

Бурение скважин и разработка месторождений

Drilling of wells and fields development

25.00.15 Технология бурения и освоения скважин (технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2021-4-73-83

УДК 622.24

Повышение продуктивности скважин и нефтеотдачи пластов при использовании технологии виброволнового воздействия

И. Н. Квасов¹, К. Ю. Фетисов², М. А. Александров^{3*}, А. А. Гладенко³

¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

²ПАО «ОНХП» (ОмскНефтеХимПроект), г. Омск, Россия

³Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

*e-mail: aleksandrovma@tyuiu.ru

Аннотация. Представлено использование физических полей упругих колебаний в методах повышения продуктивности скважин и нефтеотдачи пластов. Наиболее предпочтительными для осуществления виброволновых работок призабойной зоны являются скважинные гидродинамические генераторы упругих колебаний. У многих конструкций генераторов отсутствуют обоснованные параметры генерируемых колебаний давления. В связи с этим необходимо проведение стендовых и промысловых исследований различных конструкций гидродинамических генераторов с объективной аппаратурной оценкой их рабочих параметров.

Ключевые слова: виброволновое воздействие; гидродинамические генераторы колебаний; скважинные генераторы колебаний; генераторы пружинно-клапанного и клапанно-ударного типа; гидравлические преобразователи; гидравлические роторные преобразователи

Well productivity and reservoir recovery enhancement with using vibration wave impact technology

Igor N. Kvasov¹, Kirill Yu. Fetisov², Michael A. Aleksandrov^{3*},
Aleksy A. Gladenko³

¹Omsk State Technical University, Omsk, Russia

²ONHP (OmskNefteHimProect) PJSC, Omsk, Russia

³Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*e-mail: aleksandrovma@tyuiu.ru

Abstract. The use of physical fields of elastic vibrations in methods of increasing well productivity and oil recovery is presented. Borehole hydrodynamic gener-

ators of elastic vibrations are the most preferable for performing vibration-wave treatments of the bottom-hole zone. Many generator designs lack reasonable parameters for the generated pressure fluctuations. In this regard, it is necessary a bench and oilfield research practice of hydrodynamic generators various designs with an objective hardware assessment of their operating parameters.

Key words: vibration wave impact; hydrodynamic oscillators; borehole oscillators; generators springvalve and valve-impact type; hydraulic converters; hydraulic rotary converters

Введение

Для более качественного моделирования физических полей упругих колебаний, применяемых в методах повышения нефтеотдачи пластов и повышения продуктивности скважин, чаще всего для виброволновой обработки призабойной зоны используют скважинные гидродинамические генераторы упругих колебаний. Но в большинстве конструкций оборудования подобного рода отсутствуют четкие и обоснованные параметры воспроизводимых колебаний.

Для решения данной задачи были проведены испытания различных вариантов гидродинамических генераторов для оценки их рабочих параметров. Испытания проводились с применением измерительной аппаратуры в стендовом режиме и непосредственно на промысле. По итогам исследований установлено, что три типа исследуемых генераторов не соответствуют требованиям энергоэффективности для виброволновой обработки скважин.

Необходимо рассмотреть возможность использования скважинного генератора упругих волн на базе двухступенчатой центробежной форсунки для реализации технологии вибросейсмического воздействия (ВСВ) на нефтяную залежь. По принципу действия, а также при учете конструктивных решений и результатов испытаний гидродинамический скважинный генератор на основе вихревых центробежных форсунок будет лучшим выбором и для использования в технологии ВСВ.

В данной работе основное внимание уделено вопросам регулирования частоты излучения такого генератора.

Объект и методы исследования

Для обработки призабойной зоны скважин наиболее часто используются скважинные гидродинамические генераторы упругих колебаний. Но вследствие отсутствия четких и обоснованных параметров воспроизводимых ими колебаний давления необходимо было провести стендовые испытания, а также верификацию непосредственно на промысле.

В работе были проанализированы результаты исследований [1–3] следующих типов генераторов:

- гидродинамические генераторы колебаний на основе вихревых центробежных форсунок;
- гидравлические преобразователи — «свистки»;
- генераторы пружинно-клапанного и клапанно-ударного типа;
- гидравлические роторные преобразователи — «сирены».

