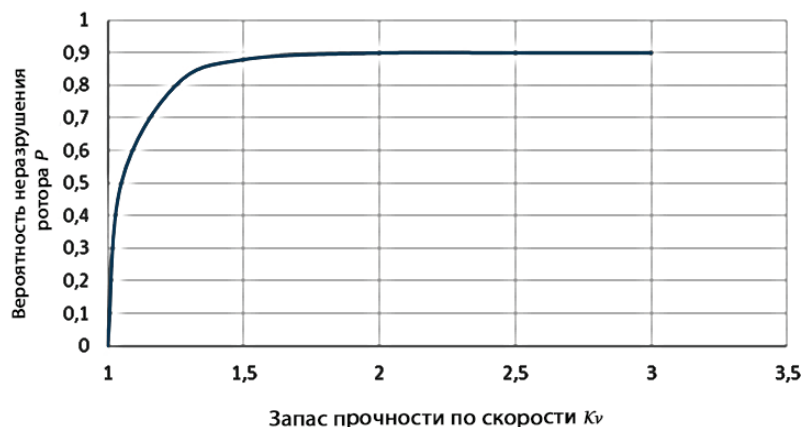


Рис. 2. Зависимость вероятности неразрушения ротора  $P$  от запаса прочности по скорости  $K_v$

Как видно, достаточная безопасность работы обеспечивается при запасе по скорости 1,41, что соответствует двукратному запасу прочности. В этом случае только четыре ротора из 1 000 могут разрушиться. Однако при уменьшении запаса по скорости до 1,1 вероятность безопасности работы снизится до 0,8186, то есть повышение значения допускаемой скорости только на 31 % приводит к значительному возрастанию вероятности разрушения, так как при этом уже могут разрушиться почти 20 % роторов.

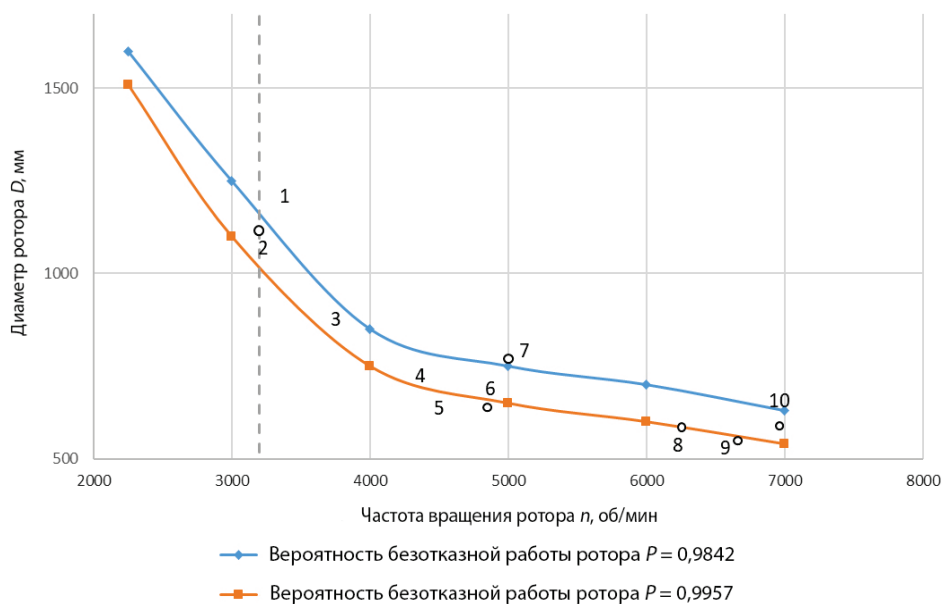


Рис. 3. Зависимость диаметра ротора  $D$  от частоты вращения ротора  $n$  различных сепараторов (штриховой линией очерчена граница современного сепараторостроения):  
 1 — SA-160-06-117; 2 — МДА-300; 3 — СДС-901 К-01; 4 — MRPX-418; 5 — SB-80-36-076;  
 6 — СДС-530К-1; 7 — SB-60-36-076; 8 — СДС-531К-01; 9 — SAMR5036M; 10 — СОС-501К-3

