

## **РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВОГО ЭЛЕМЕНТА СКВАЖИННОГО ВИБРОИСТОЧНИКА**

*Алексей Олегович Кордубайло*

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, младший научный сотрудник отдела горной и строительной геотехники, тел. (953)762-70-59, e-mail: Kordubaylo\_ao@mail.ru

*Борис Феранпонтович Симонов*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела горной и строительной геотехники, тел. (913)891-34-00, e-mail: Simonov\_BF@mail.ru

*Юрий Андреевич Пронькин*

ООО «ДЕЛЬТА Инвестмент» 109004, Россия, г. Москва, ул. Николаямская, 49, стр. 1, конструктор, тел. (913)691-70-48, e-mail: Pronckin-yuri@yandex.ru

Потребность нефтегазовой отрасли в увеличении добычи углеводородов из месторождений способствует развитию наукоёмких методов увеличения нефтеотдачи. К таким методам относится виброволновое воздействие на продуктивный пласт, которое наиболее эффективно можно осуществить с помощью скважинных сейсмических источников. В работе представлены результаты исследования силового элемента скважинного электромагнитно-импульсного виброисточника. Цели работы – исследование статических и динамических деформаций обсадной трубы, определение величин импульсов давления в модернизированном силовом элементе при его работе с электромагнитным ударным узлом. Экспериментально определены величины статической и динамической деформаций обсадной трубы под действием распорной силы, которые находятся в упругой зоне и составляют до 1 мм в статике и от 0,35 до 0,6 мм в импульсе. В результате испытаний опытного образца виброисточника получена зависимость величины импульса давления в силовом элементе от напряжения питания ударного узла при постоянном давлении предварительной подкачки равном 20 МПа. Амплитуда импульсов увеличивается пропорционально напряжению питания ударного узла в диапазоне от 14,2 до 19,7 МПа. Эксперименты с увеличением давления подкачки в интервале от 20 до 27 МПа показали, что отношение величины импульса к давлению подкачки линейно уменьшается при равном напряжении питания ударного узла. Полученные результаты являются научной основой проектирования устройств типа силовых элементов, предназначенных для работы режиме передачи импульсных воздействий.

**Ключевые слова:** скважинный виброисточник, вибровоздействие, силовой элемент, распорная сила, деформация трубы, импульс давления.

## **WORKING PARAMETERS OF LOAD-BEARING ELEMENT OF HOLE VIBRATION SOURCE**

*Aleksey O. Kordubaylo*

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Junior Researcher, Mining and Construction GeoEquipment Department, phone: (953)762-70-59, e-mail: Kordubaylo\_ao@mail.ru

***Boris F. Simonov***

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Lead Researcher, Mining and Construction GeoEquipment Department, phone: (913)891-34-00, e-mail: Simonov\_BF@mail.ru

***Yuri A. Pronkin***

Company DELTA Investment, 49, building 1, Nikoloyamskaya St., Moscow, 109004, Russia, Design Engineer, phone: (913)691-70-48, e-mail: Pronckin-yuri@yandex.ru

Requirement of oil and gas industry in increasing of rate of hydrocarbon extraction from deposits contributes to development of science-based methods of oil production increasing. Vibrowave impact to productive seam is related to such methods. This impact can be effectively carried out with hole seismic signal sources. In the work results of study of load-bearing element of hole electro-magnetic pulse source are represented. Objective of the work is the study of static and dynamic strains of casing pipe, determination of values of pressure pulses at modified load-bearing element during its work with electro-magnetic striking center. Values of static and dynamic strains of casing pipe under the action of thrust force are experimentally determined. The values are located in flexible zone and make 1mm at the static load and from 0.35 up to 0.6mm at the pulse load. As the results of tests of vibration source prototype, dependence of pulse pressure value at load-bearing element on voltage of striking center supply under the pressure of preliminary pumping 20MPa is obtained. Pulse amplitude raises proportionally voltage in the range from 14.2 MPa up to 19.7 MPa. Experiments with increasing of pumping pressure in the range from 20 MPa up to 27 MPa have shown that ratio of pulse value to pumping pressure linearly reduces when voltage of striking center supply is constant. Obtained results are scientific basic for designing of load-bearing elements destined for work at pulse impact transfer mode.