Из первых трех генераторов можно выделить широко распространенный гидравлический вибратор золотникового типа ГВЗ-108: работа генератора вызывает сравнительно небольшие потери напора при довольно высоком среднеквадратичном давлении, и после продолжительных испытаний существенных следов износа обнаружено не было.

Результаты исследований показали, что первые три из перечисленных видов генераторов не соответствуют требованиям энергоэффективности виброволновой обработки скважин, а именно:

- невысокий коэффициент надежности оборудования (колебания давления происходят непосредственно внутри прибора, создавая ударные нагрузки, превышающие пределы прочности материалов); также материалы корпуса контактируют с агрессивной абразивной средой;
- недостаточно высокие амплитуды колебаний давления при работе в стволе скважины;
- отсутствие регулирования частоты колебаний без существенного вмешательства в конструкцию прибора, что не позволяет осуществлять обработку отдельно взятого объекта скважины в оптимальном для него режиме.

Гидродинамические генераторы колебаний на основе вихревых центробежных форсунок [4, 5] удовлетворяют требованиям по сравнению с остальными генераторами.

Вихревые элементы данной установки закручивают поток жидкости, тем самым усиливая низкочастотные колебания параметров потока жидкости, в итоге достигаются колебания требуемых амплитудно-частотных характеристик, с ограничением энергоотдачи мощностью напорной линии питания.

Принципиальная схема истечения жидкости из двухступенчатой форсунки в соответствии с [6–10] приведена на рисунке 1.

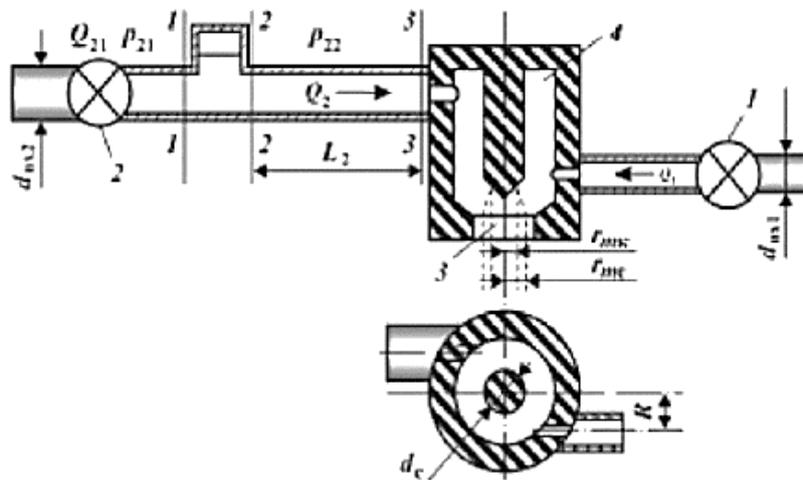


Рис. 1. Схема истечения жидкости из двухступенчатой форсунки

В большерасходной магистрали с краном 2, присоединенным к нагнетательной линии с насосом постоянного давления, имеется гидравлический

элемент, представляющий собой емкость, заполненную газом объемом V отделенной от жидкости упругой мембраной. В малорасходной магистрали также поддерживается постоянное давление. Жидкость из малорасходной магистрали с расходом Q_1 через тангенциальные каналы поступает в камеру вихреобразования. В эту же камеру поступает жидкость из большерасходной магистрали.

В камере образуется вихрь из подаваемой жидкости, в его центре давление постепенно падает, и в процессе истечения образуется зона разрежения с геометрическими параметрами $r_{тк}$ и $r_{те}$.

Возможность возникновения автоколебаний обуславливается наличием на расходной характеристике участка с отрицательным гидравлическим сопротивлением.

Пример расходной характеристики из [11, 12] показан на рисунке 2, где $Q = Q_{\Sigma}/Q_{\min}$ — относительный расход; P_2 — давление во второй ступени; Q_{Σ} — суммарный расход через форсунки; Q_{\min} — расход жидкости через первую (малорасходную) линию при полностью закрытом кране 2.