На рисунке 3 представлены зависимости диаметра ротора от частоты его вращения на основании равенства (7) для двух значений вероятности безотказной работы ротора  $P$ , выполненного из материала, указанного в примере. Точками обозначены параметры  $D = f(n)$  ряда современных сепараторов (см. рис. 3). Как видно, большинство точек располагается вблизи нижней кривой. График позволяет выявить границу области современного сепараторостроения по значениям диаметров роторов (показана штриховой линией). Дальнейшее заметное увеличение диаметра ротора, например, до 1 500 мм, вероятно, будет связано с поиском новых конструктивных форм сепараторов, отказом от их традиционной конструктивной схемы. Это связано с серьезными конструктивными проработками и значительной перестройкой производственной базы.

Ранее было показано [11], что неравномерность питания влечет за собою снижение индекса производительности иногда в 2 раза и более. Неравномерность питания неоднократно изучалась и предлагались способы ее уменьшения [12]. Влияние неравномерности питания по высоте пакета должно учитываться как при увеличении числа тарелок, так и при их изготовлении с учетом необходимости точного соблюдения выбранного зазора между ними [13–15].

Следует отметить, что при конструировании сепараторов с высоким значением индекса производительности в недостаточной степени удается использовать многочисленные теоретические исследования в области гидромеханики течения в центробежном поле. Это объясняется крайней сложностью условий течения разделяемой жидкости во внутриворотном пространстве. Поэтому в настоящее время большое значение приобрели экспериментальные исследования внутриворотных потоков. Так, экспериментально было показано [16], что при интенсификации процесса разделения нельзя изолированно изучать работу отдельных частей ротора, а нужно рассматривать работу системы, включающей пакет тарелок, шламовое пространство, фугатные каналы и выгружающее устройство.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что повышение производительности сепараторов за счет увеличения их размеров приблизилось к пределу и использование имеющихся еще некоторых резервов в этом направлении, очевидно, сопряжено с необходимостью преодоления больших и неоправданных трудностей. Дальнейшее развитие этого направления нерационально [17, 18].

Однако существует путь интенсификации процесса сепарирования за счет выравнивания распределения внутриворотных и внутриворотных потоков, усовершенствования пакетов, устранения флотационного эффекта и деструкции дисперсной фазы, адаптации режима работы сепараторов в зависимости от изменений свойств разделяемой жидкости [19].

В нефтяной промышленности применяются различные виды гидроциклонов для разделения пластовой жидкости, очистки сточных вод. Обычно гидроциклон представляет собой цилиндрический корпус, переходящий в конический у выгрузочного отверстия, с тангенциальным вводом жидкой фазы и центральным сливным патрубком [20, 21].

В общем случае профиль тангенциальных скоростей жидкости изменяется по закону

$$v_{\varphi} r^n = \text{const}, \quad (11)$$

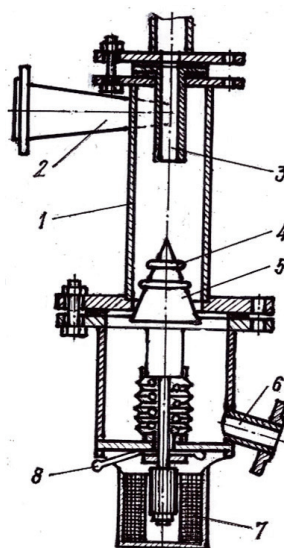
где  $v_{\varphi}$  — тангенциальная скорость в пристенной области, м/с;  $r$  — радиус гидроциклона, м;  $n$  — показатель степени.

По данным различных авторов показатель степени  $n$  изменяется в пределах от  $-1$  до  $+1$ . На тангенциальную скорость в гидроциклоне влияют его геометрические параметры, конусность корпуса и организация вывода сгущенной фракции.