**Key words:** hole vibration source, vibration impact, load-bearing element, thrust force, strains of casing pipe, pressure pulse.

### ***Введение***

Одной из ключевых проблем современной нефтедобывающей промышленности является переход основных месторождений на поздние стадии разработки. Этот процесс сопровождается снижением дебита фонда добывающих скважин, нарушением гидродинамической связи скважины с пластовой системой, ростом обводнённости продукции и другими негативными явлениями [1-5]. При этом большая часть углеводородов остаётся в коллекторах в виде плёнок на стенках капилляров и трещин, зацементированных в породе скоплениями, а также в виде насыщенных участков коллектора, обтекаемых со всех сторон вытесняющим агентом. Традиционные технологии нефтедобычи, применяемые на месторождениях, не позволяют вовлекать в разработку указанные виды остаточной нефти. В связи с этим всё большее распространение и развитие получают различные методы увеличения нефтеотдачи (МУН), среди которых большие перспективы имеет способ волнового воздействия на пласт [6-9]. Теоретическое обоснование эффективности виброволнового воздействия на нефтяные пласты, а также результаты широкого комплекса опытно-промышленных работ по волновой обработке пластов нефтегазовых месторождений мощными поверхностными гармоническими виброисточниками приведены в [6]. Однако, большая стоимость данных источников, затраты энергии при

эксплуатации таких установок и высокая степень затухания волн в толще горных пород, отделяющих продуктивные горизонты от дневной поверхности, ограничивают их применение. Перечисленных недостатков лишён метод вибровоздействия на горные породы скважинными источниками упругих колебаний. При опытно-промышленных испытаниях некоторых из них отмечается устойчивый рост объёмов добычи, снижение содержания воды в скважинной жидкости, улучшение приёмистости нагнетательных скважин и другие положительные эффекты [10-13].

Анализ существующих технических решений в области скважинной вибротехники, различной по принципу действия и эксплуатационным параметрам показывает, что на сегодняшний день нет общепринятой, универсальной для всех нефтяных месторождений концепции скважинного сейсмического источника. В этой связи не снижается актуальность разработки новых, более энергоэффективных, надёжных, безопасных и универсальных устройств.

Перспективным техническим решением является скважинный виброисточник [14], включающий электромагнитный ударный узел, который весьма подробно исследован в работах [15-18] и гидравлический силовой элемент (далее СЭ) [19,20]. ЭУУ представляет собой электромагнитный молот двойного действия, боёк которого импульсно воздействует на СЭ. СЭ включает резиновую диафрагму, в которую под давлением закачивается рабочая жидкость. Диафрагма расширяется и через специальные раздвижные элементы создаёт упор в стенки скважины. При воздействии бойка ЭУУ на жидкость в камере СЭ возникнет импульс гидравлического давления, который через раздвижные элементы передаётся в породу в виде сейсмического сигнала.

Первые исследования СЭ в условиях динамической работы выявили необходимость модернизации конструкции, которая заключается в уменьшении длины активной части резиновой диафрагмы и увеличении хода плунжера. В настоящей работе представлены результаты исследования нового СЭ, которые являются научной основой проектирования устройств типа СЭ, предназначенных для преобразования ударных воздействий в сейсмический сигнал.

Цели работы:

- Исследование статических и динамических деформаций обсадной трубы под действием распорной силы силового элемента;
- Исследование импульсов давления в силовом элементе при его работе с электромагнитным ударным узлом.

### ***Методы и материалы***

Для выполнения целей работы разработан и изготовлен стенд (рис. 1).

Стенд состоит из стойки 1, с которой жёстко связан рамами 2 и 3 опытный образец электромагнитного ударного узла 4 (далее ЭУУ). Боёк 5 ЭУУ в начальном положении опёрт на плунжер 6 СЭ 7. СЭ 7 установлен на опоре 8 в трубе 9 диаметром 122 мм с толщиной стенки 9 мм и через коллектор 10 имеет гидравлическую связь с ручным плунжерным насосом 11 и датчиком давления 12.