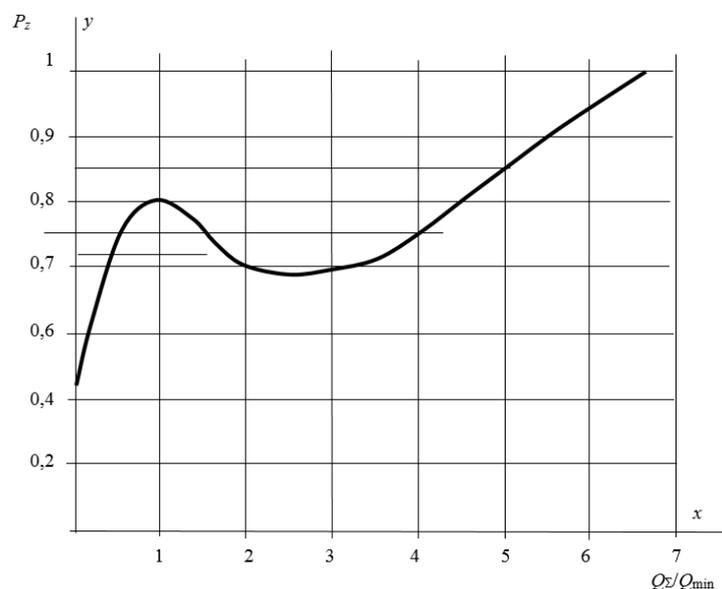


Рис. 2. Расходная характеристика

На участке 1–7 характеристика аппроксимирована следующим полиномом:

$$P_2 = c - aQ + bQ^3, \quad (1)$$

где $c = 0,94$; $a = 0,14$; $b = 0,0054$.

Записывая уравнения возмущенного движения жидкости для участка 1–2 и 2–3 и решая их совместно, получим уравнения нестационарного расхода жидкости в большерасходной магистрали в виде нелинейного уравнения Ван дер Поля [7, 8]

$$\tau_m \frac{d^2 Q_2}{dt^2} + (-a + 3bQ_2^2) \frac{dQ_2}{dt} + \frac{Q_2}{\tau_a} = 0, \quad (2)$$

где Q_2 — переменная составляющая расхода жидкости в большерасходной магистрали; $\tau_m = \frac{\rho \ell_2 Q_{20}}{P_2 F_2}$ — инерционная постоянная времени; P_2 — среднее давление в большерасходной магистрали; \overline{Q}_{20} — средний объемный расход в большерасходной магистрали; ℓ_2 — длина большерасходной магистрали; F_2 — площадь трубы большерасходной магистрали; $\tau_a = \frac{\rho V}{Q_2}$ — емкостная постоянная времени; V — объем газа в воздушной полости; ρ — плотность жидкости.

Уравнение Ван дер Поля, как известно, имеет предельный цикл устойчивых автоколебаний, при этом амплитуда колебаний расхода будет

$$|Q_2| = 2\sqrt{\frac{a}{3b}} Q, \quad (3)$$

а амплитуда колебаний давления перед форсункой [5]

$$|P_2| = 2a\sqrt{\frac{a}{3b}}. \quad (4)$$

Для целей использования подобного генератора давлений в ВСВ особый интерес представляет оценка частоты автоколебаний, которая зависит от параметров τ_m и τ_a .

Приведем уравнение (2) к следующему виду:

$$\ddot{Q}_2 = \left[\frac{a}{Q_{20}} \left(1 - \frac{3b}{a} Q_2^2 \right) \dot{Q}_2 - \frac{1}{V} Q_2 \right] P_2 \frac{F_2}{\rho L_2}, \quad (5)$$

учитывая, что $P_2 \frac{F_2}{\rho L_2} = const$, введем новую переменную $y = Q_2 \cdot P_2 \frac{F_2}{\rho L_2}$.

Тогда уравнение (5) примет вид

$$\ddot{y} = \left[\frac{a}{Q_{20}} \left(1 - \frac{3b}{a} y^2 \right) \dot{y} - \frac{1}{V} y \right]. \quad (6)$$

Зависимость частоты установившихся автоколебаний от среднего расхода Q_2 в нагнетательной магистрали при $V = 10^{-4} \text{ м}^3$ и значениях $a = 0,14$, $b = 0,0054$ показана на рисунке 3.

