МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА СТАНКОВ-КАЧАЛОК

METHODOLOGY OF PUMPING UNIT TRANSFORMING MECHANISM DESIGNING

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

А. Г. Гилаев
Artem G. Gilaev

ООО «Башнефть-Добыча»,
г. Октябрьский, Российская
Федерация

Bashneft-Dobycha LLC,
Oktyabrskiy, Russian Federation

Преобразующий механизм станков-качалок представляет собой шарнирный четырёхзвенный механизм, выполненный по симметричной и несимметричной кинематическим схемам. При симметричной схеме центр вращения кривошипа находится на прямой, проходящей через точки, соответствующие крайним положениям сочленения шатуна и балансира. Все остальные случаи соответствуют несимметричной схеме. В настоящее время, в соответствии с имеющейся методикой проектирования преобразующего механизма симметричной схемы, в качестве исходных данных используют отношения радиуса кривошипа к длине соответственно заднего плеча балансира и шатуна. При проектировании механизма несимметричной схемы, кроме перечисленных выше параметров, задают еще угол дезаксиала — угол, образуемый положениями шатуна, соответствующими началу и концу ходов вверх головки балансира. Более предпочтительной и практичной считается методика, позволяющая проектировать механизм по заранее заданным выходным параметрам. При этом рекомендуется использовать параметры, непосредственно определяющие как тип кинематической схемы преобразующего механизма, так и его габаритные размеры. Следует отметить, что не все теоретически реальные механизмы могут быть практически осуществимы. Поэтому реальная область углов несколько уже теоретически реальной области и должна определяться с учётом конструктивных особенностей механизма (например, в крайне близком к корпусу положении траверса не должна задевать корпус редуктора, высота механизма должна быть такой, чтобы в нижнем положении подвеска устьевого штока не задевала устьевой сальник, и др.). Для удобства пользования предлагаемой методикой целесообразно искомые величины представить в приведённом виде (в долях длины хода). По полученным формулам с использованием данных каталогов разных фирм вычислены приведённые значения кинематических параметров преобразующих механизмов различных кинематических схем. В результате получено, что габаритные размеры преобразующего механизма отечественных станков-качалок симметричной схемы (длина на 45–60 %, а высота — 25–30 %) меньше, чем у зарубежных станков-качалок несимметричной схемы. Разработанная методика позволяет сопоставить технико-эксплуатационные показатели станков-качалок, выполненных по различным кинематическим схемам. Сопоставление полученных данных, и приведенных к абсолютной длине звеньев, с фактическими данными станков-качалок показывает их полное соответствие, что подтверждает правильность разработанной методики.

Ключевые слова

станок-качалка; четырёхзвенный
механизм; симметричная
кинематическая схема;
несимметричная кинематическая
схема; угол; размах

The converting mechanism of pumping units is a hinged four-link mechanism, made according to symmetrical and asymmetrical kinematic schemes. With a symmetrical scheme, the center of rotation of the crank is on a straight line passing through the points corresponding to the extreme positions of the articulation of the connecting rod and the balance bar. All other cases correspond to an asymmetric scheme. At present, in accordance with the existing design technique of the symmetrical circuit converting mechanism, the ratios of the crank radius to the length of the rear arm of the balancer and the connecting rod, respectively, are used as the initial data. When designing a mechanism of an asymmetric scheme, in addition to the above parameters, the deaxial angle — the angle formed by the positions of the connecting rod corresponding to the beginning and end of the upward strokes of the balancer head — is also set. A more preferable and practical method is considered to be a technique that allows to design a mechanism according to predetermined output parameters. In this case, it is recommended to use parameters that directly determine both the type of the kinematic diagram of the converting mechanism and its overall dimensions. It should be noted that not all theoretically real mechanisms can be practically feasible. Therefore, the real area of angles is somewhat already theoretically real and should be determined taking into account the design features of the mechanism (for example, in the position extremely close to the body, the traverse should not touch the gearbox housing, the height of the mechanism should be such that in the lower position the suspension of the wellhead rod does not touch the wellhead seal, and etc.). For the convenience of using the proposed technique, it is advisable to present the sought values in the given form (in fractions of the stroke length). According to the formulas obtained, using data from catalogs of different companies, the reduced values of the kinematic parameters of the converting mechanisms of various kinematic schemes are calculated.

