

УДК 621.752
DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-83-93

**Настройка частоты излучения погружным гидравлическим
скважинным вибратором**

Ю. А. Бурьян, В. Н. Сорокин, И. Н. Квасов*

*Омский государственный технический университет, Омск, Россия
inkv1@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена система настройки и стабилизации частоты излучения погружных скважинных вибраторов. Предполагается, что погружные скважинные вибраторы используются для виброволнового воздействия на призабойную зону пласта в неглубоких скважинах (50–300 м), у которых забойная часть конструктивно оформлена для возможности преобразования всестороннего (пульсирующего) воздействия в осциллирующее. В этом случае к скважинным вибраторам должны быть предъявлены дополнительные требования по диапазону частот излучения и точности поддержания частоты. Скорость вращения, а следовательно, и частоты роторного гидравлического вибратора, установленного в забойной части, зависит от расхода жидкости через вибратор. Работа погружного вибратора как гидравлической машины рассматривается с учетом того, что рабочая жидкость от насоса до вибратора подается через систему насосно-компрессорных труб, представляющих собой длинную гидравлическую линию. Составлена структурная схема системы управления с учетом передаточных функций регулятора расхода, длинной гидравлической линии и вибратора. Рассмотрена возможность использования регуляторов расхода для обеспечения настройки и стабилизации с необходимой точностью частоты излучения вибратора.

Ключевые слова: частота излучения, погружной скважинный вибратор, роторный гидравлический вибратор

Для цитирования: Бурьян, Ю. А. Настройка частоты излучения погружным гидравлическим скважинным вибратором / Ю. А. Бурьян, В. Н. Сорокин, И. Н. Квасов. – DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-83-93 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 6. – С. 83–93.

**Setting the radiation frequency of a submersible hydraulic
borehole vibrator**

Yuri A. Buryan, Vladimir N. Sorokin, Igor N. Kvasov*

*Omsk State Technical University, Omsk, Russia
inkv1@yandex.ru

Abstract. The article describes a system for setting and stabilizing the radiation frequency of submersible downhole vibrators. It is assumed that submersible downhole vibrators are used for vibration wave impact on the bottomhole formation zone in wells with a depth of 50 to 300 meters, in which the bottomhole part is structurally designed to be able to convert a comprehensive (pulsating) impact into an oscillating one. In this case downhole vibrators must be subject to additional requirements for the frequency range of the radiation and the accuracy of maintaining the frequency. The speed of rotation and the frequency of the rotary hydraulic vibrator, which is installed in the bottomhole, depends on the fluid flow through the vibrator. In the operation of a submersible vibrator as a hydraulic machine, it must be taken into account that the working fluid from the pump to the vibrator is supplied through a system of oil well tubing, which is a long hydraulic line. The authors of the article compiled a block diagram of the control system, taking into account the transfer functions of the flow controller, a long hydraulic line and the vibrator. The text gives valuable information on the possibility of using flow controllers to ensure setting and stabilization of the radiation frequency of the vibrator.

Keywords: radiation frequency, submersible downhole vibrator, rotary hydraulic vibrator

For citation: Buryan, Yu. A., Sorokin, V. N., & Kvasov, I. N. (2022). Setting the radiation frequency of a submersible hydraulic borehole vibrator. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 83-93. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-83-93

Введение

Для виброволнового воздействия на призабойную зону пласта применяются различного вида погружные скважинные вибраторы (золотниковые, роторные и т. д.). С целью использования подобных вибраторов в неглубоких скважинах (50–300 м) для технологии вибросейсмического воздействия на нефтегазовые пласты необходимо, во-первых, поддержание частоты излучения с точностью 0,1 Гц [1–14], во-вторых, конструктивное устройство забойной части скважины должно обеспечивать преобразование пульсирующего (всестороннего) воздействия в осциллирующее [15, 16]. Для эффективного использования скважин 50–300 м для целей вибросейсмического воздействия на нефтегазовые пласты необходимо выполнение следующих условий:

- погружные вибраторы должны обладать достаточной мощностью и надежностью, так как режим их работы достаточно длительный (обычно работа длится в течение 40 мин., остановка — в течение 20 мин.; такой режим соблюдается 3 месяца);
- вибратор должен иметь возможность настройки на доминантные частоты пласта (5–20 Гц) с точностью поддержания частоты 0,1 Гц;
- для повышения эффективности излучения упругих волн от погружного вибратора в горную породу необходимо специальное конструктивное оформление забоя скважины.

