

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОРАСКАЛЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

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

В работе обоснована актуальность создания скважинных электроприводных импульсных сейсмических источников для обработки продуктивных коллекторов нефтегазовых месторождений с целью интенсификации выработки углеводородов. Приведены результаты исследования узла передачи ударных импульсов на эксплуатационную колонну скважины, в качестве которого использовано гидрораскалывающее устройство. Работа выполнена в целях: установления зависимости распорной силы пуансонов раскалывающего устройства от статического давления рабочей жидкости в камере, выявления оптимальных величин гидростатического давления для обеспечения максимальных импульсов давления в камере. Получена аналитическая зависимость распорной силы от давления в камере. Методом численного моделирования определены величины статической деформации фрагмента трубы диаметром 122 мм и толщиной стенки 9 мм под действием расчётной распорной силы. Экспериментально исследованы деформации фрагмента такой же трубы под действием распорной силы опытного образца устройства. Установлено, что при давлении в камере до 10 МПа деформация трубы по оси действия силы упругая до 1 мм. При этом сходимость результатов физического и численного моделирования в пределах 10%. С дальнейшим увеличением давления до 40 МПа деформация упруго-пластическая до 2,2 мм. Методом физического моделирования установлено, что импульсы давления в гидрораскалывающем устройстве достигают максимальных значений (до 12 МПа) при величинах предварительного статического давления в интервале от 17 до 21 МПа. При этом увеличение энергии удара по плунжеру свыше 180 Дж несущественно влияет на величину импульса давления. Ранее устройства такого типа не исследовались и не применялись в динамических режимах работы. В работе сформулированы рекомендации по изменению конструкции гидрораскалывателя, для улучшения его динамических характеристик.

Ключевые слова: гидрораскалыватель, силовой элемент, вибровоздействие, распорная сила, деформация трубы, импульс давления.

STUDY OF STATIC AND DYNAMIC PARAMETERS OF HYDROCLEAVING DEVICE

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., Leading 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

In the work current importance of creation of hole electro driven pulse seismic sources for treatment of productive collectors of oil and gas deposit in order to hydrocarbons extraction intensification is justified. Study results of transfer center of strike pulses to extracting column are represented. The center is represented with hydrocleaving device. Objectives of the work are: establishing of dependences of plunger dies thrust force of hydrocleaving device on static pressure of working liquid in chamber, discovering of optimal values of hydrostatic pressure for provision of maximal pressure pulses in the chamber. Analytical dependence of thrust force on pressure in the chamber is obtained. Values of static strain of pipe fragment with diameter 122mm and wall thickness 9 mm under action of calculated thrust force are determined by methods of numerical simulations. Strains of fragment of the same pipe are experimentally studied under action of prototype thrust force. It is established that at pressure in the chamber up to 10MPa pipe strain at action axis is elastic up to 1mm. Repeatability of physical and numerical measurements is within 10%. With further increasing of the pressure up to 40 MPa the strain is elastic plastic up to 2.2mm. Using the method of physical simulation, it is established that pressure pulses in hydrocleaving device reach maximal values (up to 12 MPa) when values of preliminary static pressure are from 17 MPa up to 21MPa. However, increasing of strike energy above 180 J do not influence on value of pulse pressure significantly. Previously the devices of such type were not studied and were not applied in dynamic working modes. In the work recommendations for construction change of hydrocleaver for improvement of its dynamic parameters are formulated.

Key words: hydrocleaver, load-bearing element, vibration impact, thrust force, pipe strain, pressure pulse.

Введение

Вследствие ухудшения структур запасов углеводородов на существующих нефтегазовых промыслах и больших экономических затрат на освоение новых месторождений всё большую актуальность приобретают наукоёмкие технологии, способные повысить степень извлечения углеводородов из продуктивных пластов [1-4]. Одним из перспективных методов повышения нефтеотдачи является метод объёмной волновой обработки залежи. Причём для достижения наибольшей энергоэффективности вибровоздействия рационально устанавливать

генератор упругих колебаний в скважине на глубине залегания обрабатываемого пласта [5-8].