As a result, it was found that the overall dimensions of the converting mechanism of domestic pumping units of a symmetrical scheme (length by 45–60 %, and height by 25–30 %) are smaller than those of foreign pumping units of an asymmetric scheme. The developed technique makes it possible to compare the technical and operational indicators of pumping units made according to various kinematic schemes. Comparison of the obtained data, and reduced to the absolute length of the links, with the actual data of the pumping units shows their full compliance, which confirms the correctness of the developed methodology.

Преобразующий механизм станков-качалок представляет собой шарнирный четырехзвенный механизм, выполненный по симметричной и несимметричной кинематическим схемам (рисунок 1) [1–3]. При симметричной схеме центр вращения кривошипа находится на прямой, проходящей через точки, соответствующие крайним положениям сочленения шатуна и балансира. Все остальные случаи соответствуют несимметричной схеме.

В настоящее время, в соответствии с имеющейся методикой проектирования преобразующего механизма симметричной схемы, в качестве исходных данных используют кинематические соотношения $\frac{r}{K}$ и $\frac{r}{l}$ — отношения радиуса кривошипа к длине соответственно заднего плеча балансира и шатуна [4–6]. При проектировании механизма несимметричной схемы, кроме перечисленных выше параметров, задают еще угол дезаксиала — угол, об-

разуемый положениями шатуна, соответствующими началу и концу ходов вверх головки балансира.

Более предпочтительной и практичной считается методика, позволяющая проектировать механизм по заранее заданным выходным параметрам. При этом рекомендуется использовать параметры, непосредственно определяющие как тип кинематической схемы преобразующего механизма, так и его габаритные размеры: угол размаха балансира δ_0 и угол дезаксиала θ [7–10]. На рисунке 2 представлен преобразующий механизм станка-качалки. Через точки B_1 и B_2 проведена окружность с центром в точке O_1 произвольным радиусом R . Любая точка этой окружности может рассматриваться как точка вращения кривошипа станка-качалки. Соединяя точку C прямыми с точками B_1 и B_2 , получаем $B_1C = l + r$ и $B_2C = l - r$, а угол между этими

Keywords

pumping unit; four-link mechanism;
symmetrical kinematic diagram;
asymmetrical kinematic diagram;
angle; span

1 — электродвигатель; 2 — передача клиноременная; 3 — редуктор; 4 — кривошип; 5 — грузы уравновешивающие; 6 — шатуны; 7 — траверса; 8 — груз уравновешивающий; 9 — баланси́р; 10 — головка баланси́ра; 11 — подвеска канатная; 12 — шток полированный; 13 — арматура устьевая; 14 — фундамент; 15 — рама; 16 — стойка

Рисунок 1. Станок-качалка баланси́рный (с комбинированным уравновешиванием)

прямыми ($\angle B_1CB_2 = \theta$) является углом дезаксиала станка-качалки.

Таким образом, соединяя любую точку окружности радиусом R с точками B_1 и B_2 , можно получить преобразующий механизм, имеющий одинаковую степень неравномерности хода и угол размаха баланси́ра, но различные абсолютные длины шатуна и кривошипа и габаритные размеры. Действительно, как видно из рисунка 1:

$$(\angle B_1CB_2 = \angle B_1DB_2 = \frac{1}{2}\angle B_1B_2 = \theta). \quad (1)$$

Следовательно, центр вращения кривошипа станков-качалок, имеющих одинаковую степень неравномерности хода (т.е. угол θ) и угол δ_0 , перемещается по окружности, проходящей через точки B_1 и B_2 , соответствующие крайним положениям соединения шатуна с баланси́ром.

Назовем эту окружность окружностью равных дезаксиалов. Центр этой окружности находится на биссектрисе угла размаха баланси́ра: для станков-качалок с положительным

Рисунок 2. Расчётная схема преобразующего механизма станка-качалки

дезаксиалом — с противоположной стороны по отношению линии B_1B_2 от опоры баланси́ра, для станков с отрицательным дезаксиалом — со стороны опоры баланси́ра.