### Результаты

В промышленных условиях, например при очистке высокопарафинистой пластовой жидкости, в гидроциклоне образуются корки, периодически забивающие выгрузочное отверстие. С целью обеспечения лучших гидродинамических условий процесса разделения пластовой жидкости в гидроциклоне и исключения забивки выгрузочного отверстия предложен аппарат (рис. 4), содержащий только цилиндрическую часть корпуса [22].

Рис. 4. Конструкция гидроциклона:  
1 — корпус; 2 — штуцер; 3 — сливной патрубкок; 4 — отбойные кольца; 5 — конический вытеснитель; 6 — штуцер сгущенной фракции; 7, 8 — устройства для автоматического и ручного регулирования проходного сечения выгрузочного отверстия



Выгрузочное отверстие образовано за счет размещения в нижней части гидроциклона конического вытеснителя. В корпусе гидроциклона имеются тангенциальный штуцер для ввода пластовой жидкости, сливной патрубкок, конический вытеснитель, штуцер сгущенной фракции, отбойные кольца и устройства для ручного или автоматического открытия выгрузочного отверстия. Наличие конического вытеснителя обеспечивает поддержание оптимальных гидродинамических условий по всей длине  $L$  аппарата — от вводного до выгрузочного отверстия. Конусность вытеснителя влияет на профиль распределения тангенциальных скоростей жидкости в пристенной области, позволяя сохранить постоянными профиль скоростей по радиусу и удельный расход по сечению аппарата.

На рисунке 5 приведены данные, полученные при работе гидроциклонов. Были исследованы вытеснители с углом конусности 25, 35, 43, 45 и 50°, с одним и двумя отражательными кольцами, а также гладкие. Наружный диаметр колец составлял 1,2–1,8 диаметра конуса в месте их установки. В опытах установлено, что наиболее эффективно гидроциклоны работают при наличии двух отражательных колец диаметром 1,45–1,5 диаметра конуса в этом сечении. Оптимальное расстояние между кольцами равно 0,7–0,8 среднего диаметра конуса между ними. При этом оптимальный угол конусности вытес-

нителя  $\gamma$  лежит в интервале  $35\text{--}43^\circ$ . Отклонение угла на  $5^\circ$  от оптимального интервала приводит к существенному снижению степени очистки в гидроциклоне (примерно на 5–6 %). Степень очистки пластовой жидкости от частиц при оптимальных параметрах аппарата составляла в опытах 96–99 %.