Сигнал с датчика давления 12 поступает на осциллограф 13. На наружной поверхности трубы 9 установлены три датчика деформации 14,15,16. Причём датчики 14 и 16 расположены по оси раздвижения пуансонов 17, а датчик 15 в перпендикулярной плоскости.

Статические деформации трубы 9 измерялись при увеличении давления от 5 до 40 МПа с шагом 5 МПа.

Динамические деформации трубы 9 под действием импульсов давления в СЭ, а так же величины этих импульсов измерены при работе ЭУУ с двумя типами бойков массой 14 кг и 19 кг.

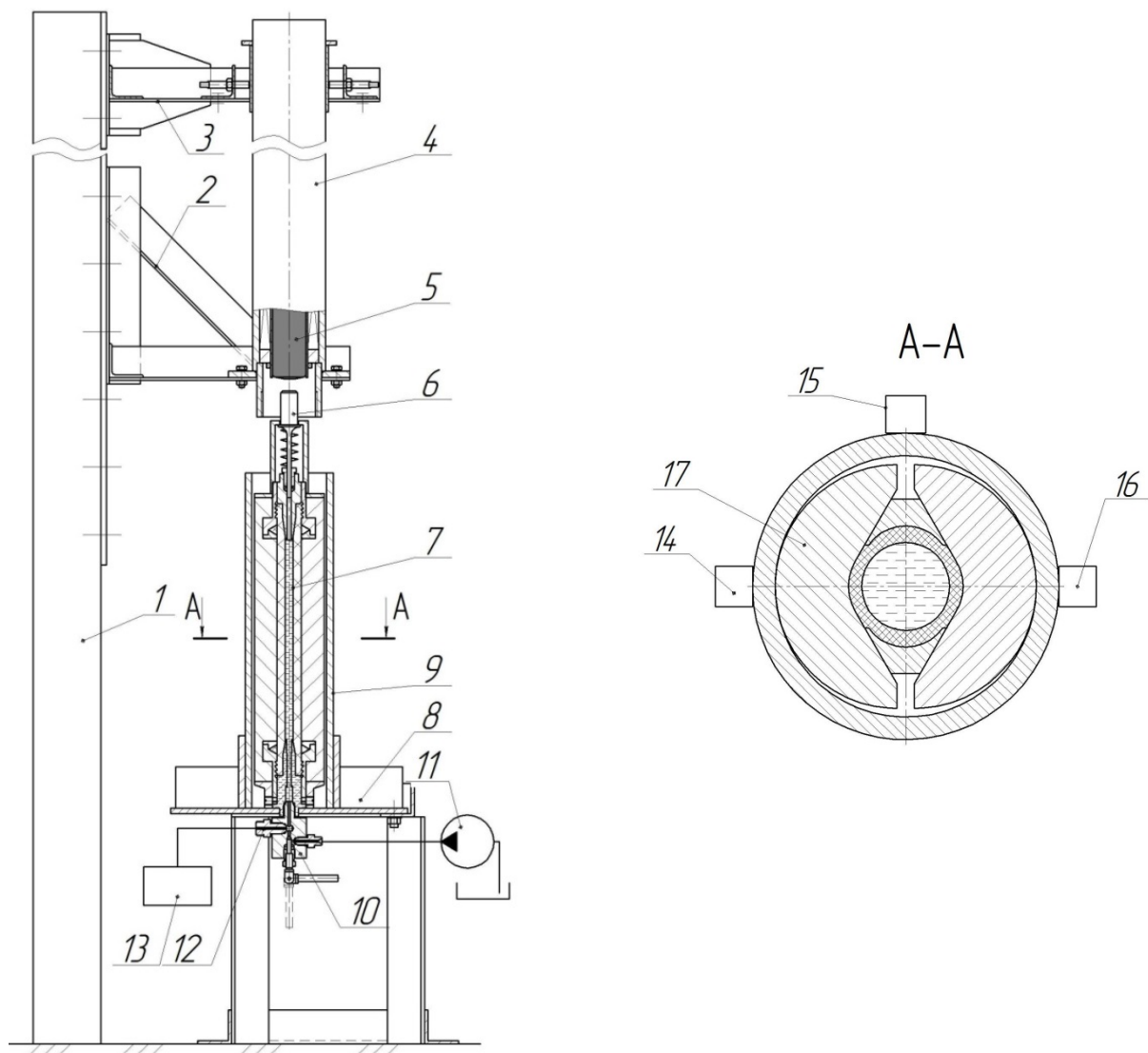


Рис. 1. Стенд для исследования рабочих характеристик СЭ

### *Результаты*

Результаты измерения статических деформаций фрагмента трубы под действием распорной силы СЭ (рис. 2).