К настоящему времени известно множество технических решений для осуществления волновой обработки нефтяных коллекторов из скважины. Устройства отличаются по типу привода, амплитудно-частотным характеристикам, по объекту воздействия [2,9-13]. Под объектом воздействия понимается фазовая составляющая коллектора, жидкая или твёрдая, непосредственно на которую воздействует источник. При этом в устройствах, предназначенных для излучения волн в твёрдую структуру пласта, принципиальную важность имеют конструктивные и эксплуатационные характеристики узлов механического контакта с эксплуатационной колонной скважины. Разработка новых и модернизация известных технических решений для крепления виброисточников в скважине и передачи сигналов на обсадную колонну является актуальным научно-техническим направлением.

В Институте горного дела СО РАН ведутся работы по созданию скважинного виброисточника, в котором генератором ударных импульсов является электромагнитный молот. Теоретическая возможность и перспективность такого решения обоснована в работах [14-16]. При этом важной проблемой является способ передачи создаваемого импульса на обсадную трубу. В качестве возможного решения было рассмотрено гидравлическое раскалывающее устройство [17,18], предназначенное для раскола массивных монолитных каменных блоков и т.д. путём создания в них направленных трещин из технологических скважин. Устройства такого типа содержат резиновую диафрагму, в которую под давлением закачивается рабочая жидкость. Диафрагма расширяется и через специальные раздвижные элементы создаёт упор в стенки скважины. С ростом давления увеличивается распорная сила до преодоления предела прочности породы на растяжение. Описанный механизм предназначен для создания статических распорных сил. Однако, если на маслonaполненную полость оказать ударное воздействие, в ней возникнет импульс гидравлического давления, который будет передан в породу в виде сейсмического сигнала. Работа раскалывающего устройства в динамическом режиме ранее не исследовалась, что обуславливает научную новизну полученных результатов.

Устройство скважинного виброисточника, работающего на описанном принципе, защищено патентом РФ [19].

Цели работы:

- Установление аналитической зависимости распорной силы пуансонов гидравлического раскалывающего устройства от давления жидкости в камере;
- Выявление оптимальных величин статического давления в камере для обеспечения максимальных импульсов давления.

Методы и материалы

Гидравлическое раскалывающее устройство (далее ГРУ) в поперечном сечении (рис. 1, а) включает эластичную камеру 1, прилегающую по наружному

диаметру к клиньям 2 и пуансонам 3. Внутренняя полость эластичной камеры 1 заполнена маслом и герметична от внешней среды. При нагнетании рабочей жидкости в эластичную камеру 1, последняя расширяется и раздвигает клинья 2 и пуансоны 3. После касания пуансонами стенок обсадной трубы 4 (рис. 1, б) увеличивается давление рабочей жидкости. Указанное давление передаётся через пуансоны 3 на обсадную трубу 4 в виде радиальной распорной силы. Зависимость распорной силы от давления рабочей жидкости и конструктивных параметров ГРУ является его статической характеристикой.

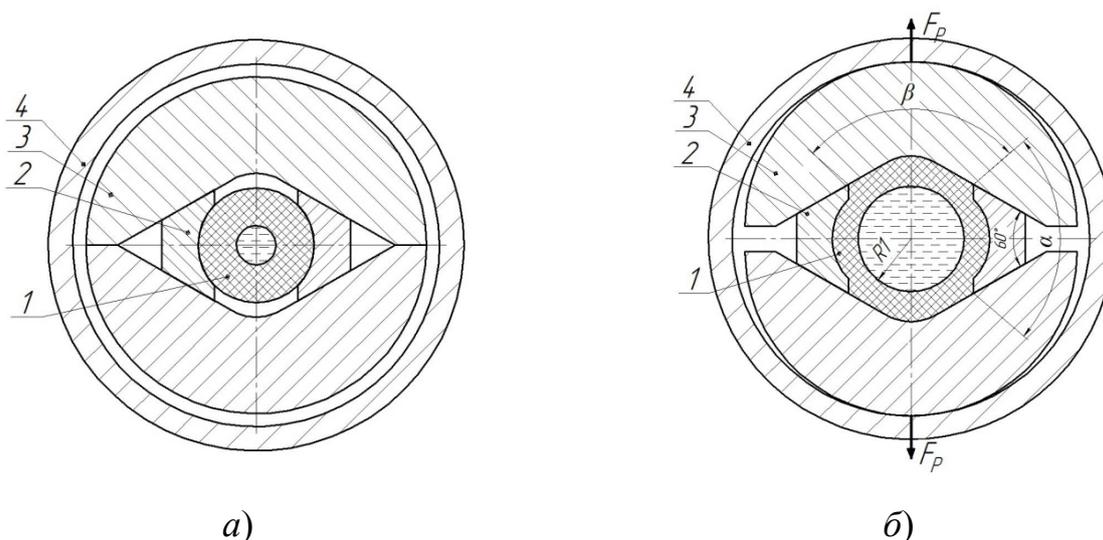


Рис. 1. Поперечное сечение ГРУ:

а) до закачки рабочей жидкости; б) после закачки рабочей жидкости

Величина действующей на обсадную трубу распорной силы получена в работе [20]:

$$F_p = r_1 l p (0,95 \alpha (1 - 2 f \cos 30) \operatorname{tg} 60 + 0,92 \beta), \quad (1)$$

где r_1 – внутренний диаметр эластичной камеры; l – длина контакта эластичной камеры с клиньями и пуансонами; p – давление рабочей жидкости; f – коэффициент трения пары пуансон-клин; α, β – углы контакта камеры с клиньями и пуансонами; 0,95; 0,92 – безразмерные коэффициенты, учитывающие, взаимодействие камеры с клиньями и пуансонами происходит по дуге.

Вследствие трудоёмкости и дороговизны исследования распорной силы путём прямых измерений, за индикаторный параметр выбрана деформация фрагмента обсадной трубы в направлении действия силы.

Исследование деформаций производилось методами численного и физического моделирования. Виртуальная модель (рис. 2, а) представляет собой фрагмент трубы, жёстко закреплённой по торцам, а в средней части нагруженной распределённой по длине контакта распорной силой. Величина распорной силы

определялась по зависимости (1) для разных значений давления и прикладывалась к модели. Для диапазона давлений в ГРУ от 5 до 30 МПа получены карты напряжений и деформаций модели обсадной трубы. Пример карты деформаций (рис. 2, б).

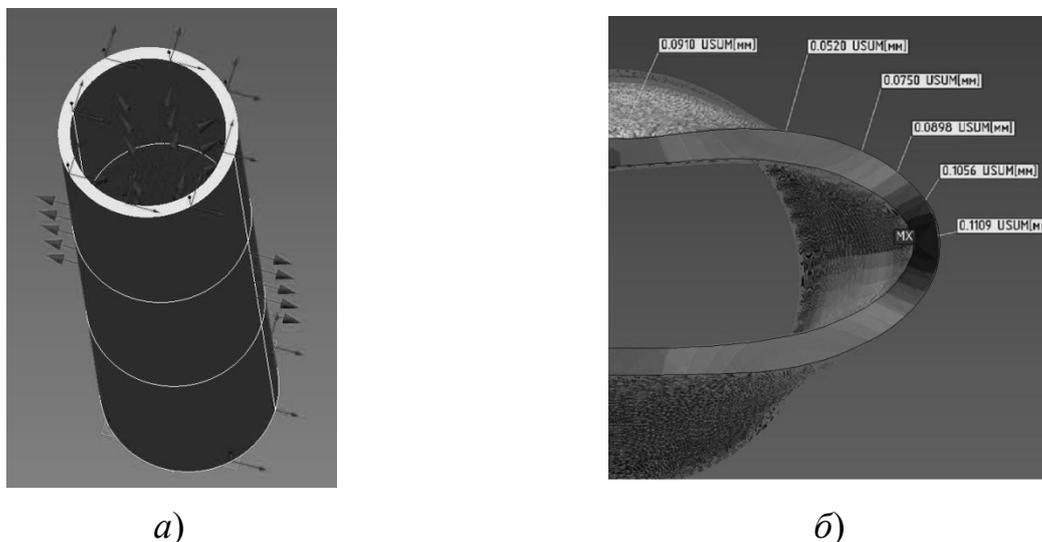


Рис. 2. а) 3D-модель обсадной трубы; б) утрированный вид распределения деформаций по поперечному сечению

По полученным величинам деформации главной оси эллипса построена зависимость «расчёт» на рис. 4.

Для исследования статических и динамических характеристик физической модели ГРУ изготовлен стенд (рис. 3).