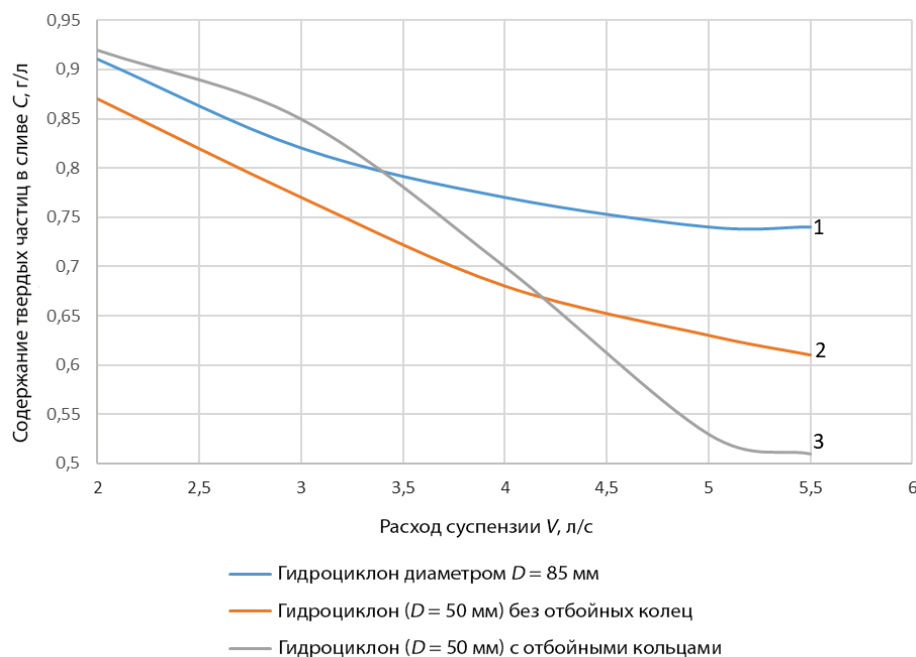


Рис. 5. Зависимость содержания твердых частиц в сливе  $C$  от расхода суспензий  $V$

### Обсуждение

Наилучшие показатели работы гидроциклона получены при содержании твердых частиц в исходной пластовой жидкости не более 3 г/л.

Математическая обработка экспериментальных результатов позволила получить данные по изменению тангенциальной скорости жидкой фазы в аппарате, которые согласуются с результатами, приведенными в работе [12]. Тангенциальная скорость жидкости в пристенной области может быть определена по формуле [9]

$$\frac{v_\varphi}{v_{ex}} = 3,1 \left( \frac{d_{ex}}{D} \right) \left( \frac{L}{D} \right)^{-0,32}, \quad (12)$$

где  $v_{ex}$  — скорость суспензии на входе в гидроциклон, м/с;  $d_{ex}$  — эквивалентный диаметр вводного прямоугольного сопла, м;  $D$  — диаметр гидроциклона, м.

Особенностью предложенной конструкции является то, что оптимальное соотношение  $L/D = 3 \dots 5$  при прочих соотношениях других, используемых в расчете характеристик, равных соотношениям характеристик в известных гидроциклонах. Такая длина гидроциклона обеспечивает условия эффективного разделения пластовой жидкости и вывода сгущенной фракции через выгрузочное отверстие.

## Выводы

Полученные результаты исследований, выполненных на реальном продукте при давлении и расходе, соответствующих производственным, позволили спроектировать и изготовить промышленный образец аппарата. Экспериментальные данные могут быть использованы для расчета подобных гидrocиклонов, предназначенных для работы и на других смесях.

## Библиографический список

1. Персиянцев М. Н. Совершенствование процессов сепарации нефти от газа в промысловых условиях. – М.: Недра, 1999. – 365 с.
2. 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
3. Технологии очистки нефти от сероводорода / Р. З. Сахабутдинов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 7. – С. 82–86.
4. Гидравлический разрыв пласта как инструмент разработки месторождений Самарской области / Г. Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 11. – С. 65–69.
5. Синайский Э. Г., Ляпина Е. Я., Зайцев Ю. В. Сепарация многофазных многокомпонентных систем. – М.: Недра, 2002. – 621 с.
6. 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/ngdelo-2018-6-34-39
7. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components / V. I. Alfayorov [et al.] // Oil & Gas Journal. – 2005. – Vol. 103, Issue 20. – P. 53–58. – Available at: <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=16811357>.
8. Новый подход к решению вопроса замера дебитов продукции скважин / С. С. Ульянов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 9. – С. 116–119. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-9-116-119
9. Comparison of Subsea Separation Systems / V. Khoi Vu [et al.] // Offshore Technology Conference (May 4–7, Houston, Texas). – 2009. – Available at: <https://doi.org/10.4043/20080-ms>.
10. 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
11. Тимербаев А. С., Таранова Л. В. Численное моделирование процесса разделения водонефтяных эмульсий в центробежном сепараторе // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (ч. 3). – С. 547–551.
12. Исследование напряженного состояния колонны насосно-компрессорных труб при работе импульсных устройств / М. Я. Хабибуллин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 4. – С. 94–99. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-4-94-99
13. Терновский И. Г., Кутепов А. М. Гидроциклонирование. – М.: Наука, 1994. – 350 с.
14. Хабибуллин М. Я., Сулейманов Р. И. Повышение надежности сварных соединений трубопроводов в системе поддержания пластового давления // Нефтегазовое дело. – 2019. – Т. 17, № 5. – С. 93–98. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-5-93-98
15. Мониторинг качества проектных решений и оптимизации проектируемых сооружений объектов капитального строительства в нефтяной отрасли / Г. Г. Гилаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 8. – С. 94–97.
16. Guangdong Guo, Songsheng Deng. Research on Dispersed Oil Droplets Breakage and Emulsification in the Dynamic Oil and Water Hydrocyclone // Advance Journal of Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 5, Issue 8. – P. 1110–1116. DOI:10.19026/ajfst.5.3215
17. Мильштейн Л. М. Опыт применения и перспективы совершенствования нефтегазовых сепараторов // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 3. – С. 88–91.
18. Савельева Н. Н. Совершенствование технологического оборудования системы сбора и подготовки скважинной продукции // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 2. – С. 138–142.

