

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОЛОННЫ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ПРИ РАБОТЕ ЗАБОЙНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ

**М. Я. Хабибуллин, И. Г. Арсланов, Р. И. Сулейманов**

*Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета,  
г. Октябрьский, Россия*

**Аннотация.** Для исследования неустановившегося движения жидкости в колонне насосно-компрессорных труб (НКТ) при ее закачке на первом этапе решается классическое уравнение о гидравлическом ударе. Решение проведено с помощью разделения переменных с учетом всех реальных начальных и граничных условий. Также решена задача о распределении гидравлического удара вязкой жидкости в колонне НКТ от работы импульсных устройств на забое скважины как однородной системы, у которой все процессы, происходящие при закачке жидкости, взаимосвязаны. В итоге получены выражения для определения скорости движения жидкости и значения амплитуды изменения давления жидкости в любом произвольном сечении столба жидкости внутри колонны НКТ, по которым построены графические зависимости в относительных значениях для различных диаметров труб. Полученные результаты позволяют прогнозировать надежность колонны труб при импульсной нестационарной закачке жидкости под давлением.

**Ключевые слова:** гиперболическая система; телеграфные уравнения; неустановившееся движение; частные решения; метод разделения переменных; пакер

## PREDICTING THE RELIABILITY OF A TUBING STRING DURING OPERATION A PULSED DOWNHOLE DEVICE

**M. Ya. Khabibullin, I. G. Arslanov, R. I. Suleymanov**

*Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky, Russia*

**Abstract.** To study the unsteady fluid motion in a tubing string, when it is pumped, the classical equation of hydraulic impact is solved at the first stage. The solution was carried out by separating the variables taking into account all real initial and boundary conditions. The problem of distributing the hydraulic impact of a viscous liquid in a tubing string from the operation of impulse devices at the bottom of a well as a homogeneous system in which all processes occurring during fluid injection are interrelated. As a result, expressions were obtained for determining the velocity of the fluid and the amplitude of the change in the fluid pressure in any arbitrary section of the liquid column inside the tubing string, over which graphical dependencies are plotted in relative values for different pipe diameters. The results obtained make it possible to predict the reliability of the pipe string for pulsed non-stationary injection of liquid under pressure.

**Key words:** hyperbolic system; telegraph equations; unsteady motion; partial solutions; method of separation of variables; packer

При работе импульсных устройств на забое скважины возникают кратковременные перекрытия проходного отверстия для прохода жидкости, вследствие чего в столбе закачиваемой жидкости создаются гидравлические удары, параметры которых в зависимости от разности упругостей жидкости и колонны насосно-компрессорных труб (НКТ) передаются последней [1–9]. В связи с этим возникает необходимость определить аналитические зависимости, характеризующие значе-

ния давления и скорости движения жидкости в любом произвольном сечении столба жидкости внутри колонны НКТ [10–12].

Для исследования неустановившегося движения жидкости в колонне НКТ необходимо решить классическое уравнение о гидравлическом ударе [13–15]

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \rho \left( \frac{\partial \omega}{\partial t} + 2a\omega \right), \quad (1)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial t} = c^2 \rho \frac{\partial \omega}{\partial x},$$

где  $P$  — среднее давление в сечении;  $\rho$  — плотность жидкости;  $\omega$  — средняя в сечении скорость движения жидкости;  $a$  — коэффициент, зависящий от формы сечения и толщины стенок трубы;  $x$  — расстояние от начального до рассматриваемого сечения по смоченному периметру;  $t$  — время;  $c$  — скорость звука в жидкости.

Линеаризованные уравнения неустановившегося движения жидкости (1) представляют собой линейную гиперболическую систему и являются частным случаем телеграфных уравнений. Найдем решение этих уравнений при следующих начальных условиях:

$$\omega = F_1(x), p = F_2(x) \text{ при } t \leq 0 (0 < x < l) \quad (2)$$

и граничных условиях:

$$\text{при } x = 0 \quad p = \varphi(t) \quad (3)$$

при  $x = l \quad \omega + h \frac{\partial \omega}{\partial x} = f(t)$ , где  $F_1(x)$  и  $F_2(x)$  — заданные функции скорости и давления;  $\omega(t)$  — функция давления, создаваемая импульсным устройством на забое скважины;  $h$  — постоянная, характеризующая наличие буферной камеры, м;  $f(t)$  — функция, зависящая от расхода жидкости и внутренней площади поперечного сечения колонны труб.