Стенд включает стойку 1 с блоком 2. Со стойкой 1 жёстко связана направляющая 3, внутри которой установлен боёк 4 известной массы, подвешенный через блок 2 тросом 5 на высоте H над плунжером 6 ГРУ 7. ГРУ 7 установлен в трубе 8 диаметром 122 мм с толщиной стенки 9 мм на опоре 9. К нижнему ниппелю 10 ГРУ 7 подключен коллектор 11, в котором установлен датчик гидравлического давления 12, связанный с осциллографом 13. К коллектору 11 подключен плунжерный ручной насос 14 со встроенным манометром 15. Коллектор 11 снабжён запорным вентилем 16 для прерывания гидравлической связи ГРУ 7 с насосом 14. К наружной поверхности трубы 8 примыкает чувствительный элемент часового индикатора 17, жёстко установленного на рамке 18.

На стенде измерены статические деформации обсадной трубы для диапазона давлений в ГРУ от 5 до 40 МПа (Рис. 4.) в момент действия силы (кривая «эксперимент») и после снятия нагрузки (кривая «остаточная деформация»).

К динамическим характеристикам ГРУ относится величина амплитуды импульса гидравлического давления рабочей жидкости в эластичной камере. Опыт проводился путём сбрасывания на плунжер ГРУ бойка с известной высоты H при разных предварительных давлениях подкачки в ГРУ.

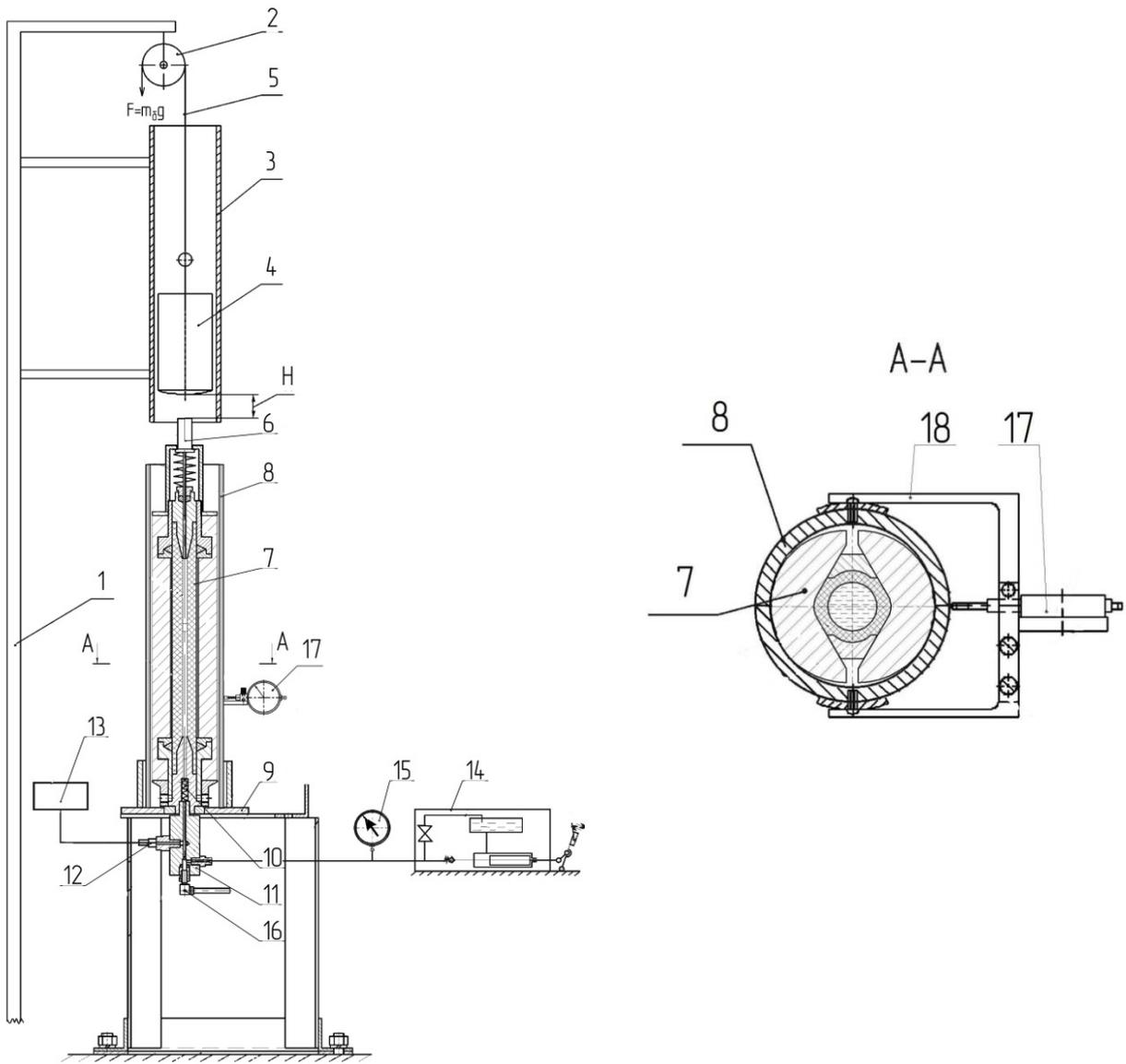


Рис. 3. Стенд для исследования ГРУ

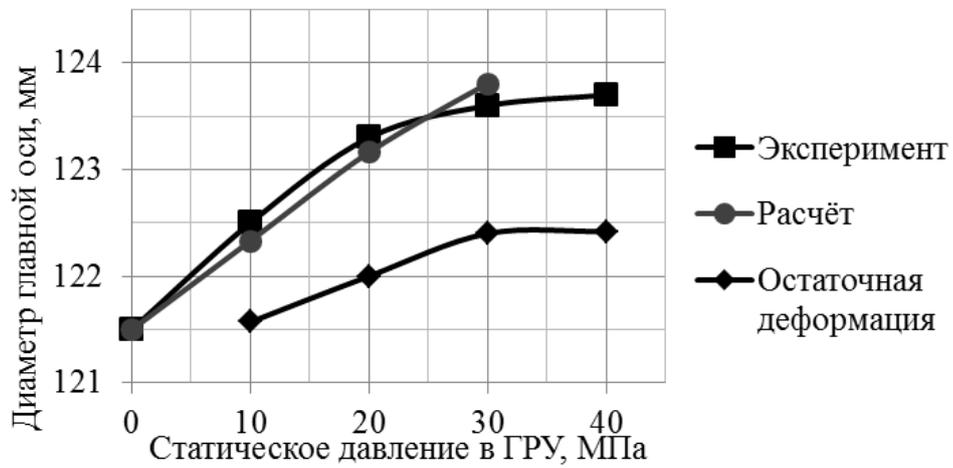


Рис. 4. Деформация обсадной трубы по оси распорной силы

Результаты

Обобщение результатов численного и физического моделирования деформации обсадной трубы под действием распорной силы (рис. 4).

Из анализа графиков следует:

- деформация диаметра физической модели упругая до 1 мм при давлении в ГРУ до 10 МПа, далее упруго-пластическая до 2,2 мм при давлении до 40 МПа.

- сходимость результатов численного и физического моделирования в диапазоне давлений от 0 до 30 МПа в пределах 10 %.

Результаты измерения импульсов давления в ГРУ под действием тарированной энергии удара падающего бойка при разных статических давлениях рабочей жидкости в ГРУ (рис. 5).

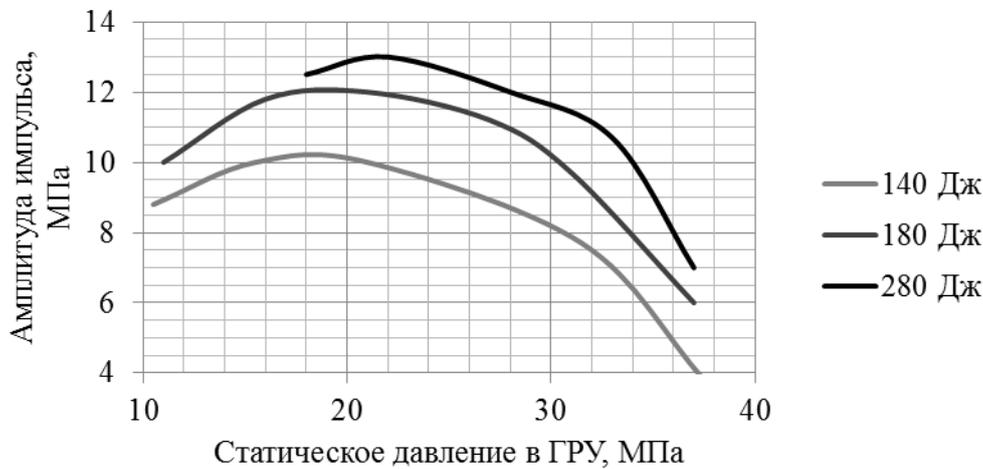


Рис. 5. Зависимость амплитуды импульса от статического давления

Из анализа зависимостей следует:

- амплитуда импульса для всех значений энергии удара увеличивается с ростом статического давления от 10 до 17 МПа, максимальна при давлениях от 17 до 21 МПа, уменьшается при дальнейшем увеличении статического давления.