19. Сорокин Д. А., Гераськин В. И. Современные сепарационные технологии компании FMC Technologies. Циклонный сепаратор CDS'Gasunie™ // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 10 (153). – С. 26–27.
20. Караневская Т. Н., Попова А. В. Автоматизированный выбор технологических систем сбора и промысловой подготовки нефти на основе модульного подхода к их представлению // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 5. – С. 20–23.
21. Иванов В. А., Соколов С. М. Решения по надежности систем обустройства нефтяных месторождений Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 6. – С. 73–77. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-73-77
22. Зиберт А. Г., Зиберт Г. К., Минигулов Р. М. Совершенствование сепарационного оборудования на основе учета фазового состояния газожидкостной смеси // Газовая промышленность. – 2010. – № 4 (645). – С. 49–52.

## References

1. Persiyantsev, M. N. (1999). Advances in Processes of Separating the Oil from the Gas under Field Conditions. Moscow, Nedra Publ., 365 p. (In English).
2. Khabibullin, M. Ya., & Suleimanov, R. I. (2018). Selection of optimal design of a universal device for nonstationary pulse pumping of liquid in a reservoir pressure maintenance system. Chemical and Petroleum Engineering, 54(3-4), pp. 225-232. (In Russian). DOI: 10.1007/s10556-018-0467-2
3. Sakhabutdinov, R. Z., Shatalov, A. N., Garifullin, R. M., Shipilov, D. D., & Mukhametgaleev, R. R. (2008). Technologies of an oil cleaning from hydrogen sulphide. Oil Industry, (7), pp. 82-86. (In Russian).
4. Gilaev, G. G., Manasian, A. E., Letichevskiy, A. E., Parfenov, A. N., Khamitov, I. G., & Gilaev, G. G. (2014). Hydraulic fracturing as field development instrument in Samara region. Oil Industry, (11), pp. 65-69. (In Russian).
5. Sinaiski, E. G., & Lapiga, E. J. (2007). Separation of Multiphase, Multicomponent Systems. (In English). Available at: <https://doi.org/10.1002/9783527611386>
6. Khabibullin, M. Ya. (2018). Research of processes in a pipe string at a wellhead pulse injection of liquid to a well. Petroleum Engineering, 16(6), pp. 34-39. (In Russian). DOI: 10.17122/ngdelo-2018-6-34-39
7. Alfeyorov, V., Bagirov, L., Dmitriev, L., Feygin, V., Imayev, S., & Lacey, J. R. (2005). Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components. Oil & Gas Journal, 103(20), pp. 53-58. (In English). Available at: <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=16811357>
8. Ulianov, S. S., Sagyndikov, R. I., Davydov, D. S., Dolinyuk, V. Ye., Gilaev, G. G., & Totanov, A. S. (2017). A new approach to the measurement of wells yields. Oil Industry, (9), pp. 116-119. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2017-9-116-119
9. Khoi Vu, V., Fantoft, R., Shaw, Ch. K., & Gruehagen, H. (2009). Comparison of Subsea Separation Systems. Offshore Technology Conference (May 4-7, Houston, Texas). (In English). Available at: <https://doi.org/10.4043/20080-ms>
10. Khabibullin, M. Ya. (2019). Systematization of methods of water injection in wells. Petroleum Engineering, 17(3), pp. 80-86. (In Russian). DOI: 10.17122/ngdelo-2019-3-80-86
11. Timerbaev, A. S., & Taranova, L. V. (2014). Numerical simulation separation oil-water emulsions in centrifugal separator. Fundamental research, (9(3)), pp. 547-551. (In Russian).
12. Khabibullin, M. Ya., Suleymanov, R. I., Sidorkin, D. I., & Zainagalina, L. Z. (2018). Stress state columns of tubing string during operation pulsed downhole device. Oil and Gas Studies, (4), pp. 94-99. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2018-4-94-99
13. Ternovskiy, I. G., & Kutepov, A. M. (1994). Gidrotsiklonirovanie. Moscow, Nauka Publ., 350 p. (In Russian).
14. Khabibullin, M. Ya., & Suleymanov, R. I. (2019). Increasing the reliability of welded pipeline connections in reservoir pressure maintenance system. Petroleum Engineering, 17(5), pp. 93-98. (In Russian). DOI: 10.17122/ngdelo-2019-5-93-98
15. Gilaev, G. G., Gladunov, O. V., Ismagilov, A. F., Grishagin, A. V., & Gurov, A. N. (2015). Monitoring the quality of design solutions and optimization of the designed structures of capital construction objects in the oil industry. Oil Industry, (8), pp. 94-97. (In Russian).