Решение задачи будем вести методом разделения переменных, который заключается в том, что необходимо найти частные решения системы (1), удовлетворяющие условиям (3), в виде произведений двух функций, из которых одна зависит только от оси  $X$ , а другая — только от  $t$ , то есть

$$p(x, t) = X_p(x)T_p(t), \quad \omega(x, t) = X_\omega(x)T_\omega(t). \quad (4)$$

Решение поставленной задачи возможно только в том случае, когда граничные условия однородны, то есть имеют вид

$$\text{при } x = 0 \quad p = 0, \quad (5)$$

$$\text{при } x = l \quad \omega + h \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0.$$

В результате получим искомые частные решения

$$p_k(x, t) = X_{pk} \cdot T_{pk} = -e^{-at} \left( B_{1k} e^{ib_k t} + B_{2k} e^{-ib_k t} \right) \sin \mu_k x, \quad (6)$$

$$\omega_k(x, t) = X_{\omega k} \cdot T_{\omega k} = \frac{e^{-at}}{\rho c^2 \mu_k} \left[ (a - ib_k) B_{1k} e^{ib_k t} + (a + ib_k) B_{2k} e^{-ib_k t} \right] \cos \mu_k x. \quad (7)$$

Решение, удовлетворяющее заданным начальным условиям (2), будем искать в виде

$$p(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} p_k(x, t), \quad \omega(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \omega_k(x, t). \quad (8)$$

Подставим выражения (8) в начальные условия (2), получим с учетом формул (5) и (6)

$$F_1(x) = \frac{1}{\rho c^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(a - ib_k) B_{1k} + (a + ib_k) B_{2k}}{\mu_k} \cos \mu_k x, \quad (9)$$

$$F_2(x) = - \sum_{k=1}^{\infty} (B_{1k} + B_{2k}) \sin \mu_k x, \quad (10)$$

откуда видно, что задача о нахождении коэффициентов  $B_{1k}$ ,  $B_{2k}$  сводится к разложению начальных условий в ряды по собственным функциям, и окончательно получаем

$$(a - ib_k) B_{1k} + (a + ib_k) B_{2k} = 2\rho c^2 \frac{\mu_k (1 + h^2 \mu_k^2)}{h + l(1 + h^2 \mu_k^2)} \int_0^l F_1(x) \cos \mu_k x dx, \quad (11)$$

$$B_{1k} + B_{2k} = -2 \frac{1 + h^2 \mu_k^2}{h - l(1 + h^2 \mu_k^2)} \int_0^l F_2(x) \sin \mu_k x dx. \quad (12)$$

Определив коэффициенты  $B_{1k}$  и  $B_{2k}$  из формул (11), (12) и подставив их в выражения (6), (7), получим искомое решение задачи.

Рассмотрим задачу о распределении гидравлического удара вязкой жидкости в колонне НКТ от работы импульсных устройств на забое скважины. Для данного случая  $h = 0$ , а начальные и граничные условия можно представить

$$\omega = F_1(x) = 0, \quad p = F_2(x) = 0 \quad \text{при } t \leq 0 \quad (0 < x < l), \quad (13)$$

$$\text{при } x = 0 \quad p = 0 \quad (14)$$

$$\text{при } x = l \quad \omega = A = \text{const.}$$

Для того чтобы сделать граничные условия (14) однородными, введем новую функцию  $v(x, t)$ , определяемую как

$$\omega(x, t) = \frac{Ax}{l} + v(x, t). \quad (15)$$

Подставив выражение (15), начальные (13) и граничные (14) условия в систему уравнений (1), получим, что функция  $v(x, t)$  должна удовлетворять системе уравнений

$$-\frac{\partial p}{\partial t} = \rho c^2 \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{A}{l} \right), \quad (16)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + 2av \right) + 2a\rho \frac{Ax}{l}, \quad (17)$$

и начальным и граничным условиям

$$v = -\frac{Ax}{l}, \quad p = 0 \quad \text{при } t \leq 0 \quad (0 < x < l), \quad (18)$$

$$p = 0 \quad \text{при } x = 0, \quad v = 0 \quad \text{при } x = l.$$

Так как система уравнений, содержащая функцию  $v(x, t)$ , получилась неоднородной, будем искать решение в виде

$$p(x, t) = p_1(x, t) + p_2(x, t), \quad (19)$$

$$v(x, t) = v_1(x, t) + v_2(x, t). \quad (20)$$

И необходимо, чтобы функции  $p_1, p_2, v_1, v_2$  удовлетворяли следующим условиям:

$$-\frac{\partial p_1}{\partial t} = \rho c^2 \frac{\partial v_1}{\partial x}, \quad (21)$$

$$-\frac{\partial p_1}{\partial x} = \rho \left( \frac{\partial v_1}{\partial t} + 2av_1 \right), \quad (22)$$

$$p_1 = 0, \quad v_1 = -\frac{Ax}{l}, \quad \text{при } t \leq 0 \quad (0 < x < l), \quad (23)$$

$$p_1 = 0 \quad \text{при } x = 0, \quad (24)$$

$$v_1 = 0 \quad \text{при } x = l.$$

$$-\frac{\partial p_2}{\partial t} = \rho c^2 \left( \frac{\partial v_2}{\partial x} + \frac{A}{l} \right), \quad (25)$$

$$-\frac{\partial p_2}{\partial x} = \rho \left( \frac{\partial v_2}{\partial t} + 2av_2 \right) + 2a\rho \frac{Ax}{l}, \quad (26)$$

$$p_2 = 0, \quad v_2 = 0, \quad \text{при } t \leq 0 \quad (0 < x < l), \quad (27)$$

$$p_2 = 0 \quad \text{при } x = 0, \quad v_2 = 0 \quad \text{при } x = l. \quad (28)$$

Введенные функции  $v, v_1, v_2, p_1, p_2$  удовлетворяют всем условиям задачи.

Найдем решение  $p_1, v_1$  однородной системы (21) и (22). Из сравнения условий (2) и (23) видно, что в рассматриваемом случае

$$F_1(x) = -\frac{Ax}{l}, \quad F_2(x) = 0. \quad (29)$$

Подставляя выражения (29) в формулы (11) и (12), после некоторых преобразований получим

$$B_{1k} = -B_{2k} = i \frac{A\rho c^2}{lb_k} \left[ (-1)^k + \frac{1}{l\mu_k} \right], \quad (30)$$

где 
$$\mu_k = \frac{2k-1}{2} \frac{\pi}{l}, \quad b_k = \sqrt{\left(\frac{2k-1}{2} \frac{\pi c}{l}\right)^2 - a^2}. \quad (31)$$

Далее в соответствии с равенствами (6)–(8) окончательно имеем

$$p_1(x, t) = \frac{2A}{l} \rho c^2 e^{-at} \sum_{k=1}^{\infty} \left[ (-1)^k + \frac{1}{l\mu_k} \right] \frac{\sin b_k \cdot t}{b_k} \sin \mu_k x, \quad (32)$$

$$v_1(x, t) = \frac{2A}{l} e^{-at} \sum_{k=1}^{\infty} \left[ (-1)^k + \frac{1}{l\mu_k} \right] \left( \frac{\cos b_k t}{\mu_k} - a \frac{\sin b_k t}{\mu_k b_k} \right) \cos \mu_k x. \quad (33)$$

Решение однородной системы уравнений (25) и (26) найдем в виде рядов по собственным функциям однородной задачи, то есть

$$p_2(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \theta_{pk}(t) \sin \mu_k x, \quad (34)$$

$$v_2(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \theta_{vk}(t) \cos \mu_k x, \quad (35)$$

где  $\theta_{pk}(t)$ ,  $\theta_{vk}(t)$  — неизвестные функции времени.