- с увеличением энергии удара от 140 до 180 Дж (увеличение на 22%) амплитуда импульса в диапазоне статических давлений 17 – 21 МПа увеличивается на 17 – 20 %, а с увеличением энергии от 180 до 280 Дж (увеличение на 56%) в том же диапазоне амплитуда увеличивается на 5 – 8 %.

Обсуждение

Сходимость результатов численного и физического моделирования статической деформации трубы позволяет использовать аналитическую зависимость (1) для проектировочных расчётов устройств типа ГРУ. При этом для ра-

боты в обсаженных скважинах без риска повреждения обсадной колонны распорная сила должна быть уменьшена так, чтобы при давлениях в ГРУ до 30-35 МПа деформации обсадной трубы были упругие.

Исследование динамических процессов в стендовом образце ГРУ показали, что для достижения максимальных гидроимпульсов (до 12 – 13 МПа) следует задавать уровень статического давления в пределах 17 – 21 МПа. При этом увеличивать энергетику ударного узла выше 180 Дж не имеет смысла, т.к. это не влечёт существенного увеличения импульса давления.

Для дальнейших исследований следует уменьшить длину ГРУ. Такое решение должно уменьшить распорную силу и повысить жёсткость упругой системы элементов ГРУ, что увеличит амплитуду импульса.

Заключение

Выполненные исследования являются научной основой создания устройств типа ГРУ, предназначенных для работы в обсаженных скважинах в режиме излучения сейсмических сигналов. Методами численного и физического моделирования установлены оптимальные режимы эксплуатации ГРУ. Выявлены направления модернизации конструкции ГРУ для улучшения его динамических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Гайфуллина М.М., Маков В.М. Оценка развития нефтеперерабатывающего сектора Российской Федерации // Нефтегазовое дело. – 2016. №4. – С.208-214.
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. Симкин Э.М., Кузнецов О.Л., Чилингар Дж. Физические основы вибрационного и акустического воздействия на нефтегазовые пласты. – М.: Мир, 2001. – 260 с.
7. 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.
8. Карманов Т.Д., Калиев Б.З. Нугуманов К.К. Виброволновое воздействие на призабойную зону пласта // Oil & gas journal Russia. – 2013. – № 10. – С. 40-43.
9. Савченко А.В. Сравнительный анализ волновых методов увеличения нефтеотдачи // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2006. – №3 – С.63-75.
10. Каракетов А.В. Совершенствование установки ударного внутрискважинного вибро-сейсмического воздействия на залежь.: Автореф. дис. канд. техн. наук (05.02.13). – Уфа, 2017. – 24 с.

11. Савченко А.В. Совершенствование скважинной технологии гидроимпульсного воздействия на горные породы при добыче полезных ископаемых.: Автореф. дис. канд. техн. наук (05.05.06). – Новосибирск, 2009. – 22 с.
12. Аглиуллин М.М. Техника и технология гидроударно-волнового воздействия на призабойную зону пласта в процессе ремонта скважин в ОАО «Татнефть» [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 1. – С. 166–180. Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>. (Дата обращения: 22.04.2018)
13. Муллакаев М.С., Абрамов В.О., Печков А.А. и др. Ультразвуковая технология повышения продуктивности низкодебитных скважин // Нефтепромысловое дело. – 2012. – № 4. – С. 25-32.
14. 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.
15. 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.
16. 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
17. Пат. 85552 РФ, МПК E21C 37/10 (2006.01). Гидрораскалывающее устройство / Лебедев Ю.А.; заявитель и патентообладатель Лебедев Ю.А., № 2009111922/22; заявл. 01.04.2009 // Опубл. 10.08.2009 Бюл. №22. – 17 с.
18. Пат. 154557 РФ, МПК E21C 37/10 (2006.01). Гидрораскалывающее устройство / Лебедев Ю.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Силэн Супергидравлика", № 2014150974/03; заявл. 17.12.2014 // Опубл. 27.08.2015 Бюл. №24. – 12 с.
19. 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.
20. Кордубайло А.О., Симонов Б.Ф., Погарский Ю.В. К расчёту распорной силы гидравлического силового элемента для скважинного сейсмоисточника // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2016. - №2. – С.98-101.

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