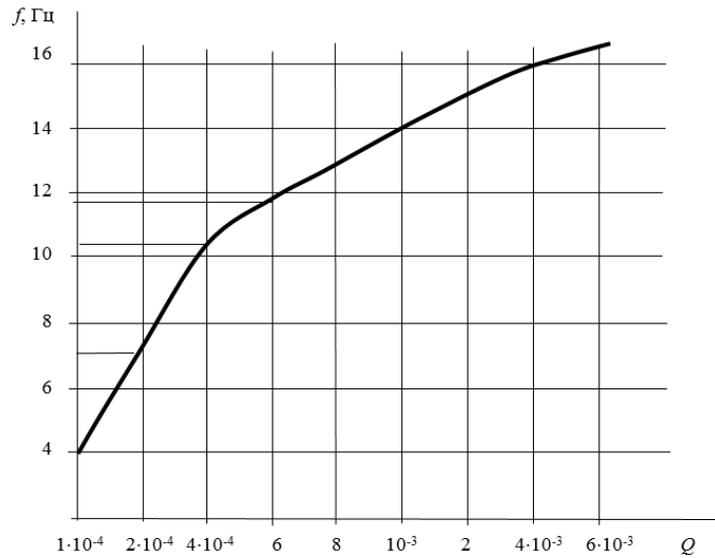


Рис. 3. Зависимость $f(Q)$

Представляет интерес исследование процесса развития автоколебаний. На рисунке 4 для примера приведен процесс установления автоколебаний от начального значения амплитуды 0,5 до 6 при $Q = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

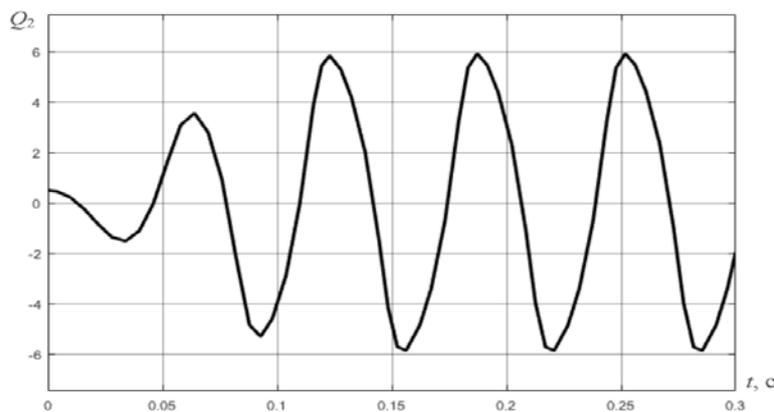


Рис. 4. Развитие автоколебаний

Исследование решений уравнения (6) показало, что время T установления автоколебаний нелинейно зависит от величины расхода Q и, следовательно, от частоты автоколебаний. Результат оценки времени T для различных значений Q показан на рисунке 5.

Для построения управления частотой генератора на базе двухступенчатой вихревой форсунки генератор можно представить в первом приближении как последовательное соединение аperiodического звена с постоянной времени $T(Q)$ (см. рис. 5) и безынерционного звена $f(Q)$ в соответствии с рисунком 3.