16. Guangdong Guo, & Songsheng, Deng. (2013). Research on Dispersed Oil Droplets Breakage and Emulsification in the Dynamic Oil and Shhater Hydrocyclone. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(8), pp. 1110-1116. (In English). DOI:10.19026/ajfst.5.3215
17. Milshtejn, L. M. (2009). Experience of application and prospect of upgrading of oil-and-gas separators. *Oil Industry*, (3), pp. 88-91. (In Russian).
18. Saveleva, N. N. (2019). Improvement of technological equipment of the system of gathering and welding preparation. *Modern high technologies*, (2), pp. 138-142. (In Russian).
19. Sorokin, D. A., & Geraskin, V. I. (2011). Modern Separation Procedures of "FCM Technologies Co." CDS Gasunie™ Cyclone Separator. *Neft. Gas. Novacii*, 10(153), pp. 26-27. (In Russian).
20. Karanevskaya, T. N., & Popova, A. V. (2016). Avtomatizirovannyi vybor tekhnologicheskikh sistem sbora i promyslovoy podgotovki nefi na osnove modul'nogo podkhoda k ikh predstavleniyu. *Neft. Gas. Novacii*, (5), pp. 20-23. (In Russian).
21. Ivanov, V. A. & Sokolov, S. M. (2017). Solutions for the system reliability of field facilities of West Siberian oil fields. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 73-77. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-73-77
22. Zibert, A. G., Zibert, G. K., & Minigulov, R. M. (2010). Sovershenstvovanie separatsionnogo oborudovaniya na osnove ucheta fazovogo sostoyaniya gazozhidkostnoy smesi. *GAS Industry of Russia*, (4(645)), pp. 49-52. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

**Хабибуллин Марат Яхиевич**, к. т. н., доцент кафедры нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, e-mail: m-hab@mail.ru

**Гилаев Гани Гайсинович**, д. т. н., профессор кафедры нефтегазового дела, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар

**Сулейманов Рустэм Исхакович**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский

#### **Information about the authors**

**Marat Ya. Khabibullin**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: m-hab@mail.ru

**Gani G. Gilaev**, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Oil and Gas Business, Kuban State Technological University, Krasnodar

**Rustem I. Suleymanov**, Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University