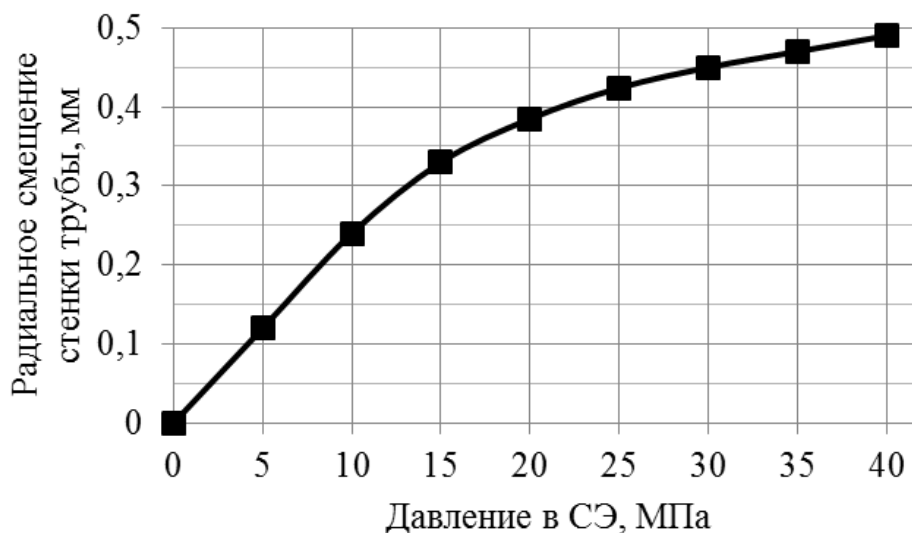


Рис. 2. Зависимость радиальной деформации трубы от статического давления в СЭ

Из полученных результатов следует:

- максимальная деформация диаметра главной оси эллипса не более 1 мм при давлениях в СЭ до 40 МПа;
- деформация трубы упругая (после снятия нагрузки происходит полное возвращение в исходный размер).