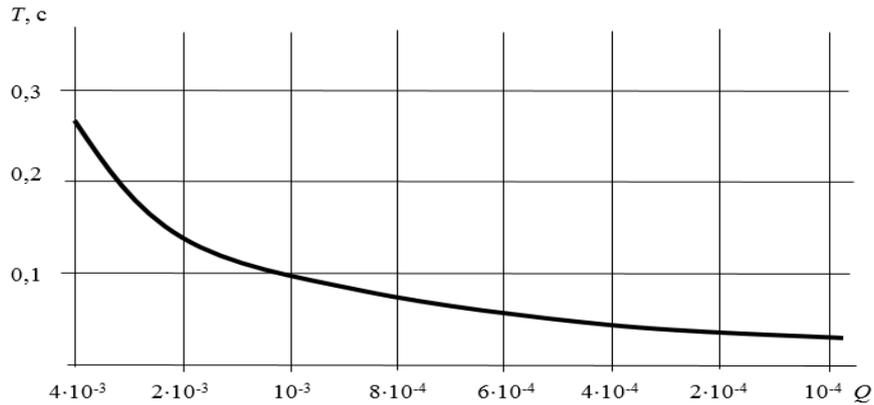


Рис. 5. Зависимость $T(Q)$

Принципиальная структурная схема в предположении об идеальной работе датчика динамического давления и измерителя частоты управления частотой генератора представлена на рисунке 6 [11], где Q_1 — расход на выходе насоса; Q_2 — расход у генератора; ΔP — перепад давления, создаваемый вибратором; f_3, f — заданная и измеренная частота; $W_1(p)$ — передаточная функция регулятора расхода с приводом золотника; $W_2(p)$ — передаточная функция гидравлической линии; $W_3(p)$ — передаточная функция генератора; $W_4(p)$ — передаточная функция измерителя частоты.

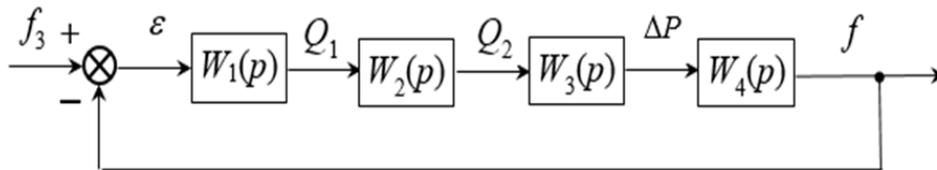


Рис. 6. Принципиальная структурная схема

На рисунке 7 приведена функциональная схема управления частотой генератора: 1 — погружной генератор; 2 — датчик динамического давления; 3 — обсадная труба; 4 — насосно-компрессорная труба; 5 — насос; 6 — регулятор расхода; 7 — привод золотника регулятора; 8 — измеритель частоты; 9 — бак.

Использование генератора упругих волн для целей ВСВ имеет следующую особенность — после определения геофизическими методами доминантной частоты пласта генератор должен быть настроен на эту частоту, и в течение 2–2,5 месяцев в режиме прерывистой работы должен поддерживать эту частоту с точностью 0,1 Гц.

Вследствие этого один из возможных вариантов последовательности настройки частоты может быть следующий — режим ручной настройки на доминантную частоту и автоматическая стабилизация частоты [13–16].

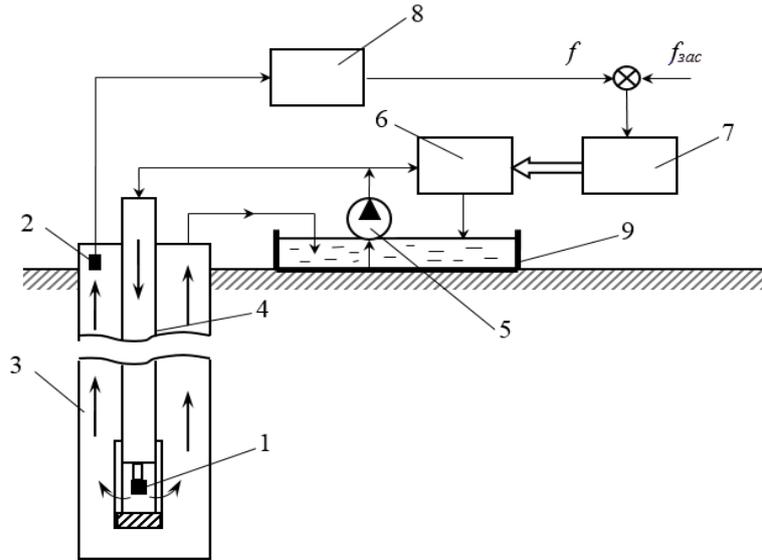


Рис. 7. Функциональная схема управления частотой генератора

С учетом вышеизложенного, структурная схема системы управления будет иметь вид, как показано на рисунке 8, при этом два звена чистой задержки объединены в одно звено задержки.