Подставим выражения (34) и (35) в уравнения (25) и (26) и получим

$$\sum_{k=1}^{\infty} (\rho c^2 \mu_k \theta_{vk} - \theta'_{pk}) \sin \mu_k x = \rho c^2 \frac{A}{l}, \quad (36)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} (\rho \theta'_{vk} + 2a\rho \theta_{vk} + \mu_k \theta_{pk}) \cos \mu_k x = -2a\rho \frac{A}{l} x. \quad (37)$$

Умножив первое из этих уравнений на  $\sin \mu_k x$ , а второе на  $\cos \mu_k x$  и проинтегрировав по  $x$  от 0 до  $l$ , в силу ортогональности собственных функций, получим

$$\theta'_{pk} = \rho c^2 \mu_k \theta_{vk} - 2\rho c^2 \frac{A}{l^2 \mu_k}, \quad (38)$$

$$\theta'_{vk} = -\frac{\mu_k}{\rho} \theta_{pk} - 2a\theta_{vk} + 4a \frac{A}{l\mu_k} \left[ (-1)^k + \frac{1}{l\mu_k} \right]. \quad (39)$$

Общее решение неоднородной системы (38) и (39) имеет вид

$$\theta_{pk} = C_{1k} e^{-(a-ib_k) \cdot t} + C_{2k} e^{-(a+ib_k) \cdot t} (-1)^k 4a\rho \frac{A}{l\mu_k^2}, \quad (40)$$

$$\theta_{vk} = -\frac{a-ib_k}{\rho c^2 \mu_k} C_{1k} e^{-(a-ib_k) \cdot t} - \frac{a+ib_k}{\rho c^2 \mu_k} C_{2k} e^{-(a+ib_k) \cdot t} + \frac{2A}{l^2 \mu_k^2}. \quad (41)$$

Из начальных условий (27) и выражений (34), (35) и (40), (41) после некоторых преобразований получим

$$C_{1\kappa} = i\rho c^2 \frac{A}{l^2 \mu_\kappa b_\kappa} \left[ 1 + (-1)^\kappa \frac{2al}{c^2 \mu_\kappa} (a + ib_\kappa) \right], \quad (42)$$

$$C_{2\kappa} = -i\rho c^2 \frac{A}{l^2 \mu_\kappa b_\kappa} \left[ 1 + (-1)^\kappa \frac{2al}{c^2 \mu_\kappa} (a - ib_\kappa) \right], \quad (43)$$

$$p_2(x, t) = -2\rho c^2 \frac{A}{l^2} e^{-at} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \left\{ \left[ 1 + (-1)^\kappa \frac{2a^2 l}{c^2 \mu_\kappa} \right] \frac{\sin b_\kappa t}{\mu_\kappa b_\kappa} + (-1)^\kappa \frac{2al}{c^2 \mu_\kappa^2} \cos b_\kappa t \right\} x \\ \times \sin \mu_\kappa x + 4a\rho \frac{A}{l} \sum_{\kappa=1}^{\infty} (-1)^\kappa \frac{\sin \mu_\kappa x}{\mu_\kappa^2} \quad (44)$$

$$v_2(x, t) = \frac{2A}{l^2} e^{-at} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \left\{ \left[ 1 + (-1)^\kappa 2l\mu_\kappa \right] a \frac{\sin b_\kappa t}{\mu_\kappa^2 b_\kappa} - \frac{\cos b_\kappa t}{\mu_\kappa^2} \right\} x \\ \times \cos \mu_\kappa x + \frac{2A}{l^2} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{\cos \mu_\kappa x}{\mu_\kappa^2}. \quad (45)$$

С учетом выражений (31) и формул разложения в ряды Фурье

$$\sum_{\kappa=1}^{\infty} (-1)^\kappa \frac{\sin \mu_\kappa x}{\mu_\kappa^2} = \frac{4l^2}{\pi^2} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{(-1)^\kappa}{(2\kappa-1)^2} \sin \left( \frac{2\kappa-1}{2} \frac{\pi x}{l} \right) = -\frac{lx}{2}, \quad (46)$$

$$\sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{\cos \mu_\kappa x}{\mu_\kappa^2} = \frac{4l^2}{\pi^2} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{1}{(2\kappa-1)^2} \cos \left( \frac{2\kappa-1}{2} \frac{\pi x}{l} \right) = \frac{l(l-x)}{2}, \quad (47)$$

из выражений (15), (19), (20), (30), (31), (44) и (46), (47) окончательно получаем

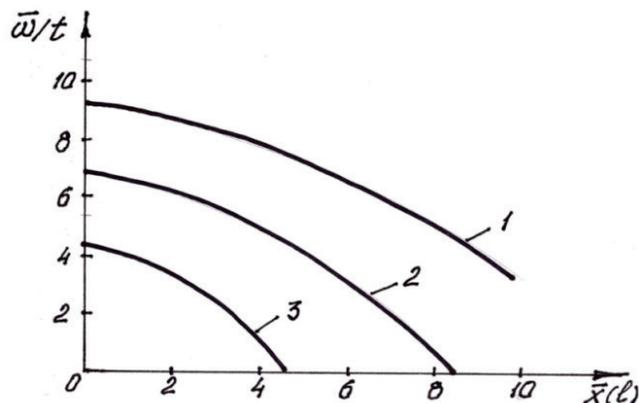
$$\omega(x, t) = A + \frac{4A}{\pi} e^{-at} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{(-1)^\kappa}{2\kappa-1} \left( \cos b_\kappa t + \frac{a}{b_\kappa} \sin b_\kappa t \right) \cos \left( \frac{2\kappa-1}{2} \frac{\pi x}{l} \right), \quad (48)$$

$$p(x, t) = -2a\rho Ax + 8\rho \frac{Al}{\pi^2} e^{-at} \sum_{\kappa=1}^{\infty} \frac{(-1)^\kappa}{(2\kappa-1)^2} \left( \frac{b_\kappa^2 - a^2}{b_\kappa} \sin b_\kappa t - 2a \cos b_\kappa t \right) \sin \left( \frac{2\kappa-1}{2} \frac{\pi x}{l} \right). \quad (49)$$

В итоге мы получили выражения для определения скорости движения жидкости (48) и значения амплитуды изменения давления жидкости (49) в любом произвольном сечении столба жидкости внутри колонны НКТ.

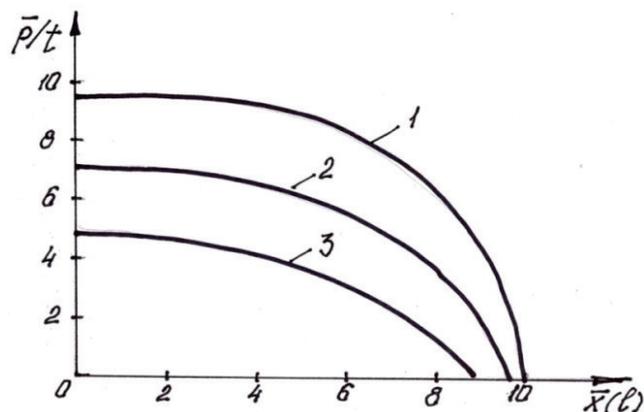
На рисунке 1 построены зависимости изменения относительной скорости движения гидравлического удара по длине колонны НКТ.

**Рис. 1. Зависимость относительной скорости движения гидроудара по всей длине НКТ:**  
 1 — для диаметра 89 мм;  
 2 — для диаметра 73 мм;  
 3 — для диаметра 60 мм



На рисунке 2 построены зависимости относительной амплитуды давления гидравлического удара по всей длине колонны НКТ. Определения таких важных параметров гидроудара в колонне НКТ возможно при условии имеющихся данных по эксплуатации скважины, а именно: глубина скважины, размеры колонны НКТ, давление и расход закачиваемой жидкости, плотность закачиваемой жидкости, наличие пакера в конструкции скважины, кривизна скважины и закон изменения амплитуды давления в преобразующих импульсных устройствах.

**Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды давления гидроудара по всей длине НКТ:**  
 1 — для диаметра 89 мм;  
 2 — для диаметра 73 мм;  
 3 — для диаметра 60 мм



Полученные выражения (48) и (49) были проанализированы, в результате чего выявлена закономерность определения амплитуды изменения давления гидроудара в любом поперечном сечении колонны НКТ. Это позволит заранее прогнозировать наиболее опасные участки с точки зрения длительной надежности колонны труб при циклической закачке жидкостей в системе поддержания пластового давления.

#### Библиографический список

1. Хабибуллин М. Я. Разработка вибротехники для эффективной закачки жидкости в нефтяной пласт: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 1999. – 23 с.
2. Хабибуллин М. Я. Экспериментально-теоретические исследования вытеснения нефти водой, с циклически изменяющейся амплитудой давления // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 6. – С. 233–241.
3. Патент на изобретение RUS 2198288. Способ закачки жидкости в нагнетательные скважины и устройство для его осуществления / Султанов Б. З., Тухтеев Р. М., Хабибуллин М. Я.; заявл. 12.10.99; опубл. 10.02.03.
4. Хабибуллин М. Я., Сулейманов Р. И., Давыдов А. Ю. Теоретические и лабораторные исследования работы устройства для импульсной закачки жидкости в скважину // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 3. – С. 16–21.

5. Хабибуллин М. Я., Сулейманов Р. И., Сидоркин Д. И. Лабораторно-теоретические исследования работы двухбалансирной конструкции устройства для импульсной закачки жидкости в скважину // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 5. – С. 109–113.
6. Хабибуллин М. Я. Повышение эффективности закачки жидкости в нагнетательные скважины // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2015: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / Отв. ред. В. Ш. Мухаметшин. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С. 161–167.
7. Хабибуллин М. Я. Повышение эффективности методов заводнения в системе поддержания пластового давления // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. / Отв. ред. В. Ш. Мухаметшин. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 392–397.
8. Хабибуллин М. Я., Шангареев Р. Р. Исследование процессов влияния давления и частоты импульсов на проникновение жидкости в песчаных образцах // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2016. – № 4. – С. 120–125.
9. Патент на изобретение RUS 2241825. Устройство для закачки жидкости / Гиляев Г. Г., Тухтеев Р. М., Хабибуллин М. Я., Ибраев Р. А.; заявл. 13.02.03; опубл. 10.12.04.
10. Хабибуллин М. Я., Сидоркин Д. И. Определение параметров колебаний колонны насосно-компрессорных труб при импульсной закачке жидкостей в скважину // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2016. – Т. 3, № 3. – С. 27–32.
11. Хабибуллин М. Я., Сулейманов Р. И. Исследование процесса распространения импульсов жидкости от устья до забоя скважины // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2016: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / Отв. ред. В. Ш. Мухаметшин. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – С. 104–109.
12. Параметры гашения колебаний колонны насосно-компрессорных труб при работе забойных импульсных устройств / М. Я. Хабибуллин [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 6. – С. 19–23.
13. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Пер. с англ. – М.: Наука, 1984. – 720 с.
14. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Расчеты в теоретической и прикладной механике. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – 94 с.
15. Арсланов И. Г., Хабибуллин М. Я. Применение электронных таблиц в расчетах нефтегазопромыслового оборудования // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2016: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию филиала. – Уфа, 2016. – С. 10–13.

#### *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

**Арсланов Исмагил Ганеевич**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой механики и технологии машиностроения, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, e-mail: arslanov59@mail.ru

**Сулейманов Рустэм Исхакович**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой нефтепромысловых машин и оборудования, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Октябрьский, e-mail: rustamsul@rambler.ru

#### *Information about the authors*

**Khabibullin M. Ya.**, 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

**Arslanov I. G.**, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Mechanics and Technologies of Mechanical Engineering, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: arslanov59@mail.ru

**Suleymanov R. I.**, Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Oil Field Machinery and Equipment, Oktyabrsky Branch of Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: rustamsul@rambler.ru