В работе [16] показан способ оформления забоя скважины, который позволяет преобразовать всестороннее (пульсирующее) воздействие от скважинного генератора в одностороннее (осциллирующее), что увеличивает интенсивность излучения упругих волн на два порядка.

Существующие скважинные низкочастотные вибраторы требуют дополнительного исследования для обеспечения работы на доминантной частоте с точностью 0,1 Гц.

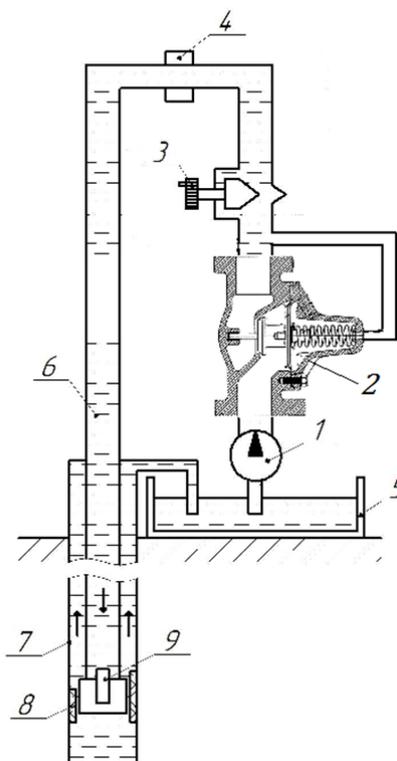
Теория

Рассматриваемые в работе вибраторы представляют собой объемные гидравлические машины, у которых скорость вращения определяется расходом жидкости [17]. Например, силовая часть представляет собой гидромотор, который вращает устройство, периодически перекрывающее давление и, следовательно, определяет частоту излучения. Скорость вращения гидромотора полностью определяется расходом жидкости, вследствие чего естественно для стабилизации скорости использовать регулятор расхода [18].

Принципиальная схема погружного вибратора с регулятором и измерителем расхода показана на рисунке 1.

Насос 1 через двухлинейный гидромеханический регулятор расхода подает необходимый расход жидкости в насосно-компрессорную систему труб 6 до роторного вибратора 9 через длинную гидравлическую линию. Жидкость после воздействия через перфорацию обсадной трубы 7 на горную породу поступает в бак 5. Конструктивное оформление 8 забоя скважины обеспечивает превращение пульсирующего воздействия в осциллирующее. По измерителю расхода 4 дроссельным краном 3 устанавливается необходимый расход для обеспечения доминантной частоты, а дифференциальный клапан 2 обеспечивает стабилизацию частоты.

Рис. 1. Принципиальная схема погружного вибратора с регулятором расхода:
1 — насос; 2 — дифференциальный клапан; 3 — дроссельный кран;
4 — измеритель расхода; 5 — бак;
6 — насосно-компрессорная труба;
7 — обсадная труба;
8 — конструкция забойной части скважины;
9 — роторный погружной вибратор



В соответствии с рисунком 1 структурная схема погружного вибратора с регулятором расхода приведена на рисунке 2.

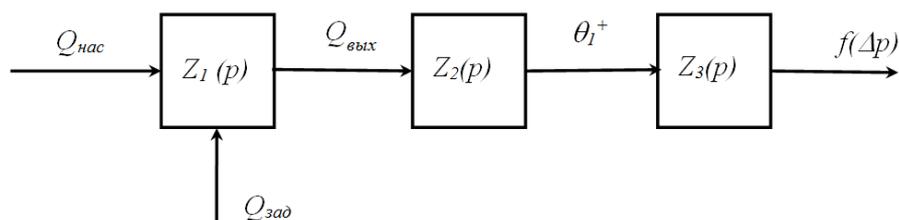


Рис. 2. Структурная схема: $Z_1(p)$ — передаточная функция регулятора расхода; $Z_2(p)$ — передаточная функция гидравлической линии от устья до вибратора; $Z_3(p)$ — передаточная функция генератора перепада давления вибратора; $Q_{нас}$ — расход насоса; $Q_{зад}$ — заданная величина расхода насоса; $Q_{вых}$ — расход с выхода регулятора расхода; $f(\Delta p)$ — частота перепада давления с выхода вибратора

Если рассматриваемый вибратор имеет гидромотор, который вращает щелевую конструкцию, перекрывающую давление в забойной зоне скважины, то уравнение расходов в таком вибраторе можно представить в виде [18]

$$Q^*(t) = q_m \cdot \frac{d\beta}{dt} + K_n \Delta p + \frac{V_0}{2C_{жс}} \cdot \frac{d\Delta p}{dt}, \quad (1)$$

где q_m — рабочий объем гидромотора, приведен к одному радиану поворота вала; K_n — проводимость щелей, по которым идет перетечка жидкости; V_0 — объем полостей гидромотора; $C_{жс}$ — модуль объемной упругости жидкости; Δp — разность давлений; β — угол поворота ротора.

Равенство моментов по оси вращения ротора в линейном приближении без учета трения можно представить в виде

$$\frac{J}{q_m} \cdot \frac{d^2\beta}{dt^2} + \frac{\mu}{q_m} \cdot \frac{d\beta}{dt} = \Delta p, \quad (2)$$

где J — момент инерции вращающихся частей; μ — коэффициент вязкого трения.

Вводя оператор Лапласа p из уравнений (1) и (2), можно получить передаточную функцию $Z_3(p)$

$$Z_3(p) = \frac{\tilde{f}(p)}{\tilde{Q}(p)} = \frac{K_3}{T_3^2 p^2 + 2\xi T_3 p + 1}, \quad (3)$$

$$K_3 = \frac{q_m n}{q_m^2 + \mu \cdot K_n},$$

$$T_3^2 = \frac{JV_0}{2C_{эс}(q_m^2 + \mu K_n)},$$

$$2\xi T_3 = \frac{V_0 \mu + K_n J \cdot 2B_{эс}}{2C_{эс}(q_m^2 + \mu K_n)}.$$

где n — количество щелей.

Необходимо подчеркнуть, что в данном вибраторе существует жесткая связь между расходом и частотой излучения.

В установившемся режиме величина необходимого расхода через вибратор для достижения заданного $f_{зад}$ вычисляется по зависимости

$$Q_{зад} = \frac{f_{зад}}{K_4}, \quad (4)$$

где коэффициент K_4 определяется либо по паспортным данным вибратора, либо экспериментальным путем на проливочном стенде. Подобную зависимость частоты излучения от расхода жидкости через вибратор имеют также и гидравлические золотниковые вибраторы, например ГИИ-2М. При подаче рабочей жидкости ствол вибратора вращается за счет реактивных усилий из-за тангенциально ориентированных щелевых прорезей. Корпус также имеет щелевые прорези, и периодическое перекрытие этих прорезей приводит к генерированию волн давления с частотой, зависящей от расхода жидкости.

Таким образом, зная зависимость (4) дроссельным краном 3 по показаниям измерителя расхода 4, мы можем установить требуемый расход $Q_{зад}$. Учитывая, что современные измерители расхода имеют ошибку 0,01–0,1 %, установить требуемый расход и, следовательно, $f_{зад}$ с точностью 0,1 Гц вполне возможно.

Для определения передаточной функции $Z_2(p)$ можно записать уравнения неустановившегося ламинарного движения сжимаемой жидкости в упругой цилиндрической трубе [19]

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{2\tau_0}{\rho r_0} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \Delta P}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial x} &= -\frac{1}{C_{mp}} \cdot \frac{\partial \Delta P}{\partial t} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где $\frac{1}{C_{mp}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{E_1}$; C_{mp} — приведенный модуль упругости трубы;

$$E_1 = \frac{E \cdot \delta}{2r_0};$$

E — модуль упругости стенки трубы; C — модуль объемной упругости среды; r_0 — радиус трубы; δ — толщина стенки трубы; τ_0 — квазистационарное касательное напряжение на стенке трубы; ρ — плотность жидкости; ΔP , V — давление и плотность среды.

Проводя преобразование Лапласа уравнений (5) и вводя операторный коэффициент распространения возмущений [19]

$$\mathcal{G}(p)^2 = \frac{p}{C_{mp}} \left[\rho \cdot p + \frac{2Z_{ev}(p)}{r_0} \right], \quad (6)$$

$$Z_{ev}(p) = \frac{\tau_0(p)}{\nu(p)},$$

где $\tau_0(p)$, $\nu(p)$ — изображение по Лапласу, соответственно, нестационарного касательного напряжения на стенке трубы и средней по сечению потока скорости среды, получим

$$\frac{d^2 \Delta P(p)}{dx^2} - \mathcal{G}^2 \Delta P(p) = 0. \quad (7)$$

На основе решения дифференциального уравнения (7) при граничных условиях $\Delta P(p, x) = \Delta P_1(p, 0)$

$$\frac{d\Delta P(p, x)}{dx} = -\frac{\mathcal{G}^2(p) \cdot C_{mp}}{p} \nu_1(p, 0),$$

и с учетом длины линии, равной ℓ , получим [19]

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_2(p, \ell) &= \Delta P_1(p, 0) \operatorname{ch}[\mathcal{G}(p) \cdot \ell] - \frac{\mathcal{G}(p) \cdot C_{mp} \cdot V_1(p, 0)}{p} \operatorname{sh}[\mathcal{G}(p) \cdot \ell] \\ V_2(p, \ell) &= V_1(p, 0) \operatorname{ch}[\mathcal{G}(p) \cdot \ell] - \frac{p \cdot \Delta P(p, 0)}{\mathcal{G}(p) \cdot C_{mp}} \operatorname{sh}[\mathcal{G}(p) \cdot \ell] \end{aligned} \right\} \cdot (8)$$

Гидравлическая схема такова, что от концов линий не происходит отражений волн возмущений, так как линии пропускают тот расход среды, который переносится прямой волной. Таким образом, можно считать, что нагрузки, подключенные к концам линий, являются согласованными. В этом случае из (8) можно получить выражения для линии по передаче расхода.

$$\frac{Q_2(p, \ell)}{Q_1(p, 0)} = e^{-\mathcal{G}_1(p) \cdot \ell}. \quad (9)$$

В предположении квазистационарного характера гидравлического сопротивления линии можно записать

$$\mathcal{G}_1(p) = \frac{p}{U_{\text{л}}},$$

где $U_{\text{л}} = \sqrt{\frac{C_{mp}}{\rho}}$ — скорость распространения волны возмущения.

Таким образом, передаточная функция $Z_2(p)$ будет иметь вид

$$Z_2(p) = e^{-T_{\text{л}} \cdot p}, \quad (10)$$

где $T_{\text{л}} = \frac{\ell}{U_{\text{л}}}$.

Учитывая, что передаточная функция $Z_2(p)$ представляет звено чистой задержки с $T_{\text{л}} \approx 0,1-0,2$, точность стабилизации расхода после регулятора не нарушается. В работе [19] показано, что точность стабилизации расхода через двухлинейный гидромеханический регулятор расхода определяется работой дифференциального клапана.

Уравнения малых движений дифференциального клапана имеют вид [20]

$$\left. \begin{aligned} T_{\kappa}^2 \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\xi T_{\kappa} \frac{dx}{dt} + x &= K_1 \Delta P_{\text{кл}} \\ Q &= K_3 \Delta P_{\text{кл}} - K_4 x \\ \Delta P &= \Delta P_{\text{вых}} - \Delta P_{\text{вх}} \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

где T_{κ} — постоянная времени клапана; ξ — коэффициент демпфирования; K_1, K_3, K_4 — коэффициенты передачи; $\Delta P_{\text{вых}}, \Delta P_{\text{вх}}$ — перепады давления на выходе и входе регулятора; x — переменная поршня клапана.

В соответствии с (11) передаточная функция $Z_1(p)$ по каналу стабилизации, установленному золотником дросселя расхода $Q_{\text{вых}}$, имеет вид

$$Z_1(p) = \frac{\Delta Q}{\Delta Q_{\text{ex}}} = \left[K_3 - \frac{K_1 K_4}{T_p^2 p^2 2\xi T_1 p + 1} \right]. \quad (12)$$

Если учесть, что насос используется с регулятором давления и статизм в (12) $\Delta Q_{\text{ст}} = (K_3 - K_1 K_4) \Delta Q_{\text{ex}}$ может быть сделан достаточно малым, то регулятор расхода вполне будет обеспечивать точность выдерживания заданного расхода, достаточную для излучения упругих волн на доминантной частоте пласта с погрешностью не более 0,1 Гц.

Выводы

Проведенное исследование показало, что предложенная система настройки и стабилизации расхода жидкости через погружной скважинный вибратор обеспечивает доминантную частоту излучения упругих волн с необходимой точностью технологии вибросейсмического воздействия на нефтегазовые пласты.

Список источников

1. Сердюков, С. В. Механизм стимуляции добычи нефти сейсмическими полями малой интенсивности / С. В. Сердюков, М. В. Курленя. – Текст: непосредственный // Акустический журнал. – 2007. – Т. 53, № 5. – С. 703–714.
2. Апасов, Т. К. Методы интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи для месторождений Западной Сибири : учебное пособие / Т. К. Апасов, Р. Т. Апасов, Г. Т. Апасов ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. – 187 с. – Текст : непосредственный.
3. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия = Rise in Productivity and Well Reanimation by Implementation of Vibration Waves / В. П. Дыбленко, Р. Н. Камалов, Р. Я. Шарифуллин, И. А. Туфанов. – Москва : Недра, 2000. – 381 с. – Текст : непосредственный.
4. Неволин, В. Г. Опыт применения звукового воздействия в практике нефтедобычи Пермского края / В. Г. Неволин. – Пермь, 2008. – 54 с. – Текст : непосредственный.
5. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками : [монография] / В. С. Селезнев, А. Ф. Еманов, В. Н. Кашун [и др.] ; Российская академия наук, Сибирское отделение. – Новосибирск : Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2004. – 386 с. – Текст : непосредственный.
6. Уметбаев, В. Г. Геолого-технические мероприятия при эксплуатации скважин / В. Г. Уметбаев. – Москва : Недра, 1989. – 215 с. – Текст : непосредственный.
7. Чичинин, И. С. Вибрационное излучение сейсмических волн / И. С. Чичинин. – Москва : Недра, 1984. – 224 с. – Текст : непосредственный.

8. Интенсификация нефтедобычи методом вибросейсмического воздействия заглубленными источниками упругих волн : монография / Ю. А. Бурьян, В. Н. Сорокин, В. С. Корнеев [и др.] ; Минобрнауки России, Омский государственный технический университет. – Омск : ОмГТУ, 2014. – 209 с. – Текст : непосредственный.
9. Анализ волнового метода воздействия на ПЗП в скважинах с трудноизвлекаемыми запасами / Г. Т. Апасов, С. И. Грачев, Т. К. Апасов [и др.]. – Текст : непосредственный // Сборник докладов III научно-практической конференции. – Тюмень : Шадринский Дом печати, 2012. – С. 128–136.
10. Иванов, С. И. Интенсификация притока нефти и газа к скважинам : учебное пособие / С. И. Иванов. – Москва : Недра-Бизнесцентр, 2006. – 565 с. – Текст : непосредственный.
11. Гадиев, С. М. Использование вибрации в добыче нефти / С. М. Гадиев. – Москва : Недра, 1977. – 159 с. – Текст : непосредственный.
12. Мельников, В. Б. Перспективы применения волновых технологий в нефтегазовой отрасли : академические чтения / В. Б. Мельников. – Москва : РГУНГ им. И. М. Губкина, 2007. – 24 с. – Текст : непосредственный.
13. Апасов, Г. Т. Виброволновой метод интенсификации добычи нефти и ограничения водопритоков / Г. Т. Апасов. – Текст : непосредственный // Сборник научно-технического инновационного форума «НефтьГазТЭК». – Тюмень, 2014. – С. 19–22.
14. Сургучев, М. Л. Гидродинамическое акустическое, тепловое циклическое воздействия на нефтяные пласты / М. Л. Сургучев, О. Л. Кузнецов, Э. М. Симкин. – Москва : Недра, 1975. – 185 с. – Текст : непосредственный.
15. Патент № 2379488 Российская Федерация, МПК E21B 43/16. Способ интенсификации нефтеотдачи пласта и устройство для его осуществления : заявл. 08.08.2007 : опубл. 20.01.2010 / Бурьян Ю. А. Сорокин В. Н.; патентообладатель: Омский государственный технический университет. – Текст : непосредственный.
16. Бурьян, Ю. А. Скважинный вибрационный источник упругих волн типа «пульсирующий цилиндр» / Ю. А. Бурьян, В. Н. Сорокин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 4 (82). – С. 58–62.
17. Яковлев, А. Л. Технические средства для обработок скважин с использованием виброволнового воздействия. Скважинные генераторы колебаний / А. Л. Яковлев, Ю. А. Шамара, Е. Н. Даценко. – Текст : непосредственный // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 1. – С. 139–147.
18. Бурьян, Ю. А. Управление частотой изучения гидравлического скважинного вибратора / Ю. А. Бурьян, В. Н. Сорокин. – Текст : непосредственный // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 6. – С. 47–51.
19. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем : учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1987. – 464 с. – Текст : непосредственный.
20. Гамадиев, А. Г. Выбор параметров, расчет статических и динамических характеристик регулятора расхода топлива : учебное пособие / А. Г. Гамадиев ; Федеральное агентство по образованию, Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева. – Самара : Изд-во СГАУ, 2007. – 64 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Serdyukov, S. V., & Kurlenya, M. V. (2007). Mechanism of oil production stimulation by low-intensity seismic fields. *Acoustical Physics*, 53(5), pp. 618-628. (In English). DOI: 10.1134/S1063771007050132
2. Apasov, T. K., Apasov, R. T., & Apasov, G. T. (2015). *Metody intensivifikatsii dobychi nefti i povysheniya nefteotdachi dlya mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri*. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 187 p. (In Russian).
3. Dyblenko, V. P., Kamalov, R. N., Sharifullin, R. Ya., & Tufanov, I. A. (2000). *Rise in Productivity and Well Reanimation by Implementation of Vibration Waves*. Moscow, Nedra Publ., 381 p. (In Russian).
4. Nevolin, V. G. (2008). *Opyt primeneniya zvukovogo vozdeystviya v praktike neftedobychi Permskogo kraya*. Perm, 54 p. (In Russian).
5. Seleznev, V. S., Emanov, A. F., Kashun, V. N., Glinskiy, B. M., Kovalevskiy, V. V., Manshtein, A. K.,... Geza, N. I. (2004). *Aktivnaya seysmologiya s moshchnymi vibratsionnymi istochnikami*. Novosibirsk, the Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS Publ., 386 p. (In Russian).
6. Umetbaev, V. G. (1989). *Geologo-tehnicheskie meropriyatiya pri ekspluatatsii skvazhin*. Moscow, Nedra Publ., 215 p. (In Russian).
7. Chichinin, I. S. (1984). *Vibratsionnoe izluchenie seysmicheskikh voln*. Moscow, Nedra Publ., 224 p. (In Russian).
8. Buryan, Yu. A., Sorokin, V. N., Korneev, V. S., Russkih, G. S., & Kapelyuhovski, A. A. (2014). *Intensifikatsiya neftedobychi metodom vibroseysmicheskogo vozdeystviya zaglublennymi istochnikami uprugikh voln*. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 209 p. (In Russian).
9. Apasov, G. T., Grachev, S. I., Apasov, T. K., Shkurov, O. V., & Apasov, R. T. (2012). *Analiz volnovogo metoda vozdeystviya na PZP v skvazhinakh s trudnoizvlekaemymi zapasami*. Tyumen, Shadrinskiy Dom pechati Publ., pp. 128-136. (In Russian).
10. Ivanov, S. I. (2006). *Intensifikatsiya pritoka nefti i gaza k skvazhinam*. Moscow, Nedra- Biznestsentr Publ., 565 p. (In Russian).
11. Gadiev, S. M. (1977). *Ispol'zovanie vibratsii v dobyche nefti*. Moscow, Nedra Publ., 159 p. (In Russian).
12. Mel'nikov, V. B. (2007). *Perspektivy primeneniya volnovykh tekhnologiy v neftegazovoy otrasli: akademicheskie chteniya*. Moscow, RGUNG im. I. M. Gubkina Publ., 24 p. (In Russian).
13. Apasov, G. T. (2014). *Vibrovolnovoy metod intensivifikatsii dobychi nefti i ogranicheniya vodopritokov*. *Sbornik nauchno-tehnicheskogo innovatsionnogo foruma "Neft'GazTEK"*. Tyumen, pp. 19-22. (In Russian).
14. Surguchev, M. L., Kuznetsov, O. L., & Simkin, E. M. (1975). *Gidrodinamicheskoe akusticheskoe, teplovoe tsiklichesкое vozdeystviya na neftyanye plasty*. Moscow, Nedra Publ., 185 p. (In Russian).
15. Buryan, Yu. A., & Sorokin, V. N. *Sposob intensivifikatsii nefteotdachi plasta i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya*. Pat. RF 2379488. Applied: 08.08.07. Published: 20.01.10. (In Russian).
16. Buryan, Yu. A., & Sorokin, V. N. (2010). *A borehole elastic waves vibration source of "a pulsating cylinder" type*. *Higher Educational Institutions News*, (4(82)), pp. 58-62. (In Russian).