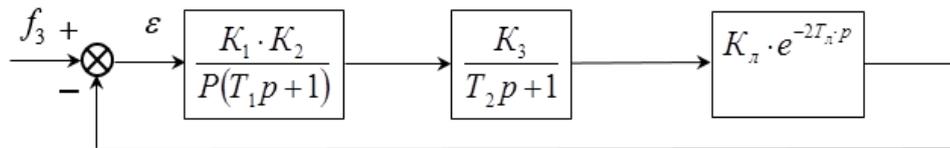


Рис. 8. Структурная схема

Результаты

Исследование уравнения (6) показало, что объем газовой полости V должен выбираться так, чтобы при максимально возможном для применяемого насоса расходе Q частота автоколебаний составляла 20 Гц.

Анализ устойчивой системы управления (см. рис. 8) показал, что при $H = 0$ величина $K = K_1 K_2 K_3$ должна составлять $K \leq 20$.

При установке источника упругих волн на глубине скважины в 150 м влияние линии задержки, как известно, уменьшает устойчивость системы, и величина составит $K \leq 4,75$.

Принимая во внимание, что система стабилизации частоты излучения астатическая, ошибка будет в основном определяться погрешностью измерения частоты на устье скважины, а при учете низкочастотного диапазона рабочих частот и точности современных систем измерения обеспечить погрешность частоты 0,1 Гц не представляет затруднений.

Выводы

Проведенное исследование показало, что для целей ВСВ в специально оборудованных скважинах на участке глубиной 50–200 м целесообразно использовать в качестве излучателей упругих волн генераторы на базе двухступенчатых вихревых форсунок. Анализ частоты излучения в зависимости от объема газовой полости и расхода в нагнетательной линии показал возможность построения устойчивой автоматической системы управления частотой.

При использовании разработанных гидродинамических генераторов типа ГЖ-2 и ГЖ-11 [17–20] необходимо внесение конструктивных изменений в части увеличения объема газовой полости для обеспечения требуемого диапазона частот.

Библиографический список

1. Уметбаев, В. Г. Геолого-технические мероприятия при эксплуатации скважин / В. Г. Уметбаев. – Москва : Недра, 1989. – 217 с. – Текст : непосредственный.
2. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв. ред. Г. М. Цибульчик. – Новосибирск, 2004. – 387 с. – Текст : непосредственный.
3. Тарануха, М. А. Исследование колебаний судовых стержневых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности / М. А. Тарануха, О. В. Журбин, И. Н. Журбина. – Текст : непосредственный // Мореходство и морские науки — 2011 : избранные доклады третьей Сахалинской региональной морской научно-технической конференции, 15–16 февраля 2011 года / Сахалинский государственный ун-т, Сахалинское отделение Русского географического общества, Сахалинское отделение Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. – Южно-Сахалинск : Изд-во Сахалинского гос. ун-та, 2011. – С. 82–93.
4. Оценка эффективности виброизоляции при использовании гидропневмопружины с инерционным преобразователем движения / Ю. А. Бурьян, Д. О. Бабичев, М. В. Силков [и др.]. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. Серия: Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 35–38.
5. Бурьян, Ю. А. К вопросу о выборе скважинного генератора упругих волн для технологии вибросейсмического воздействия на нефтегазовые залежи / Ю. А. Бурьян, И. Н. Квасов, В. Н. Сорокин. – Текст : непосредственный // Проблемы машиноведения : материалы IV международной научно-технической конференции, Омск, 17–19 марта 2020 года / Под редакцией П. Д. Балакина. – Омск : Омский государственный технический университет, 2020. – С. 37–44.
6. Патент № 2144440 С1 Российская Федерация, МПК В06В 1/20. Способ возбуждения колебаний потока жидкости и гидродинамический генератор колебаний : № 98116022/28 : заявл. 24.08.1998 : опубл. 20.01.2000 / Дыбленко В. П., Марчуков Е. Ю., Жданов В. И. [и др.]. – Текст : непосредственный.
7. Повышение продуктивности и реанимации скважин с применением виброволнового воздействия / В. П. Дыбленко, Р. Н. Комалов, Р. Я. Шарифуллин, И. А. Туфанов. – Москва : Недра, 2000. – 381 с. – Текст : непосредственный.
8. Жданов, В. И. Автоколебания в жидкостных центробежных форсунках / В. И. Жданов. – Москва : Изд-во МАИ-Принт, 2007. – 203 с. – Текст : непосредственный.
9. 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. 139–148.
10. Патент № 2015749 С1 Российская Федерация, МПК В06В 1/20, F15В 21/12. Гидродинамический генератор колебаний : № 5003508/29 : заявл. 04.10.1991 : опубл. 15.07.1994 / Авдеевский В. С., Ганиев Р. Ф., Калашников Г. А. [и др.]; заявитель Научно-производственная фирма «Волонтех». – Текст : непосредственный.