Параметры окружности равных дезаксиалов также определяются принятыми исходными данными [11–14]. Поскольку $\angle B_1O_1B_2$ является центральным углом этой окружности, с учетом равенства (1) имеем

$$\angle B_1O_1B_2 = 2\theta. \quad (2)$$

Радиус окружности равных дезаксиалов можно найти из треугольников OB_1B_2 и $O_1B_1B_2$ по следующей формуле:

$$R = K \frac{\sin \frac{\delta_0}{2}}{\sin \theta}, \quad (3)$$

тогда координаты центра окружности

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= K \cos \frac{\delta_0}{2} + R \cos \theta = K \frac{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}{\sin \theta}; \\ \phi_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Координаты центра вращения кривошипов станков-качалок с одинаковым углом дезаксиала можно выразить в параметрической форме:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= x_0 - R \cos(\theta + \psi); \\ y_c &= R \sin(\theta + \psi) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где ψ — угол между подвижным радиусом R (в направлении против часовой стрелки) и его исходным положением O_1B_1 .

Расстояние между центром вращения кривошипа и опорой баланси́ра по горизонтали назовем длиной, а по вертикали — высотой преобразующего механизма. При этом, как

видно из рисунка 1, абсцисса и ордината центра вращения (5) представляют собой соответственно длину и высоту механизма. Из равнобедренных треугольников B_1O_1C и B_2O_1C получим:

$$\left. \begin{aligned} l &= 2R \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta+\psi}{2}; \\ r &= 2R \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta+\psi}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Из уравнений (3) и (6) получим выражения для определения кинематических соотношений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{r}{K} &= \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \cos \frac{\theta+\psi}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}}; \\ \frac{r}{l} &= \frac{tg \frac{\theta}{2}}{tg \frac{\theta+\psi}{2}}; \\ \frac{r}{P} &= \frac{\frac{r}{K}}{\frac{P}{K}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Полюсное расстояние (расстояние между центром вращения кривошипа и опоры балансира) можно определить из треугольника OO_1C :

$$\frac{P}{K} = \frac{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}{\sin \theta} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \frac{\delta_0}{2}}{\sin^2(\theta + \frac{\delta_0}{2})} - 2 \sin \frac{\delta_0}{2} \frac{\cos(\theta + \psi)}{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}}. \quad (8)$$

Зная значения кинематических соотношений (7), по известным формулам [1] можно вычислить все необходимые углы между звеньями преобразующего механизма, а также перемещение, скорость движения и ускорение точки подвеса штанг станка-качалки.

Как видно из выражений (6)–(8), длины звеньев и их соотношения зависят не только от исходных данных, но и от параметра ψ . Для получения реальных механизмов нужно определить граничные значения параметра ψ в зависимости от принятых исходных данных.

Граничное значение параметра ψ легко находится из условия существования механизма [15]:

$$\left. \begin{aligned} P &< K + (l - r); \\ \frac{P}{K} &< 1 + \frac{1-r}{l} \frac{r}{K}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

С учётом системы уравнений (7) имеем

$$\frac{P}{K} < 1 + \frac{2 \sin \frac{\delta_0}{2} \sin \frac{\psi}{2}}{\sin \theta}. \quad (10)$$

Тогда из соотношений (8) и (10) получим условие существования механизма в виде неравенства:

$$\begin{aligned} 1 + \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \sin \frac{\psi}{2}}{\sin \theta} &> \frac{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}{\sin \theta} \times \\ &\times \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \frac{\delta_0}{2}}{\sin^2(\theta + \frac{\delta_0}{2})} - 2 \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \cos(\theta + \psi)}{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}}, \end{aligned} \quad (11)$$

решение которого позволяет определить область углов ψ , обусловленную условием пово-

рачиваемости (существования) механизма, в следующем виде:

$$0 < \psi < 180^\circ - (2\theta + \delta_0). \quad (12)$$

Это соотношение может быть получено из треугольника O_1DB_2 (рисунок 2), так как $\angle O_1 B_2 D = \angle O_1 D B_2 = \theta + \delta/2$. Следовательно, центр вращения кривошипа теоретически реальных механизмов находится на дуге $\overset{\frown}{B_2CO}$ окружности равных дезаксиалов.