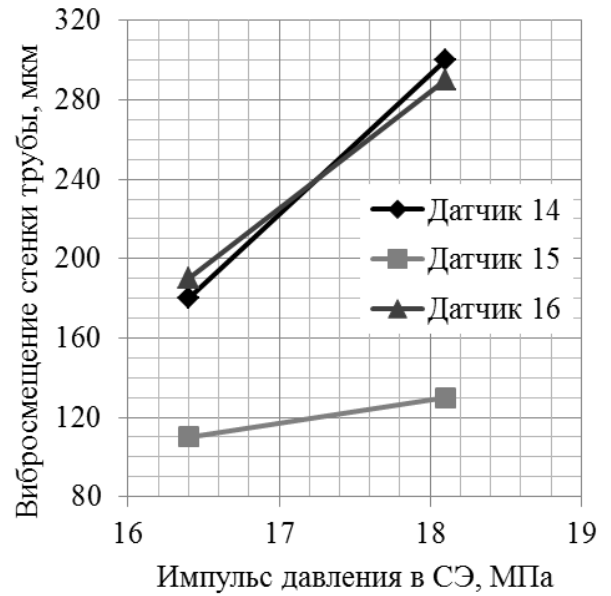
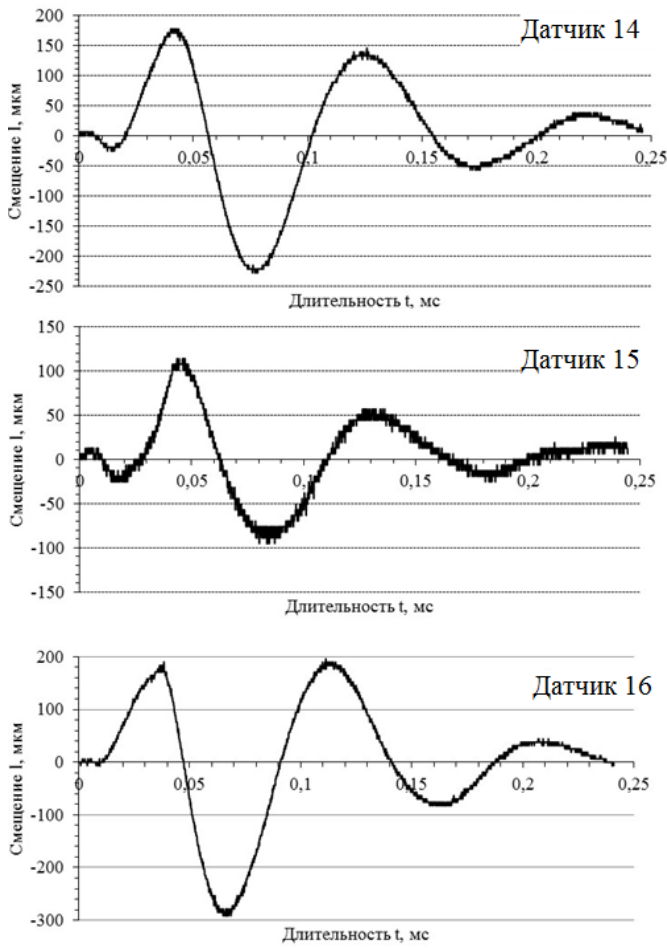
Результатами исследования динамических деформаций трубы являются осциллограммы с датчиков 14, 15, 16. Для примера представлены осциллограммы при работе ЭУУ на напряжении питания 80 В с бойком 14 кг и энергией удара 160 Дж (рис. 3, а). При этом в СЭ возникает импульс давления 16,4 МПа. Зависимостей амплитуд вибро смещений от импульса давления в СЭ для двух режимов работы ЭУУ представлена на рис. 3, б.

По полученным результатам можно сделать выводы, что:

- диаметральные деформации обсадной трубы в направлении действия распорной силы в диапазоне рабочих энергий удара ЭУУ (160–200 Дж) составляет 350–600 мкм;
- деформация трубы в плоскости перпендикулярной распорной силе в 1,5–2,5 раза меньше.

Результатом исследования динамических процессов в СЭ стали два ряда зависимостей:

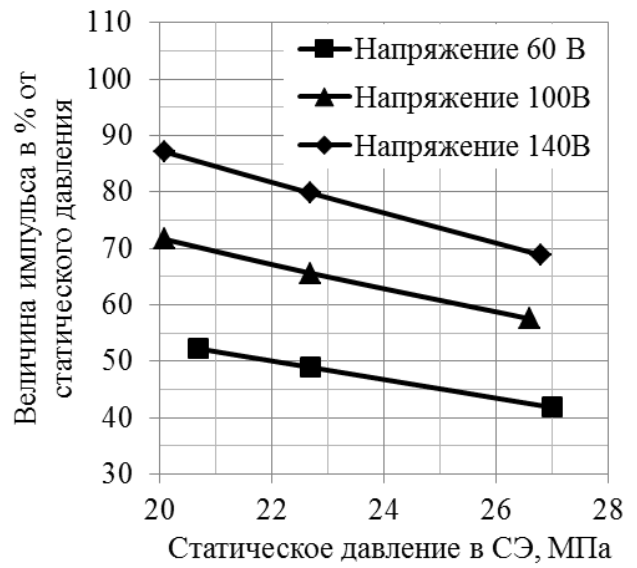
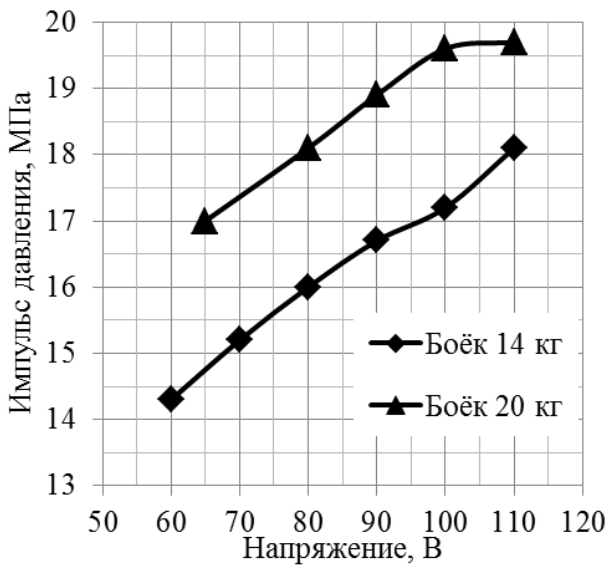
1. Зависимости амплитуды импульса в СЭ при работе ЭУУ с бойками 14 и 19 кг от напряжения питания катушек ЭУУ (рис. 4, а);
2. Зависимости отношения величины импульса давления к уровню статического давления от статического давления для разных напряжений питания ЭУУ (рис. 4, б).