11. Справочное руководство по проектированию и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти / Под редакцией Ш. К. Гиматудинова. – Москва : Недра, 1983. – 455 с. – Текст : непосредственный.
12. Гадиев, С. М. Влияние вибрации на реологические свойства жидкостей / С. М. Гадиев, Е. З. Рабинович, В. М. Карандашева // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1981. – № 1. – С. 43–46.
13. Теория автоматического управления : учебное пособие : в 2 ч. / под редакцией А. А. Воронова. – Москва : Высшая школа, 1977. – Текст : непосредственный.
14. Греков, С. В. Исследование гидравлического канала связи телеметрической системы контроля забойных параметров в процессе бурения / С. В. Греков. – Текст : электронный // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – Текст : электронный. – 2005. – № 2. – С. 1. – URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Grekov/Grekov_2.pdf. – Дата публикации: 29 декабря 2005.
15. Технология виброволнового воздействия на призабойную зону скважин как эффективный способ повышения продуктивности пластов. – URL: http://knowledge.allbest.ru/manufacture/3c0b65625b2ad78a4d53a88421206d37_0.html. – Текст : электронный.
16. Кузнецов, О. Л. Применение ультразвука в нефтяной промышленности / О. Л. Кузнецов, С. А. Ефимова. – Москва : Недра, 1983. – 192 с. – Текст : непосредственный.
17. Уайт, Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. – Москва : Недра, 1986. – 262 с. – Перевод изд.: *Underground sound Application of Seismic Waves* / J. E. White, 1983. – Текст : непосредственный.
18. Чичинин, И. С. Свайный источник сейсмических волн / И. С. Чичинин. – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 1. – С. 86–92.
19. Попов, А. А. Ударное воздействие на призабойную зону скважин / А. А. Попов. – Москва : Недра, 1990. – 157 с. – Текст : непосредственный.
20. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. Н. Попов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 464 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Umetbaev, V. G. (1989). *Geologo-tehnicheskie meroprijatija pri jekspluatacii skvazhin*. Moscow, Nedra Publ., 217 p. (In Russian).
2. Tsibulchik, G. M. (Ed.) (2004). *Active seismology with powerful vibration sources*. Novosibirsk, 387 p. (In Russian).
3. Taranuha, M. A., Zhurbin, O. V., & Zhurbina, I. N. (2011). *Issledovanie kolebanij sudovyh sterzhnevyyh konstrukcij s uchjotom soprotivlenija vneshnej sredy razlichnoj plotnosti. Morehodstvo i morskije nauki - 2011 : izbrannye doklady tret'ej Sahalinskoj regional'noj morskoy nauchno-tehnicheskoy konferencii, February, 15-16, 2011. Juzhno-Sahalinsk, pp. 82-93.* (In Russian).
4. Burian, Yu. A., Babichev, D. O., Silkov, M. V., Belkov, V. N., & Kvasov, I. N. (2017). *Evaluating effectiveness of vibration isolation using hydro pneumatic spring with inertial motion converter. Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering, (1(1)), pp. 35-38.* (In Russian).
5. Burian, Yu. A., Kvasov, I. N., & Sorokin, V. N. (2020). *K voprosu o vybore skvazhinogo generatora uprugih voln dlja tehnologii vybrosejsmicheskogo vozdejstvija na neftegazovye zalezhi. Problemy mashinovedenija: materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, March, 17-19, 2020. Omsk, OmGTU Publ., pp. 37-44.* (In Russian).
6. Dyblenko, V. P., Marchukov, E. Yu., Zhdanov, V. I., Kamalov, R. N., & Tufanov, I. A. *Sposob vozbuзhdenija kolebanij potoka zhidkosti i gidrodinamicheskij generator kolebanij. Pat. RF 2144440 C1. No. 98116022/28. Applied: 24.08.98. Published: 20.01.00.* (In Russian).
7. Dyblenko, V. P., Komalov, 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).
8. Zhdanov, V. I. (2007). *Avtokolebanija v zhidkostnyh centrebeznyh forsunkah*. Moscow, MAI-Print Publ., 203 p. (In Russian).