Следует отметить, что не все теоретически реальные механизмы могут быть практически осуществимы [16–19]. Поэтому реальная область углов ψ несколько уже теоретически реальной области (3) и должна определяться с учётом конструктивных особенностей механизма (например, в крайне близком к корпусу положении траверса не должна задевать корпус редуктора, высота механизма должна быть такой, чтобы в нижнем положении подвеска устьевого штока не задевала устьевой сальник, и др.) [20–22].

С учётом этого можно рекомендовать следующую область углов ψ , полученную из соотношения (8):

$$\arctg \left[\frac{tg \frac{\theta}{2}}{(\frac{r}{l})_{max}} \right] < \frac{\psi + \theta}{2} < \arctg \left[\frac{tg \frac{\theta}{2}}{(\frac{r}{l})_{min}} \right]. \quad (13)$$

Предельные значения ψ обусловлены максимальным и минимальным значениями кинематического соотношения r/l . С учётом конструктивных особенностей кинематических и динамических характеристик, а также исходя из многолетнего опыта проектирования и эксплуатации станков-качалок, рекомендуется использовать

$$\left(\frac{r}{l} \right)_{max} \text{ и } \left(\frac{r}{l} \right)_{min}. \quad (14)$$

Таким образом, реальная область значений параметра определяется при принятых конструктивных ограничениях только углом дезаксиала:

$$\arctg \left(2,5 tg \frac{\theta}{2} \right) < \frac{\theta + \psi}{2} < \arctg \left(5 tg \frac{\theta}{2} \right). \quad (15)$$

Анализ показывает, что граничные линии области углов (рисунок 3) могут быть аппроксимированы простой и удобной линейной зависимостью

$$1,5 < \frac{\psi}{\theta} < 3,75, \quad (16)$$

из которой вытекает соотношение $\psi_{min_{max}}$.

Задаваясь различными значениями ψ в указанных пределах (15), по формулам (7), (8) можно вычислить соответствующие значения кинематических параметров преобразующего

Рисунок 3. Зависимость угла ψ от угла дезаксиала θ станка-качалки

Таблица 1. Кинематические параметры различных кинематических схем преобразующих механизмов станков-качалок

Кинематические показатели	Симметричная схема	Несимметричная схема*
δ_{cp}	57,3	45/50
θ_{cp}	0,00	2,5/11
ψ_{cp}	0,00	5,46/23,56
r/K	0,4794	0,38/0,405
r/l	0,4	0,31/0,31
K	1,0	1,273/1,146
r_0	0,4794	0,486/0,486
L_0	1,1985	1,55/1,50
H_0	1,1985	1,546/1,44
L_0	0,8776	1,273/1,44

Примечание: * — в числителе — данные фирмы Люфкин, в знаменателе — фирмы Бетлехем (США).

механизма станков-качалок, имеющих одинаковые углы балансира и степень неравномерности хода, но отличающихся длиной звеньев, габаритными размерами и массой, и затем, сравнивая кинематические и динамические характеристики, выбрать наиболее компактный механизм.

Для удобства пользования предлагаемой методикой целесообразно искомые величины представить в приведённом виде (в долях длины хода) [23–26]. Тогда заднее плечо балансира K , радиус кривошипа r_0 , длину шатуна l_0 , полюсное расстояние P_0 , длину L_0 и высоту H_0 преобразующего механизма можно определить по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{1}{\delta_0}; \\ r_0 &= \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \cos \frac{\theta + \psi}{2}}{\delta_0 \cos \frac{\theta}{2}}; \\ l_0 &= \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \sin \frac{\theta + \psi}{2}}{\delta_0 \sin \frac{\theta}{2}}; \\ P_0 &= \frac{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}{\delta_0 \sin \theta} \sqrt{1 + \frac{\sin^2 \frac{\delta_0}{2}}{\sin^2(\theta + \frac{\delta_0}{2})} - 2 \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \cos(\theta + \psi)}{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2})}}; \\ L_0 &= \frac{\sin(\theta + \frac{\delta_0}{2}) - \sin \frac{\delta_0}{2} \cos(\theta + \psi)}{\delta_0 \sin \theta}; \\ H_0 &= \frac{\sin \frac{\delta_0}{2} \sin(\theta + \psi)}{\delta_0 \sin \theta}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Для получения абсолютной длины звеньев для любой длины хода станка-качалки данные, полученные по формулам (17), следует

умножать на $\frac{S_0}{K_1/K}$ (здесь S_0 — длина хода точки подвеса штанг, м; K_1 — переднее плечо балансира).

По полученным формулам с использованием данных каталогов разных фирм вычислены приведённые значения кинематических параметров преобразующих механизмов различных кинематических схем (таблица 1).

Выводы

Получено, габаритные размеры преобразующего механизма отечественных станков-качалок симметричной схемы (длина на

45–60 %, а высота – 25–30 %) меньше, чем у зарубежных станков-качалок несимметричной схемы. Разработанная методика с учётом формул (17) позволяет сопоставить технико-эксплуатационные показатели станков-качалок, выполненных по различным кинематическим схемам. Сопоставление полученных данных, умноженных на $\frac{S_0}{K_1/K}$, с фактическими данными станков-качалок показывает их полное соответствие, что подтверждает правильность разработанной методики.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Караев И.К. Методика проектирования преобразующего механизма станков-качалок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1986. № 6. С. 3–6.
2. Коннов Ю.Д., Сидоркин Д.И., Хабибуллин М.Я. Механизация технологического процесса спуско-подъемных операций при текущем и капитальном ремонте скважин // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2018. № 2. С. 15–24. DOI: 10.5510/OGP20180200346.
3. Гилаев Г.Г., Хисметов Т.В., Бернштейн А.М., Заверотный В.Л., Заверотный А.В. Применение термостойких жидкостей глушения на основе нефтяных эмульсий // Нефтяное хозяйство. 2009. № 8. С. 64–67.
4. Близнюков В.Ю., Гилаев А.Г., Исламов Р.Ф., Моллаев З.Х. Методы предупреждения и ликвидации пескопроявления в добывающих скважинах // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2010. № 9. С. 15–21.
5. Архипов К.И., Попов В.И., Попов И.В. Справочник по станкам-качалкам. Альметьевск: ТатАСУнефть, 2000. 146 с.
6. 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.
7. Антониади Д.Г., Гилаев Г.Г., Джалалов К.Э. Проблемы разработки залежи высоковязкой нефти Северо-комсомольского месторождения // Интервал. Передовые нефтегазовые технологии. 2003. № 4. С. 38–41.
8. Близнюков В.Ю., Гилаев А.Г., Гилаев Г.Г., Еганьянц Р.Т. Обоснование условий расчета и выбора прочностных характеристик эксплуатационных колонн сладковско-морозовской группы месторождений // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2010. № 2. С. 31–38.
9. Молчанов А.Г. Станки-качалки: проблемы и перспективы совершенствования // Промышленные ведомости. Москва. 2007. № 10. С. 45–60.
10. Suleimanov R.I., Gabdrakhimov M.S., Khabibullin M.Y., Zaripova L.M., Vasilyeva E.R. The Study of Hydraulic Hammer Device in Drilling Tool Assembly in Hydraulic Rotary Drilling // International Journal of Engineering and Technology. 2018. Vol. 7. No. 2. P. 28–30. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.11877.
11. Антониади Д.Г., Гилаев Г.Г., Гарушев А.Р., Ишханов В.Г. Толковый словарь по термическим методам воздействия на нефтяные пласты. Краснодар: Советская Кубань, 2002. 590 с.
12. Близнюков В.Ю., Гилаев А.Г., Исламов Р.Ф., Моллаев З.Х. О механизме пескопроявления при разработке слабосцементированных песчаных пластов с АВПД // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2010. № 11. С. 16–20.
13. Молчанов А.Г. К вопросу о металлоемкости штанговых глубиннонасосных установок // Нефтяное хозяйство. 1972. № 11. С. 53–55.
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. Гилаев Г.Г. Повышение эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов на сложнопостроенных нефтегазовых месторождениях. Краснодар: Советская Кубань, 2003. 297 с.
16. Близнюков В.Ю., Гилаев А.Г., Моллаев З.Х., Исламов Р.Ф., Еганьянц Р.Т. Влияние физико-механических свойств пласта и падения пластового давления на пескопроявление // Инженер-нефтяник. 2010. № 3. С. 5–9.
17. Suleimanov R.I., Zainagalina L.Z., Khabibullin M.Y., Zaripova L.M., Kovalev N.O. Studying Heat-Affected Zone Deformations of Electric Arc Welding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Issue 3. P. 032053. DOI: 10.1088/1757-899X/327/3/032053.
18. Близнюков В.Ю., Гилаев А.Г., Гилаев Г.Г., Моллаев З.Х., Повалихин А.С., Еганьянц Р.Т. Вопросы эксплуатации пескопроявляющих пластов. Влияние пластового давления на вынос песка из коллектора при эксплуатации добывающих скважин // Инженер-нефтяник. 2010. № 1. С. 11–22.
19. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 816 с.
20. Гилаев Ген.Г., Хабибуллин М.Я., Гилаев Г.Г. Перспективы применения кислотного геля для закачки проппанта в процессе проведения гидроразрыва карбонатных пластов на территории Самарской области // Нефтяное хозяйство. 2020. № 8. С. 54–57. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-54-57.

21. Гилаев Г.Г., Манасян А.Э., Федорченко Г.Д., Колесников В.А., Кологреев И.А. Нефтяные залежи в карбонатных отложениях фаменского яруса Самарской области: история открытия и перспективы поиска // Нефтяное хозяйство. 2013. № 10. С. 38–40.

22. Хабибуллин М.Я. Увеличение эффективности разделения жидких систем при сборе пластовой жидкости // Нефтегазовое дело. 2020. Т. 18. № 2. С. 64–71. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-64-71.

23. Гилаев А.Г. Исследование влияния выноса мелких частиц продуктивного пласта на изменение нефтеотдачи низкопроницаемых коллекторов: дис. ... канд. техн. наук. М.: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2012. 242 с.

24. 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.

25. Гилаев Г.Г. Развитие теории и практики добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов на сложно-построенных месторождениях: дис. ... д-ра. техн. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. 64 с.

26. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти. М.: Альянс, 2005. 510 с.

REFERENCES

1. Karaev I.K. Metodika proektirovaniya preobrazuyushchego mekhanizma stankov-kachalok [Technique for Designing the Converting Mechanism of Pumping Units]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie — Chemical and Petroleum Engineering*, 1986, No. 6, pp. 3–6. [in Russian].

2. Konnov Yu.D., Sidorkin D.I., Khabibullin M.Ya. Mekhanizatsiya tekhnologicheskogo protsessa spusko-pod'emnykh operatsii pri tekushchem i kapital'nom remonte skvazhin [Mechanization of Technological Process of Round-Trip Operations in Well Servicing and Workover]. *Nauchnye trudy NIPi Neftegaz GNKAR — SOCAR Proceedings*, 2018, No. 2, pp. 15–24. DOI: 10.5510/OGP20180200346. [in Russian].

3. Gilaev G.G., Khismetov T.V., Bernshtein A.M., Zavorotnyi V.L., Zavorotnyi A.V. Primenenie termostoikikh zhidkostei glusheniya na osnove neftyanykh emul'sii [Application of Heat-Resistant Killing Fluids on the Basis of Oil Emulsions]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2009, No. 8, pp. 64–67. [in Russian].

4. Bliznyukov V.Yu., Gilaev A.G., Islamov R.F., Mollaev Z.Kh. Metody preduprezhdeniya i likvidatsii peskoproyavleniya v dobyvayushchikh skvazhinakh [Methods of Prevention and Liquidation of Appearance Sand in Production Wells]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more — Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*, 2010, No. 9, pp. 15–21. [in Russian].

5. Arkhipov K.I., Popov V.I., Popov I.V. *Spravochnik po stankam-kachalkam* [Pumping Unit Handbook]. Almet'yevsk, TatASUneft' Publ., 2000. 146 p. [in Russian].