а)

б)

Рис. 3. Результаты исследования динамических деформаций



а)

б)

Рис. 4. Результаты исследования динамических процессов в СЭ

Из анализа результатов следует:

- с увеличением напряжения питания ЭУУ от 60 до 110 В импульс давления пропорционально увеличивается в пределах 14,3–18,1 МПа для бойка 14 кг и 17–19,7 МПа для бойка 19 кг;
- импульс давления не увеличивается больше отметки 19,7 МПа;
- с увеличением давления предварительной подкачки от 20 до 27 МПа отношение амплитуды импульса к статическому давлению линейно уменьшается для любых напряжений питания ЭУУ.

### ***Обсуждение***

Важным результатом модернизации СЭ является то, что деформация обсадной трубы находится в упругой зоне. Это обеспечивает сохранность эксплуатационной колонны обсаженной скважины при работе виброисточника.

Исследование динамических деформаций обсадной трубы под действием импульсов давления в СЭ выявило неодинаковость амплитуд вибросмещений в плоскости действия распорной силы и в перпендикулярной плоскости. Из этих результатов следует необходимость чёткой угловой ориентации виброисточника в скважине для достижения максимальной эффективности вибровоздействия на локальные участки коллектора.

При испытаниях СЭ с ЭУУ установлено, что амплитуда импульсов достигает от 14,3 до 19,7 МПа. При этом наличие экстремума в функции импульса от напряжения питания ЭУУ для бойка 19 кг на уровне 19,7 МПа объясняется ограниченным ходом плунжера СЭ. Т.е. имеется конструктивная возможность его увеличения.

Установленная зависимость отношения величины импульса к статическому давлению от уровня статического давления позволяет сделать вывод, что давление предварительной подкачки в СЭ следует задавать не более 20 МПа.

Дальнейшие исследования СЭ должны быть направлены на изучение влияния импульсного воздействия на цементный камень обсаженных скважин, т.к. при работе виброисточника не допускается нарушение герметичности обсадной колонны.

### ***Заключение***

Результаты, достигнутые в настоящей работе, имеют большую научную и практическую значимость. Авторам удалось адаптировать силовой элемент (СЭ) к эксплуатации в циклическом импульсном режиме совместно с электромагнитным ударным узлом, при этом на физической модели выявлены технические характеристики СЭ и оптимальные режимы работы. Перечисленные достижения должны быть положены в основу проектирования опытно-промышленного образца СЭ для скважинного виброисточника.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дыбленко В.П., Марчуков Е.Ю., Туфанов И.А. и др. Волновые технологии и их использование при разработке месторождений нефти с рудноизвлекаемыми запасами. – М.: РЕАН, 2012. – 344 с.
2. Гайфуллина М.М., Маков В.М. Оценка развития нефтеперерабатывающего сектора Российской Федерации // Нефтегазовое дело. – 2016. – №4. – С.208-214.
3. Голф-Рфхт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. – М.: Недра, 1986. – 608 с.
4. Oparin V.N., Simonov B.F. Nonlinear deformation-wave processes in the vibrational oil geotechnologies // J. of Mining Science. – 2010. – Vol. 46, №2. – P. 95-112.
5. Симонов Б.Ф., Чередников Е.Н., Сердюков С.В. и др. Технология объёмного волнового воздействия на нефтегазовые залежи для повышения углеводородоотдачи пластов // Нефтяное хозяйство. – 1998. – №4. – С.42-44.
6. Опарин В.Н., Симонов Б.Ф., Юшкин В.Ф. и др. Геомеханические и технические основы увеличения нефтеотдачи пластов в виброволновых технологиях. – Новосибирск: Наука, 2010. – 404 с.
7. Симкин Э.М., Кузнецов О.Л., Чилингар Дж. Физические основы вибрационного и акустического воздействия на нефтегазовые пласты. – М.: Мир, 2001. – 260 с.
8. Опарин В.Н., Симонов Б.Ф. О нелинейных деформационно-волновых процессах в вибрационных геотехнологиях освоения нефтегазовых месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2010. – № 2. – С. 3-25.
9. Белоненко В.Н., Павлов Н.В., Машуров А.Д. и др. Результаты применения вибросейсмической технологии на Суторминском месторождении // Нефтепромысловое дело. – 2000. – № 8. – С. 18-22.
10. Карманов Т.Д., Калиев Б.З. Нугуманов К.К. Виброволновое воздействие на призабойную зону пласта // Oil & gas journal Russia. – 2013. – № 10. – С. 40-43.
11. Сулушаш К.К. Исследование применения виброакустического метода воздействия на призабойную зону пласта // Современные тенденции технических наук: сб. тр. науч.-практич. конф. Казань, Бук, 2014. – С. 94–97.
12. Савченко А.В. Сравнительный анализ волновых методов увеличения нефтеотдачи // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2006. – №3 – С.63-75.
13. Каракетов А.В. Совершенствование установки ударного внутрискважинного вибросейсмического воздействия на залежь.: Автореф. дис. канд. техн. наук (05.02.13). – Уфа, 2017. – 24 с.
14. Пат. 2642199 РФ, МПК E21B 43/25 (2006.01), E21B 28/00 (2006.01). Скважинный сейсмоисточник / Симонов Б.Ф., Погарский Ю.В., Кордубайло А.О., Лебедев Ю.А.; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество "Силэн Сейсмоимпульс", № 2017113517; заявл. 19.04.2017 // Опубл. 24.01.2018 Бюл. №3. – 10 с.
15. Симонов Б.Ф., Нейман В.Ю., Шабанов А.С. Импульсный линейный электромагнитный привод для скважинного виброисточника // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – №1. – С. 118-126.
16. Симонов Б.Ф., Кордубайло А.О., Нейман В.Ю., Полищук А.Е. Рабочие процессы в импульсном линейном электромагнитном приводе скважинного виброисточника // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – №1. – С. 71-78.
17. Simonov B.F., Neyman V.Yu., Kordubailo A.O. Optimization of Vibratory Source Electromagnetic Drive Operating Process // 19th International Conference of Young Specialist on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2018. – P. 759-762
18. Simonov, B.F., Kordubailo, A.O., Neiman, V.Y., Polishchuk, A.E. Processes in Linear Pulse Electromagnetic Motors of Downhole Vibration Generators // Journal of Mining Science. – 2018. – Vol. 54, №1. – P. 61-68.



19. Пат. 114677 РФ, МПК В66F 3/24 (2006.01). Гидрораскалывающее устройство / Лебедев Ю.А.; заявитель и патентообладатель Лебедев Ю.А., № 2011137190/11; заявл. 09.09.2011 // Оpubл. 10.04.2012 Бюл. №10. – 11 с.

20. Пат. 154557 РФ, МПК E21C 37/10 (2006.01). Гидрораскалывающее устройство / Лебедев Ю.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Силэн Супер-гидравлика", № 2014150974/03; заявл. 17.12.2014 // Оpubл. 27.08.2015 Бюл. №24. – 12 с.

© *А. О. Кордубайло, Б. Ф. Симонов, Ю. А. Пронькин, 2019*