17. Yakovlev, A. L., Shamara, Yu. A., & Datsenko, E. N. (2016). Technical means for the treatment of wells with using vibration wave impact. Borehole oscillators. Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin), (1), pp. 139-147. (In Russian).
18. Buryan, Yu. A., & Sorokin, V. N. (2008). Control by radiation frequency of hydraulic bore-hole vibrator. Mechatronics, automation, control, (6), pp. 47-51. (In Russian).
19. Попов, Д. Н. (1987). Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, Mashinostroenie Publ., 464 p. (In Russian).
20. Gamadiev, A. G. (2007). Vybor parametrov, raschet staticheskikh i dinamicheskikh kharakteristik regulatora rashkoda topliva. Samara, Samara University Publ., 64 p. (In Russian).

Информация об авторах

Бурьян Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор, Омский государственный технический университет, г. Омск

Сорокин Владимир Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор, Омский государственный технический университет, г. Омск

Квасов Игорь Николаевич, кандидат экономических наук, доцент, профессор, Омский государственный технический университет, г. Омск, inkv1@yandex.ru

Information about the authors

Yuri A. Buryan, Doctor of Engineering, Professor, Omsk State Technical University

Vladimir N. Sorokin, Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor, Omsk State Technical University

Igor N. Kvasov, Candidate of Economics, Associate Professor, Professor, Omsk State Technical University, inkv1@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.06.2022; одобрена после рецензирования 15.08.2022; принята к публикации 02.09.2022.

The article was submitted 20.06.2022; approved after reviewing 15.08.2022; accepted for publication 02.09.2022.