6. 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].

7. Antoniadis D.G., Gilaev G.G., Dzhahalov K.E. Problemy razrabotki zalezhi vysokovyazkoi nefiti Severo-komsomol'skogo mestorozhdeniya [Development Problems of High-Viscosity Oil Deposits of the Severo-Komsomolskoye Field]. *Interval. Peredovye neftegazovye tekhnologii — Interval. Advanced Oil and Gas Technologies*, 2003, No. 4, pp. 38–41. [in Russian].

8. Bliznyukov V.Yu., Gilaev A.G., Gilaev G.G., Egan'yants R.T. Obosnovanie uslovii rascheta i vybora prochnostnykh kharakteristik ekspluatatsionnykh kolonn sladkovsko-morozovskoi gruppy mestorozhdenii [Base Condition on Estimation Options of Strength Characteristics a Production Stingsins Sladkovskoy-Morozovskaya Group of Fields]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more — Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*, 2010, No. 2, pp. 31–38. [in Russian].

9. Molchanov A.G. Stanki-kachalki: problemy i perspektivy sovershenstvovaniya [Pumping Units: Problems and Prospects for Improvement]. *Promyshlennye vedomosti. Moskva — Industrial Statements. Moscow*, 2007, No. 10, pp. 45–60.

10. Suleimanov R.I., Gabdrakhimov M.S., Khabibullin M.Y., Zaripova L.M., Vasilyeva E.R. The Study of Hydraulic Hammer Device in Drilling Tool Assembly in Hydraulic Rotary Drilling. *International Journal of Engineering and Technology*, 2018, Vol. 7, No. 2, pp. 28–30. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.11877.

11. Antoniadis D.G., Gilaev G.G., Garushev A.R., Ishkhanov V.G. *Tolkovyi slovar' po termicheskim metodam vozdeystviya na neftyanye plasty* [Explanatory Dictionary of Thermal Methods of Impact on Oil Reservoirs]. Krasnodar, Sovetskaya Kuban' Publ., 2002. 590 p. [in Russian].

12. Bliznyukov V.Yu., Gilaev A.G., Islamov R.F., Mollaev Z.Kh. O mekhanizme peskoproyavleniya pri razrabotke slabostsementirovannykh peschanykh plastov s AVPD [Some Aspects of Sand Appearance During Development of Weakly-Cemented Sand Formations with Abnormally High Formation Pressure]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more — Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*, 2010, No. 11, pp. 16–20. [in Russian].

13. Molchanov A.G. K voprosu o metalloemkosti shtangovykh glubinnonasosnykh ustanovok [On the Issue of Metal Consumption of Sucker Rod Pumping Units]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 1972, No. 11, pp. 53–55. [in Russian].

14. Khabibullin M.Ya., Suleimanov R.I. Povyshenie nadezhnosti svarnykh soedinenii truboprovodov v sisteme podderzhaniya plastovogo davleniya [Increasing the Reliability of Welded Pipeline Connections in Reservoir Pressure Maintenance System]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2019, Vol. 17, No. 5, pp. 93–98. DOI: 10.17122/ngdelo-2019-5-93-98. [in Russian].

15. Gilaev G.G. Povyshenie effektivnosti vyrabotki trudnoizvlekaemykh zapasov na slozhnopostroennykh neftegazovykh mestorozhdeniyakh [Improving the Efficiency of Developing Hard-to-Recover Reserves in Complex Oil and Gas Fields]. Krasnodar, Sovetskaya Kuban' Publ., 2003. 297 p. [in Russian].

16. Bliznyukov V.Yu., Gilaev A.G., Mollaev Z.Kh., Islamov R.F., Egan'yants R.T. Vliyanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv plasta i padeniya plastovogo davleniya na peskoproyavlenie [Influence of Physical and Mechanical Properties of the Reservoir and the Drop in

Reservoir Pressure on Sand Production]. *Inzhener-neftyanik — Petroleum Engineer*, 2010, No. 3, pp. 5–9. [in Russian].

17. Suleimanov R.I., Zainagalina L.Z., Khabibullin M.Y., Zaripova L.M., Kovalev N.O. Studying Heat-Affected Zone Deformations of Electric Arc Welding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, Vol. 327, Issue 3, pp. 032053. DOI: 10.1088/1757-899X/327/3/032053.

18. Bliznyukov V.Yu., Gilaev A.G., Gilaev G.G., Mollaev Z.Kh., Povalikhin A.S., Eganyants R.T. Voprosy ekspluatatsii peskoproyavlyayushchikh plastov. Vliyanie plastovogo davleniya na vynos peska iz kollektora pri ekspluatatsii dobyvayushchikh skvazhin [Issues of Exploitation of Sand-Bearing Formations. The Effect of Reservoir Pressure on Sand Removal from the Reservoir During the Operation of Production Wells]. *Inzhener-neftyanik — Petroleum Engineer*, 2010, No. 1, pp. 11–22. [in Russian].

19. Mishchenko I.T. *Skvazhinnaya dobycha nefi* [Oil Production from Wells]. Moscow, RGU nefi i gaza im. I.M. Gubkina Publ., 2003. 816 p. [in Russian].

20. Gilaev Gen.G., Khabibullin M.Ya., Gilaev G.G. Perspektivy primeneniya kislotnogo gelya dlya zakachki proppanta v protsesse provedeniya gidrorazryva karbonatnykh plastov na territorii Samarskoi oblasti [Prospects for the Use of Acid Gel for Proppant Fracturing of Carbonate Reservoirs in the Samara Region]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2020, No. 8, pp. 54–57. DOI: 10.24887/0028-2448-2020-8-54-57. [in Russian].

21. Gilaev G.G., Manasyan A.E., Fedorchenko G.D., Kolesnikov V.A., Kologreev I.A. Neftyanые zalezhi v karbonatnykh otlozheniyakh famenskogo yarusa Samarskoi oblasti: istoriya otkrytiya i perspektivy poiska [Oil-Bearing

Reservoirs in Carbonate Reefs of Famennian Stage on the Territory of Samara Region: Discovery History and Exploration Prospects]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2013, No. 10, pp. 38–40. [in Russian].

22. Khabibullin M.Ya. Uvelichenie effektivnosti razdeleniya zhidkikh sistem pri sbore plastovoi zhidkosti [Increasing Efficiency of Liquid Systems Separation for Formation Fluid Gathering]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2020, Vol. 18, No. 2, pp. 64–71. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-64-71. [in Russian].

23. Gilaev A.G. *Issledovanie vliyaniya vynosa melkikh chastits produktivnogo plasta na izmenenie nefteotdachi nizkopronitsaemykh kollektorov: dis. kand. tekhn. nauk* [Investigation of the Effect of the Removal of Small Particles of the Productive Formation on the Change in Oil Recovery of Low-Permeability Reservoirs: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Moscow, Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN Publ., 2012. 242 p. [in Russian].

24. 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.

25. Gilaev G.G. *Razvitie teorii i praktiki dobychi trudnoizvlekaemykh zasobov uglevodorodov na slozhnopostroennykh mestorozhdeniyakh: dis. d-ra tekhn. nauk* [Development of the Theory and Practice of Production of Hard-to-Recover Hydrocarbon Reserves in Complex Fields: Doct. Engin. Sci. Diss.]. Tyumen, TyumGNGU Publ., 2004. 64 p. [in Russian].

26. Shchurov V.I. *Tekhnologiya i tekhnika dobychi nefi* [Oil Production Technology and Techniques]. Moscow, Al'yans Publ., 2005. 510 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

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

Marat Ya. Khabibullin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Field Machines and Equipment Department, Branch, USPTU, Otkryabsky, 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

Гилаев Артем Ганиевич, начальник Туимазинского региона добычи нефти и газа, управление добычи нефти и газа, ООО «Башнефть-Добыча», г. Октябрьский, Российская Федерация

Artem G. Gilaev, Head of the Tuimazinsky Oil and Gas Production Region, Oil and Gas Production Department, Bashneft-Dobycha LLC, Otkryabsky, Russian Federation

e-mail: GilaevAG@Bashneft.ru