9. 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).
10. Avduevskij, V. S., Ganiev, R. F., Kalashnikov, G. A., Kostrov, S. A., & Mufazalov, R. Sh. Gidrodinamicheskij generator kolebanij. Pat RF 2015749 C1. No. 5003508/29. Applied: 04.10.91. Published: 15.07.94. (In Russian).
11. Andriasov, R. S., Mischenko, I. T., Petrov, A. I., Molchanov, A. G., & Gimatudinov, Sh. K. (Eds.) (1983). Spravochnoe rukovodstvo po proektirovaniju razrabotki i jekspluatacii neftjanyh mestorozhdenij: Dobycha nefti. Moscow, Nedra Publ., 455 p. (In Russian).
12. Gadiev, S. M., Rabinovich, E. Z., & Karandasheva, V. M. (1981). Vlijanie vibracii na reologicheskie svojstva zhidkostej. Azerbaydzhanskoe neftyanoe khozyaystvo, (1), pp. 43-46. (In Russian).
13. Voronov, A. A. (ed.) (1977). Teoriya avtomaticheskogo upravlenija. Moscow, Vysshaya shkola Publ. (In Russian).
14. Grekov, S. V. (2005). Issledovanie gidravlicheskogo kanala svyazi teletricheskoy sistemy kontrolja zaboynih parametrov v processe burenija. Oilfield Engineering, (1). (In Russian). Available at: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Grekov/Grekov_2.pdf
15. Tehnologija vibrovolnovogo vozdejstvija na prizabojnuju zonu skvazhin kak jeffektivnyj sposob povyshenija produktivnosti plastov. (In Russian). Available at: http://knowledge.allbest.ru/manufacture/3c0b65625b2ad78a4d53a88421206d37_0.html
16. Kuznetsov, O. L., & Efimova, S. A. (1983). Primenenie ul'trazvuka v neftjanoy promyshlennosti. Moscow, Nedra Publ., 192 p. (In Russian).
17. White, J. E. (1983). Underground sound: application of seismic waves. Amsterdam, Elsevier. (In English).
18. Chichinin, I. S. (2015). Pile-supported seismic-wave generator. Geology and mineral resources of Siberia, (1), pp. 86-92. (In Russian).
19. Popov, A. A. (1990). Udarnoe vozdejstvie na prizabojnuju zonu skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 157 p. (In Russian).
20. Popov, D. N. (1987). Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem. Moscow, Mashinostroenie Publ., 464 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Квасов Игорь Николаевич, к. э. н., профессор кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, Омский государственный технический университет, г. Омск

Фетисов Кирилл Юрьевич, инженер отдела комплексного проектирования ПАО «ОНХП», аспирант, Омский государственный технический университет, г. Омск

Александров Михаил Алексеевич, к. т. н., доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: aleksandrovma@tyuiu.ru

Гладенко Алексей Анатольевич, д. т. н., профессор кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Igor N. Kvasov, Candidate of Economics, Professor at the Department of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology, Omsk State Technical University

Kirill Yu. Fetisov, Engineer of the Integrated Design Department, ONHP (OmskNefteHimProect) PJSC, Postgraduate, Omsk State Technical University

Michael A. Aleksandrov, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen, e-mail: aleksandrovma@tyuiu.ru

Aleksey A. Gladenko, Doctor of Engineering, Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen