



DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-1-100-112
УДК 621.65-82:622.276

Научная статья / Research article

Аналитический обзор подземного оборудования гидроударного принципа действия для освоения скважин

Е.С. Юшин

Российский университет дружбы народов,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
E-mail: yushin-es@rudn.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 20 января 2021 г.
Доработана: 10 марта 2021 г.
Принята к публикации: 15 марта 2021 г.

Ключевые слова: подземное скважинное оборудование, имплозия, гидрогенератор давления, интенсификация добычи нефти, воздействие на пласт, освоение скважин

Аннотация. Рациональные показатели разработки нефтяных и газовых месторождений связаны с системным поддержанием заданного уровня совершенства вскрытия пластов в призабойных зонах добывающих или нагнетательных скважин. Эта потребность возникает с кольматацией природного коллектора механическими, асфальто-смолистыми и гидратно-парафинистыми частицами, ведущей к снижению продуктивности, приемистости скважин и необходимости проведения восстановления притока методами искусственного воздействия на призабойную зону пласта. Анализ эффективности применения различных методов интенсификации притока пластовой продукции на месторождениях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (по промысловым сведениям) позволил аргументировать успешность использования гидроразрыва пласта, термогазохимического, а также ударно-депресссионного воздействий на призабойную зону пласта. Показана перспектива развития технических средств для ударно-депресссионного (имплозионного) воздействия на призабойную зону пласта, выгодно отличающегося простотой, дешевизной, технологичностью и доступностью. Проанализированы конструкции имплозионных гидрогенераторов давления однократного и многократного действия, определены недостатки технических устройств и намечены пути совершенствования механизмов. Приведены результаты эффективного применения различных скважинных генераторных устройств для повышения продуктивности и приемистости скважин.

Для цитирования

Юшин Е.С. Аналитический обзор подземного оборудования гидроударного принципа действия для освоения скважин // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 1. С. 100–112. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-100-112>

© Юшин Е.С., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Analytical review of underground equipment of water impact operation for well development

Eugeny S. Yushin

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation
E-mail: yushin-es@rudn.ru

Article history

Received: January 20, 2021

Revised: March 10, 2021

Accepted: March 15, 2021

Keywords: underground well equipment, implosion, pressure hydrogenerator, intensification of oil production, impact on the reservoir, well development

For citation

Yushin ES. Analytical review of underground equipment of water impact operation for well development. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(1):100–112. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-100-112>

Введение

В 2018 году доля трудноизвлекаемых запасов углеводородов на территории РФ достигла значения 65 % от общего объема разведанных ресурсов и имеет тенденцию к ежегодному увеличению. Известно, что прирост запасов нефти и газа возможен в случае повышения коэффициента извлечения нефти или за счет открытия новых разведанных месторождений. Однако современное смещение приоритетов в сторону наращивания и освоения трудноизвлекаемых запасов требует применения новых техники и технологий, направленных на повышение эффективности их добычи.

Одним из методов воздействия на призабойную зону с целью интенсификации добычи нефти является метод имплозии. Имплозия является сложным физико-гидродинамическим процессом, научно обоснованное использование которого может стать прорывной технологией в развитии научно-технических методов интенсификации притока. В зависимости от конструк-

Abstract. Rational indicators for the development of oil and gas fields are related to the systemic maintenance of a given level of perfection of formation opening in bottomhole zones of producing or injection wells. This need arises with the colmatation of the natural collector by mechanical, asphalt and tar-paraffinic particles, leading to a decrease in productivity, acceptance of wells and the need to restore the inflow by methods of artificial action on the bottomhole formation zone. Analysis of the effectiveness of the application of various methods of stimulating the flow of reservoir products in the fields of the Timan-Pechora oil and gas province (based on field data) allowed to argue the success of using hydraulic fracturing, thermogas chemical, and shock-depressive effects on the bottomhole formation zone. The prospect of the development of technical means for impact-depressive (implosion) impact on the bottomhole formation zone favorably distinguished by simplicity, cheapness, manufacturability and accessibility is shown. The designs of implosion hydrogenerators of single and multiple pressure are analyzed, shortcomings of technical devices are identified and ways of improving mechanisms are outlined. The results of effective application of various downhole generator devices for increasing productivity and well acceptance are presented.

тивного исполнения устройств, предназначенных для создания эффекта имплозии на призабойную зону пласта, можно обеспечить как ударное, репрессивное, так и депрессионное воздействие [1].

1. Анализ конструкций скважинного имплозионного оборудования

Известно, что имплозионные гидрогенераторы давления конструктивно подразделяются на механизмы однократного и многократного принципа действия. Первые разработанные имплозионные устройства являлись оборудованием однократного гидроимпульсного воздействия, создающим искусственную трещиноватость в породе пласта.

Длительное время обработка скважин выполнялась с помощью устройства (сосуд Севостьянова), конструкция которого включает заглушку-переходник 1 с имплозионной камерой 2, специальную муфту 3

с мембраной 5, поджимной ниппель 6, служащий для замены разрушенной мембраны (рис. 1).

На колонне НКТ 7 устройство спускается в скважину, и его нижняя часть устанавливается напротив интервала обрабатываемого пласта. Далее через устьевую арматуру путем закачки в скважину продавочной жидкости 9 создается давление, разрушающее мембрану 5 (концентратор давления). После разрыва мембраны 5 пластовая жидкость 10, которой заполнена скважина, мгновенно устремляется внутрь имплозионной камеры 2, в результате чего создается разрежение на забое. За счет этой депрессии пластовая жидкость начинает поступать в скважину [1; 2].

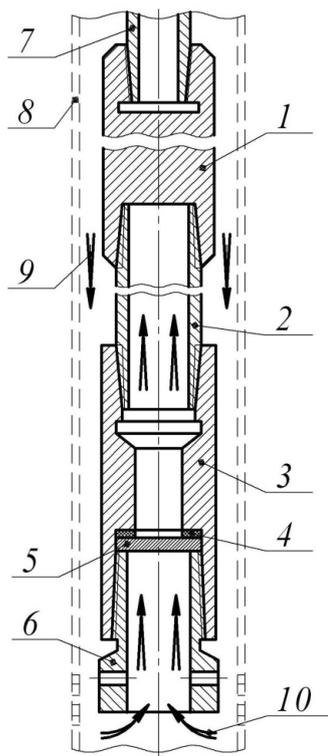


Рис. 1. Конструкция устройства Севостьянова:

1 – заглушка-переходник; 2 – камера имплозионная; 3 – муфта специальная; 4 – прокладка; 5 – мембрана; 6 – ниппель; 7 – НКТ; 8 – колонна эксплуатационная; 9 – жидкость продавочная; 10 – жидкость пластовая

Figure 1. The design of the Sevostyanov device:

1 – plug-adapter; 2 – implosion chamber; 3 – special clutch; 4 – gasket; 5 – membrane; 6 – nipple; 7 – tubing; 8 – production string; 9 – displacement liquid; 10 – reservoir fluid

Несколько иной принцип реализации метода имплозии применен в гидрогенераторе давления ГГД-

ПНН (рис. 2), конструкция которого разрабатывалась в институте «ПечорНИПИнефть».

Гидрогенератор ГГД-ПНН состоит из имплозионной камеры 5, мембраны 4 и плунжера 7 и спускается в скважину на НКТ 1 с расчетом, чтобы середина окон 8 переходника 6 оказалась напротив интервала обрабатываемого пласта. Принцип работы устройства сводится к тому, что повышается давление на устье до 10 МПа за счет закачки в затрубное пространство скважины рабочего агента 9, посредством чего осуществляется разрыв мембраны 4, происходит заполнение средой имплозионной камеры 5 со скоростью потока 100...150 м/с, выталкивание плунжера 7 в ловушку переводника 6 и в конечном итоге создание импульса давления в призабойной зоне пласта, превышающего горное.

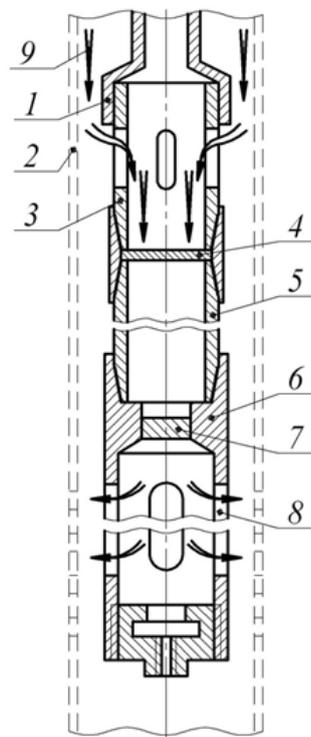


Рис. 2. Гидрогенератор давления конструкции «ПечорНИПИнефть» (ГГД-ПНН):

1 – НКТ; 2 – колонна эксплуатационная; 3 – патрубок направляющий; 4 – мембрана; 5 – камера имплозионная; 6 – переходник; 7 – плунжер; 8 – окна переходника; 9 – агент рабочий

Figure 2. Pressure hydrogenerator designed by PechorNIPIneft (GGD-PNN):

1 – tubing; 2 – production string; 3 – guide pipe; 4 – membrane; 5 – implosion chamber; 6 – adapter; 7 – plunger; 8 – adapter windows; 9 – worker agent

Существенным общим недостатком рассмотренных механизмов, а также других устройств однократного действия является низкая эффективность дренирования призабойной зоны, так как одиночный гидроудар в призабойной зоне не всегда обеспечивает требуемый результат, выражающийся в увеличении притока среды из пласта в скважину. Кроме того, следует отметить и невысокую надежность мембранного узла, а также ограниченную область использования гидрогенераторов (как правило, применяются только при низких пластовых давлениях), а закачка рабочей жидкости по затрубному пространству лимитируется устьевым давлением 10 МПа.

Наиболее перспективным оказалось подземное оборудование многократного принципа действия. Генераторы давления многократного имплозионного воздействия показывают свою эффективность при высоких пластовых давлениях и способны совершать периодически повторяемые гидроимпульсные удары, чем выгодно отличаются от предшествующих механизмов однократной имплозии. Эти гидрогенераторы также представлены в достаточно широком многообразии, поэтому рассмотрим конструктивное исполнение механизмов, нашедших практическое применение за новейший временной период, а также отметим тенденции их развития и обозначим присущие им недостатки.

Одним из таких устройств является разработанный в институте «ПечорНИПИнефть» гидрогене-

ратор ГМКИ для многократной имплозии (рис. 3, табл. 1) с целью повышения производительности добывающих и приемистости нагнетательных скважин.

Генератор ГМКИ состоит из имплозионной камеры 16, верхняя часть 1 которой расширена и выполнена с окнами; плунжера 13, спускаемого в камеру 16 на штанговой колонне; концентраторов давления 4 и 11 с уплотнительными кольцами 2 и подпружинного клапана 8 со штоком 6. В расширенной части камеры 1 окна в виде отверстий предназначены для сообщения трубного и затрубного пространств скважины. С колонной НКТ генератор соединяется с помощью переводника 18.

Подготовленный к работе генератор спускается в скважину на НКТ с расчетом, чтобы окна в корпусе 7 концентраторов давления 4 и 11 устанавливались напротив середины интервала обрабатываемого пласта. На колонне штанг плунжер 13 спускается до нижнего конца имплозионной камеры (до упора в предохранитель — ограничитель переводника). После этого в скважину через НКТ закачивается необходимое количество реагентов и с помощью подъемного агрегата производится подъем плунжера до момента выхода его из нижнего конца в расширенную часть камеры 1, что определяется резким падением нагрузки на подъемник по показаниям индикатора веса.

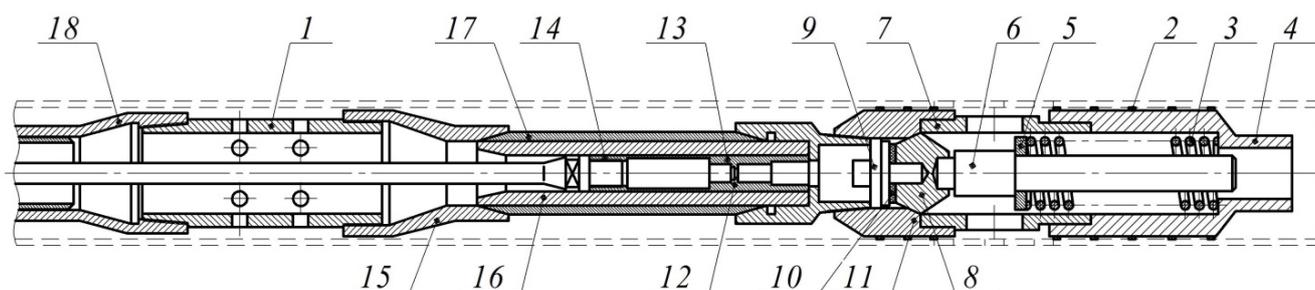


Рис. 3. Гидрогенератор ГМКИ для многократной имплозии:

1 – корпус (расширенная часть имплозионной камеры); 2 – кольцо уплотнительное; 3 – пружина; 4 – концентратор давления; 5 – шайба; 6 – шток; 7 – корпус концентратора; 8 – конус (клапан); 9 – шпилька; 10 – прокладка; 11 – седло клапана; 12 – клапан типа СК1Б-д1Л; 13 – плунжер П2Х; 14 – клетка плунжера; 15, 18 – переводник; 16 – цилиндр (имплозионная камера); 17 – корпус (кожух генератора)

Figure 3. HMKI hydrogenerator for multiple implosion:

1 – body (extended part of the implosion chamber); 2 – sealing ring; 3 – spring; 4 – pressure concentrator; 5 – washer; 6 – stock; 7 – housing of the concentrator; 8 – cone (valve); 9 – hairpin; 10 – gasket; 11 – valve seat; 12 – valve type SK1B-d1L; 13 – plunger P2X; 14 – plunger cage; 15, 18 – sub; 16 – cylinder (implosion chamber); 17 – housing (generator casing)

Таблица 1
Техническая характеристика гидрогенератора ГМКИ для многократной имплозии

Параметр	Значение параметра
Тип генератора	Гидравлический
Принцип действия	Гидравлический удар
Способ установки	С опорой и без опоры на забой
Окружающая среда	Скважинная жидкость, водные растворы ПАВ, углеводородные растворители, соляноглинистые растворы
Минимальный внутренний диаметр эксплуатационной колонны, мм	124
Температура окружающей среды, °С	+100 и более
Максимальная глубина спуска, м	4000
Скорость спуска в скважину, м/с	Не более 0,5
Длина корпуса (нижней части) имплозионной камеры, м	5...10
Максимальный наружный диаметр генератора, мм	121
Импульс создаваемого давления, МПа	40

Table 1
Technical characteristics of the GMKI hydrogenerator for multiple implosion

Parameter	Parameter value
Generator type	Hydraulic
Operating principle	Water hammer
Installation method	With support and without support on the bottom
Environment	Borehole fluid, aqueous surfactant solutions, hydrocarbon solvents, Salt-clay solutions
Minimum inner diameter of production casing, mm	124
Ambient temperature, °C	+100 and more
Maximum descent depth, m	4000
Well descent speed, m/s	No more than 0,5
Length of the body (lower part) of the implosion chamber, m	5...10
Maximum outer diameter of the generator, mm	121
Impulse of generated pressure, MPa	40

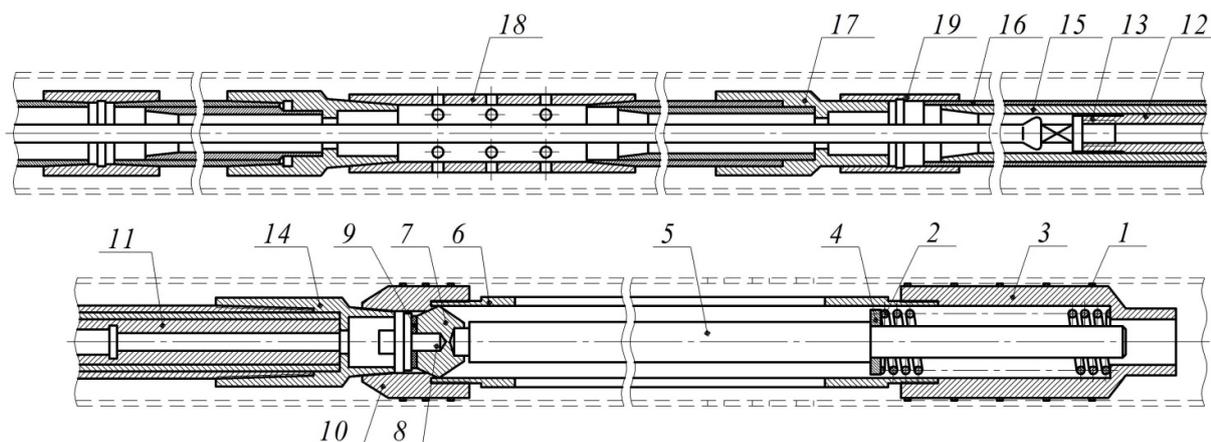


Рис. 4. Гидрогенератор ГМКД для многократной депрессии:

1 – кольцо уплотнительное; 2 – пружина; 3 – концентратор давления; 4 – шайба; 5 – шток; 6 – корпус концентратора; 7 – конус (клапан); 8 – шпилька; 9 – прокладка; 10 – седло клапана; 11 – клапан плунжера; 12 – плунжер П2Х; 13 – клетка плунжера; 14, 17 – переводник; 15 – цилиндр (депресссионная камера); 16 – корпус (кожух генератора) 18 – патрубок перфорированный; 19 – муфта

Figure 4. Hydrogenerator HMKD for multiple depression:

1 – sealing ring; 2 – spring; 3 – pressure concentrator; 4 – washer; 5 – stock; 6 – housing of the concentrator; 7 – cone (valve); 8 – hairpin; 9 – gasket; 10 – valve seat; 11 – plunger valve; 12 – plunger P2X; 13 – plunger cage; 14, 17 – sub; 15 – cylinder (depression chamber); 16 – housing (generator casing) 18 – perforated branch pipe; 19 – clutch

При подъеме плунжера клапан 8 под действием пружины 3 закрывается и в нижней части камеры 16 создается разрежение. С момента выхода плунжера в расширенную часть камеры скважинная жидкость как из НКТ, так и из затрубного пространства скважины с мгновенной скоростью устремляется в нижнюю часть камеры, создавая в призабойной зоне сначала мгновенную депрессию, а затем и гидравлический удар с давлением, превышающим горное. Клапан 8 отжимается, и ударное давление через окна корпуса концентраторов давления передается в призабойную зону пласта.

Другой известной конструкцией института «ПечорНИПИнефть» является гидрогенератор ГМКД для многократной депрессии (рис. 4, табл. 2).

Гидрогенератор ГМКД состоит из депрессионной камеры 15, плунжера 12, перфорированного патрубка 18, пакера, направляющего патрубка, изготовленно-

го из цилиндра, установленного за перфорированным патрубком, и концентраторов давления 3 со смонтированным в корпус 6 пружинным клапаном 7.

Генератор в сборе спускается в скважину на НКТ с пакером с таким расчетом, чтобы перфорированный патрубок 18 установить на 10...15 м выше интервала обрабатываемого пласта, а пакер — на 2...5 м выше перфорированного патрубка 18.

После пакеровки скважины с помощью подъемного агрегата на штангах или на штангах с канатом, соединяемых с помощью специального устройства, спускают плунжер 12 до упора в специальный переводник 14. Далее плунжер поднимают до уровня на 2 метра выше верхнего конца перфорированного патрубка 18. При подъеме плунжера нагнетательный клапан плунжера закрывается, жидкость из депрессионной камеры 15 перемещается в колонну НКТ, в цилиндре создается разрежение. С момента до-

Таблица 2

Техническая характеристика гидрогенератора ГМКД для многократной депрессии

Параметр	Значение параметра
Тип генератора	Гидравлический
Принцип действия	Создание многократных импульсов мгновенных депрессий на пласт
Способ установки	С опорой и без опоры на забой
Окружающая среда	Скважинная жидкость, водные растворы ПАВ, углеводородные растворители, соляноглинистые растворы
Минимальный внутренний диаметр эксплуатационной колонны, мм	124
Температура окружающей среды, °С	До +100
Максимальная глубина спуска, м	4000
Скорость спуска в скважину, м/с	Не более 0,5
Длина корпуса (нижней части) имплозионной камеры, м	10...50
Диаметр депрессионной камеры, мм	28...56
Максимальный наружный диаметр генератора, мм	118
Импульс создаваемого давления, МПа	50

Table 2

Technical characteristics of the hydrogenerator HMKD for multiple depression

Parameter	Parameter value
Generator type	Hydraulic
Operating principle	Creation of multiple pulses of instantaneous drawdowns on the formation
Installation method	With support and without support on the bottom
Environment	Borehole fluid, aqueous surfactant solutions, hydrocarbon solvents, salt-clay solutions
Minimum inner diameter of production casing, mm	124
Ambient temperature, °C	Up to +100
Maximum descent depth, m	4000
Well descent speed, m/s	No more than 0,5
Length of the body (lower part) of the implosion chamber, m	10...50
Depression chamber diameter, mm	28...56
Maximum outer diameter of the generator, mm	118
Impulse of generated pressure, MPa	50

стижения нижнего конца плунжера верхней части перфорированного патрубка скважинная жидкость из подпакерной зоны устремляется в камеру 15, создавая в призабойной зоне мгновенную депрессию. Затем цикл спуска и подъема плунжера повторяется до достижения требуемого результата.

Анализируя основные технические характеристики механизмов института «ПечорНИПИнефть» (табл. 1, табл. 2), можно отметить, что область применения гидрогенератора ГМКД ограничивается температурой +100 °С, поэтому механизм имеет некоторое ограничение по глубине спуска в скважину. Судя по конструктивному исполнению (см. рис. 3, 4), становится ясно, что работа гидрогенераторов ГМКИ и ГМКД в искривленных и наклонно направленных скважинах весьма затруднительна. Кроме того, вызывает сомнение длительность работы устройств без их обслуживания вследствие того, что в них не предусмотрено системы отвода коьматанта после импульсов воздействия, поэтому клапанный и пружинный механизмы гидрогенераторов будут активно наполняться механическими примесями, что при многократном их срабатывании вызовет гидроабразивный износ деталей и нарушение герметичности. К недостаткам можно отнести и безазорную установку имплозионной камеры в корпус генераторов, в результате чего под действием пластового давления возможны деформация рабочей камеры, заклинивание плунжера и его повышенный износ (однако при этом увеличивается жесткость конструкции). Также видно, что пружины генераторов работают в условиях жесткого соприкосновения витков в момент гидроудара, что вызывает частые отказы клапанных узлов. В целом это приведет к снижению эффективности работы гидрогенераторов давления с ростом числа многократных импульсных обработок.

С целью повышения эффективности работы гидрогенератора авторский коллектив [3] предлагает модернизированное устройство для многократного гидроимпульсного воздействия (рис. 5).

Предлагаемое устройство работает следующим образом. С помощью лебедки, установленной на устье (не показана), на канате плунжер 3 спускается в имплозионную камеру 1 до упора в клапан 5 (при этом происходит дополнительная центровка клапана за счет совпадения контактных поверхностей). Затем плун-

жер 3 лебедкой поднимают вверх, клапан 5 закрывается и под плунжером в имплозионной камере 1 создается разрежение. При достижении нижним торцом плунжера расширенного участка имплозионной камеры 1 жидкость из кольцевого пространства устремляется через окна имплозионной камеры 1, стакана 4 и перфорацию в обсадных трубах 8 в породу пласта, чем создается гидравлический удар с давлением, превышающим горное [3].

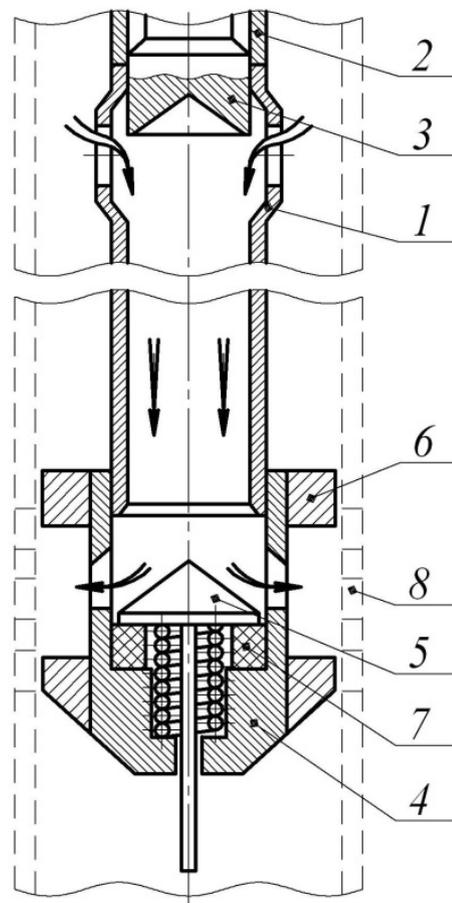


Рис. 5. Устройство для многократного гидроимпульсного воздействия:

1 – камера имплозионная; 2 – НКТ; 3 – плунжер; 4 – стакан; 5 – клапан; 6 – концентратор давления; 7 – амортизатор; 8 – перфорация обсадной колонны

Figure 5. Device for multiple hydraulic impulse action:

1 – implosion chamber; 2 – tubing; 3 – plunger; 4 – glass; 5 – valve; 6 – pressure concentrator; 7 – shock absorber; 8 – casing perforation

Следует отметить, что эта конструкция разрабатывалась с целью исключения завихрения жидкостного потока для направленного воздействия на призабойную зону пласта (этого не было учтено в других рассматриваемых механизмах). Направленному гидроимпульсному воздействию способствует конусная поверхность клапана (предложены различные ее формы) и параллельные ей верхние стороны окон стакана 4. Также одним из достоинств устройства является его простота, а к недостаткам предлагаемого гидрогенератора имплозии можно отнести сложность проведения работ в искривленных участках ствола скважины, а также возможное заклинивание плунжера в камере под действием пластового давления и, вследствие этого, возникновение дополнительных напряжений в канате.

Для повышения нефтеотдачи нефтяных и газоконденсатных пластов при эксплуатации добывающих и нагнетательных скважин путем создания глубоко проникающих репрессий предложено [4] устройство имплозионного гидрогенератора давления многократного действия (рис. 6).

Механизм спускается в скважину на НКТ 3, а трубная колонна, заборный трубопровод 1 и имплозионная

камера 4 заполняются рабочей жидкостью под высоким давлением.

При подъеме штанговой колонны 7 с плунжером 6 в цилиндре имплозионной камеры 4, герметично закрытом снизу запорным клапаном 12, прижатым к седлу муфты запорного клапана 10 цилиндрической пружиной сжатия 16 и дополнительно прижимаемым при этом низким пластовым давлением, создается разрежение. При выходе плунжера 6 из цилиндра имплозионной камеры 4 в расширенную часть заборного трубопровода 1 жидкость под высоким давлением из колонны НКТ 3 и заборного трубопровода 1 с высокой скоростью устремляется в нижнюю часть цилиндра имплозионной камеры 4 к запорному клапану 12, создавая в цилиндре имплозионной камеры 4 гидравлический удар с давлением, значительно превышающим пластовое давление. В момент возникновения гидравлического удара под давлением потока жидкости запорный клапан 12 отжимается от седла муфты 10, раскрывая цилиндр имплозионной камеры 4. Запорный клапан 12 со штоком 14 и поршнем 15 гидравлического амортизатора 13 перемещается вниз, открывая окна 19 рабочего цилиндра 9. До момента открытия окон 19 жидкость из-под перемещающегося поршня 15 гидравлического амортизатора 13 выдавливается через перепускные

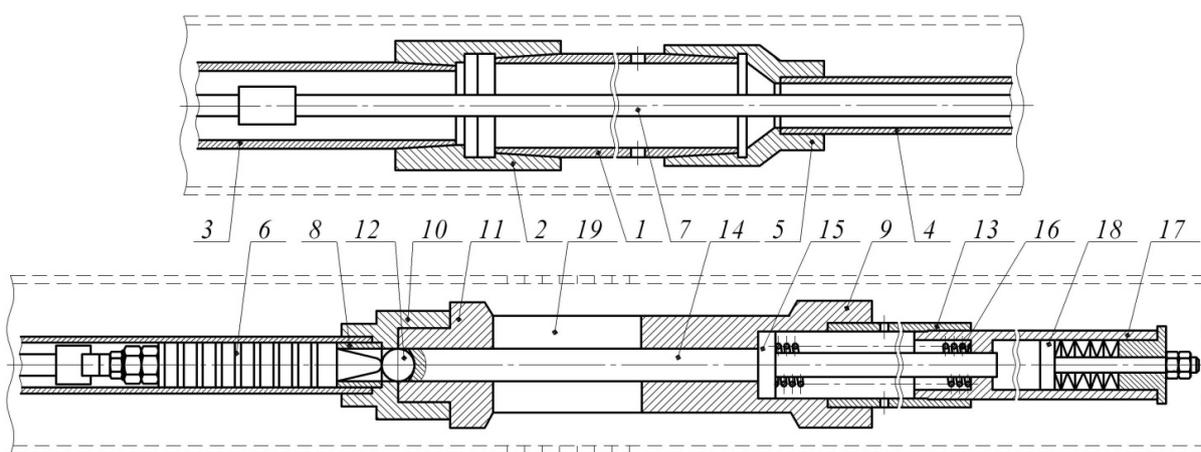


Рис. 6. Имплозионный гидрогенератор давления многократного действия:

1 – трубопровод заборный; 2, 5 – переводник; 3 – НКТ; 4 – камера имплозионная (цилиндр); 6 – плунжер; 7 – колонна штанг; 8 – втулка ограничительная; 9 – камера рабочая; 10 – муфта; 11 – концентратор давления; 12 – клапан запорный; 13 – цилиндр амортизатора; 14 – шток; 15 – поршень; 16 – пружина; 17 – гильза; 18 – упор подпружиненный; 19 – окна рабочего цилиндра

Figure 6. Reusable implosion pressure hydrogenerator:

1 – intake pipeline; 2, 5 – sub; 3 – tubing; 4 – implosion chamber (cylinder); 6 – plunger; 7 – a column of rods; 8 – restrictive sleeve; 9 – working chamber; 10 – clutch; 11 – pressure concentrator; 12 – shut-off valve; 13 – shock absorber cylinder; 14 – stock; 15 – piston; 16 – spring; 17 – sleeve; 18 – spring-loaded stop; 19 – windows of the working cylinder

отверстия цилиндра гидравлического амортизатора 13 в затрубное пространство, поглощая незначительную часть энергии гидравлического удара, а основная энергия гидравлического удара через окна рабочего цилиндра 9 передается на плунжер.

После прохождения поршнем 15 перепускных отверстий цилиндра гидравлического амортизатора 13 сопротивление перемещению поршня 15 значительно возрастает, в результате чего происходит поглощение энергии осевой составляющей гидравлического удара, остаток которой воспринимаются жестким подпружиненным упором 18, при этом цилиндрическая пружина 16 сжимается до состояния, не являющегося для нее критическим. После прохождения ударной волны плунжер 6 штанговой колонной 7 перемещается в цилиндр имплозионной камеры 4 до упора в ограничительную втулку 8, после чего запорный клапан 12 штоком 5 с помощью цилиндрической пружины сжатия 16 прижимается к седлу запорного клапана 10 [4]. Далее действие кратно повторяется.

Подобное устройство представлено и в техническом предложении [5], однако оно выгодно отличается от своего более раннего аналога тем, что в нем за счет воздушной полости разгрузочной камеры устранено влияние высокого пластового давления на деформирование имплозионной камеры, ведущего к подклиниванию плунжера в камере, его интенсивному износу и дополнительной нагрузке на штанговую колонну.

Имеется и практический опыт применения гидрогенераторов давления. Так, авторами [6] показано, что имплозионное устройство многократного действия с автоколебательным гидроприводом (рис. 7) для вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин позволило при локальном гидроразрыве пласта на Самотлорском месторождении по 4 обработкам в 2007—2008 гг. получить средний прирост дебита по нефти 4 т/сут (табл. 3).

Давление с устья скважины подается по НКТ 1 до гидроцилиндра 3 и концевой золотниковый переключатель 2 в нижнем положении поршня 4 подает давление под поршень, а при верхнем положении поршня — над поршнем.

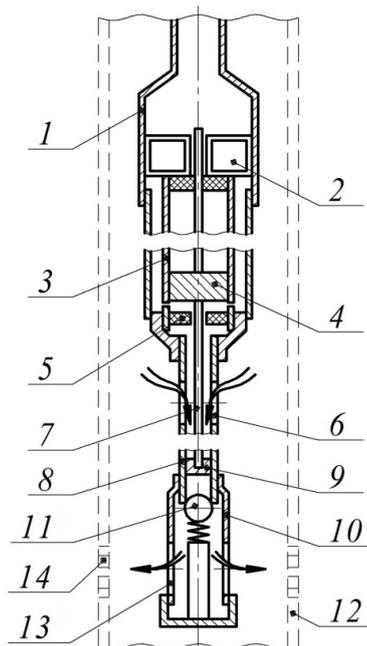


Рис. 7. Конструкция виброударного автоколебательного генератора имплозии:

1 – НКТ; 2 – переключатель концевой; 3 – гидроцилиндр; 4 – поршень; 5 – сальник; 6 – окно входное; 7 – шток; 8 – камера имплозионная; 9 – плунжер; 10 – корпус генератора; 11 – клапан; 12 – труба обсадная; 13 – окно выходное; 14 – отверстие перфорационное

Figure 7. Design of vibro-shock self-oscillating implosion generator: 1 – tubing; 2 – limit switch; 3 – hydraulic cylinder; 4 – piston; 5 – stuffing box; 6 – entrance window; 7 – stock; 8 – implosion chamber; 9 – plunger; 10 – generator case; 11 – valve; 12 – casing pipe; 13 – exit window; 14 – perforated hole

Таблица 3

Режимы работы скважин до и после гидроимпульсной обработки пласта на Самотлорском месторождении

Скважина	Куст	Режим до обработки			Режим после обработки			Прирост Qн, т/ сут	Прирост Qж, м³/сут
		Qн, т/сут	Qж, м³/сут	%	Qн, т/сут	Qж, м³/сут	%		
33398	1766Б	1,7	3,3	38	3,0	5,5	44	1,3	2,2
13775	2172	7,7	16,0	43	13,1	23,5	34	5,4	7,5
37500	1740	4,5	5,9	10	9,0	11,8	10	4,5	5,9
10719	1009	0,0	0,0	0	5,0	6,0	1	5,0	6,0
Средние значения		3,5	6,3	23	7,5	11,7	22,3	4,0	5,4

Table 3

Well operation modes before and after hydraulic impulse treatment of the formation at the Samotlor field

Well	Bush	Mode before processing			Post-processing mode			Growth Q_H , t/day	Growth Q_J , m ³ /day
		Q_H , t/day	Q_J , m ³ /day	%	Q_H , t/day	Q_J , m ³ /day	%		
33398	1766Б	1,7	3,3	38	3,0	5,5	44	1,3	2,2
13775	2172	7,7	16,0	43	13,1	23,5	34	5,4	7,5
37500	1740	4,5	5,9	10	9,0	11,8	10	4,5	5,9
10719	1009	0,0	0,0	0	5,0	6,0	1	5,0	6,0
Average values		3,5	6,3	23	7,5	11,7	22,3	4,0	5,4

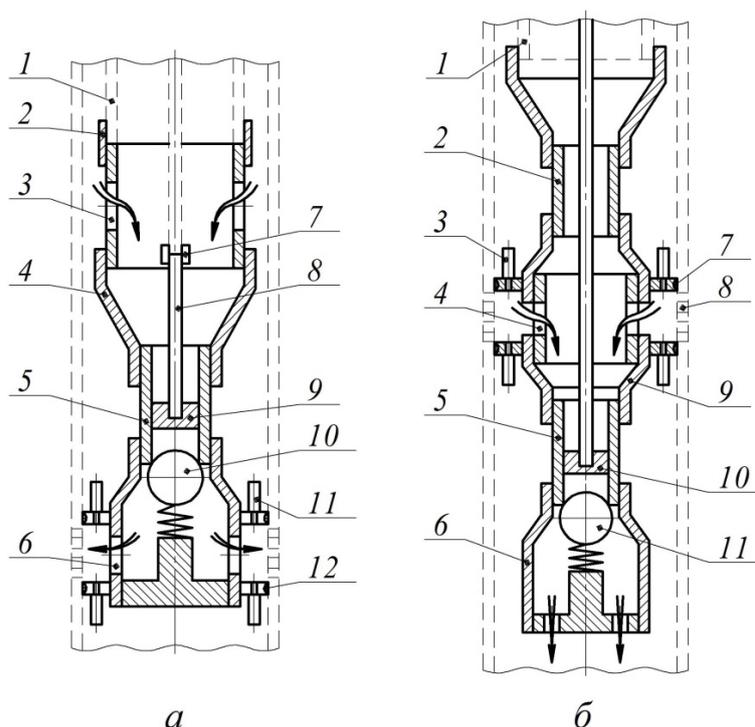


Рис. 8. Конструкции гидроимпульсных установок репрессии и депрессии:

a – гидроимпульсная установка, работающая в режиме создания репрессии на призабойную зону пласта: 1 – НКТ; 2 – муфта НКТ; 3 – патрубок с входными окнами; 4 – муфта переходная; 5 – цилиндр имплозионной камеры; 6 – патрубок с выходными окнами; 7 – муфта штанги; 8 – колонна штанг; 9 – плунжер; 10 – клапан запорный; 11 – механизм клапанный самозапирающийся; 12 – уплотнитель;

б – гидроимпульсная установка, работающая в режиме создания депрессии на призабойную зону пласта: 1 – НКТ; 2 – цилиндр дополнительный; 3 – механизм клапанный самозапирающийся; 4 – патрубок с входными окнами; 5 – цилиндр имплозионной камеры; 6 – патрубок с выходными окнами; 7 – уплотнитель; 8 – колонна эксплуатационная с перфорацией; 9 – муфта переходная; 10 – плунжер; 11 – клапан запорный

Figure 8. Designs of hydraulic impulse installations for repressure and depression:

a – hydraulic impulse unit operating in the mode of creating repressure to the bottomhole formation zone: 1 – tubing; 2 – tubing coupling; 3 – branch pipe with inlet windows; 4 – transition sleeve; 5 – implosion chamber cylinder; 6 – branch pipe with outlet windows; 7 – rod coupling; 8 – a column of rods; 9 – plunger; 10 – shut-off valve; 11 – self-locking valve mechanism; 12 – sealant; *b* – hydraulic impulse unit operating in the mode of creating a depression on the bottomhole formation zone: 1 – tubing; 2 – additional cylinder; 3 – self-locking valve mechanism; 4 – branch pipe with inlet windows; 5 – implosion chamber cylinder; 6 – branch pipe with outlet windows; 7 – sealant; 8 – production string with perforation; 9 – transition clutch; 10 – plunger; 11 – shut-off valve

По сведениям авторов, работа имплозионного гидрогенератора происходит следующим образом: при подъеме плунжера 9 со скоростью 1 м/с из нижнего положения клапан 11 закрывается в имплозионной камере 8, образуется вакуум, а после выхода плунжера из имплозионной камеры в зону окон 6 под действием скважинного давления жидкость со скоростью 120...150 м/с (в зависимости от давления среды и длины имплозионной камеры) обрушивается вниз, отжимает клапан 11 и создает гидроудар с амплитудой 100...120 МПа.

Импульс давления при гидроударе через окна 13 и перфорацию 14 в обсадной трубе воздействует на нефтеносный пласт, образуя систему трещин, что в итоге приводит к увеличению притока нефти в призабойную зону пласта [6].

Результаты [7] применения скважинной гидроимпульсной установки (ГСУ) для многократного воздействия на призабойную зону пласта методом имплозии с созданием депрессии или репрессии (рис. 8) в АО «Самаранефтегаз» в 2013 году на 5 скважинах (табл. 4) позволили получить прирост продукции 5,9 тыс. т, а с 2014 года при тиражировании технологии на 25 скважинах — более 25 тыс. т.

По данным авторов, в случае работы компоновки ГСУ в режиме репрессии (рис. 8, а) при подъеме плунжера на колонне штанг в имплозионной камере создается разрежение. Когда плунжер доходит до расширенного участка переходной втулки, происходит «падение» столба скважинной жидкости из НКТ и межтрубного пространства со скоростью 120...130 м/с в цилиндр имплозионной камеры. В результате открывается запорный клапан и через выходные окна генератора столб жидкости устремляется в межтрубное пространство, создавая кратковременный (0,05...0,1 с) импульс давления на пласт через перфорационные отверстия обсадной колонны (до 130...190 МПа).

Table 4

Results of the application of hydraulic impulse action in Samaraneftgaz JSC

Field/area	Increase in oil production rate, t/day
Oboshynskoe	5,7
Pokrovskaya	6,7
Yakushkinskaya	5,2
Putilovskoe	11,9
Gorbunovskoe	5,6

Цикл создания депрессионного воздействия (рис. 8, б) также начинается с подъема плунжера на колонне штанг и создания разрежения в имплозионной камере. Когда плунжер при подъеме выходит из цилиндра имплозионной камеры, верхняя часть плунжера входит в дополнительный цилиндр. В это же время нижняя часть плунжера находится еще в цилиндре имплозионной камеры для того, чтобы предотвратить поступление скважинной жидкости из НКТ. Когда нижняя часть плунжера достигает расширенного участка переходной муфты, возникает импульс депрессии в зоне входных окон. Имплозионная камера заполняется пластовым флюидом. Поток жидкости открывает запорный клапан, и продукты очистки сбрасываются в зумпф (возможна установка фильтра для сбора кольяматанта) [7].

По другим сведениям [8], за счет применения гидроимпульсной скважинной установки репрессиионного действия в АО «Самаранефтегаз» в 2014—2015 гг. достигнуто увеличение притока после воздействия в среднем 200...300 %, среднеарифметический прирост по дебиту нефти в этом случае составил 7,6...7,8 т/сут соответственно.

Анализируя конструкции этих гидрогенераторов, следует заметить, что в отличие от устройств «ПечорНИПИнефть» представленные механизмы имеют не тарельчатые, а шариковые клапаны, поэтому такие устройства способны работать с сероводородсодержащими скважинными средами, оказывающими деструктивное воздействие на пружинные стали. Однако во многих других случаях предпочтительно применение тарельчатых клапанов. Также видно, что жесткое сочленение корпусных деталей гидрогенераторов с высокой долей вероятности не позволит качественно и эффективно проводить обработку призабойной зоны скважины в искривленных и наклонно

Таблица 4

Результаты применения гидроимпульсного воздействия в АО «Самаранефтегаз»

Месторождение/площадь	Прирост дебита нефти, т/сут
Обошинское	5,7
Покровская	6,7
Якушкинская	5,2
Путиловское	11,9
Горбуновское	5,6

направленных скважинах, а в некоторых случаях такой процесс становится вовсе невозможным. Устройство ГСУ (рис. 8, б) имеет оригинальную конструкцию с системой сброса кольматанта, однако вызывает сомнения, что эти вещества не будут скапливаться и нарушать работу шарикового клапана. Кроме того, стоит поставить под сомнение и возможность создания заявленного импульса давления свыше 150 МПа при сохранении целостности обсадной колонны.

В [9] показаны результаты применения метода кислотной имплозии за счет применения скважинного нефтяного насоса, а также предложены регрессионные уравнения для определения ожидаемых параметров процесса.

В [10] приводятся результаты промышленного исследования скважинного гидрогенератора давления, создающего циклические напряжения с амплитудой более 1,2 МПа в призабойной зоне пласта, превышающие усталостную прочность горной породы.

Исследования показали, что существует возможность создания в призабойной зоне пласта напряжений, превышающих предел усталостной прочности породы, что приводит к появлению дополнительных трещин в призабойной зоне пласта и тем самым более эффективному освоению скважины.

Заключение

Таким образом, из аналитического обзора можно заключить:

1. Обоснована проблематика промышленного вопроса, заключающаяся в ежегодном увеличении числа месторождений с трудноизвлекаемыми запасами, что требует принципиально новых подходов для поиска ее решения.

2. Показано, что высокую эффективность в различные годы развития нефтегазовой отрасли демонстрировал метод имплозионной обработки призабойной скважинной зоны, имеющий актуальность и предпосылки к своему дальнейшему развитию в части совершенствования подземного оборудования (гидрогенераторов давления многократной имплозии).

3. Наибольшей перспективой развития обладают механизмы многократного ударно-депресссионного гидроимпульсного воздействия на призабойную зону скважины, в особенности в направлении разработ-

ки высоконадежных устройств, сочетающих в себе с механическим другие методы обработки, например с использованием физических полей, теплоносителя, химически активных веществ и др., работающих в оптимальном режиме с направленным воздействием жидкостного потока без завихрений, имеющих систему отвода кольматанта, а также способных бесперебойно выполнять свои функции в искривленных и наклонно направленных скважинах.

Список литературы

1. Быков И.Ю., Попов А.А. Гидрогенераторы давления для интенсификации добычи нефти: учеб. пособие. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. 246 с.
2. Попов А.А. Имплозия в процессах нефтедобычи: учеб. пособие. М.: Недра, 1996. 192 с.
3. Непомнящих В.Г., Бурьян Ю.А., Сорокин В.Н., Сусликов Е.Г. Патент 2299306, РФ, МПК E21B 28/00, E21B 43/26, E21B 34/06. Устройство для многократного гидроимпульсного воздействия на призабойную зону пласта. № 2004129372/03; заявл. 04.10.2004; опубл. 20.05.2007. Бюл. № 14. 10 с.
4. Совпель В.В. Патент 2395673, РФ, МПК E21B 43/18. Имплозионный гидрогенератор давления многократного действия. № 2009109725/03; заявл. 17.03.2009; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21. 9 с.
5. Совпель В.В., Гринберг П.Б. Патент 2612706, РФ, МПК E21B 43/25, E21B 37/00, E21B 28/00, F16F 5/00. Имплозионный гидрогенератор давления многократного действия. № 2016105482; заявл. 17.02.2016; опубл. 13.03.2017, Бюл. № 8. 8 с.
6. Бурьян Ю.А., Сорокин В.Н. Гидроимпульсная имплозионная обработка призабойной зоны пласта вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин // Технологии добычи и использования углеводородов. 2015. № 1. С. 1—5.
7. Кожин С.Н., Ульянов С.С., Козлов С.А. Испытание технологий повышения производительности скважин в АО «Самаранефтегаз» // Инженерная практика. 2016. № 7. С. 94—100.
8. Кузик Л.В., Кузик В.Л., Герасин А.С., Щиголов М.Ю. Гидроимпульсное воздействие на призабойную зону пласта для интенсификации работы скважин // Нефть. Газ. Новации. 2016. № 4. С. 53—59.
9. Grezina O.A. Downhole device design and results of its utilization under acid-implosion action // International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» (AIME 2018). 2018. Vol. 157. P. 203—206. <https://doi.org/10.2991/aime-18.2018.39>.
10. Bazhaluk Ya.M., Karpash O.M., Hutak O.I., Khudin M.V., Voloshyn Yu.D. Application of pulse-

wave technology for oil well completion // Journal Scientific Bulletin of National Mining University. 2016. Vol. 5. P. 16–20.

References

1. Bykov IYu, Popov AA. *Gidrogeneratory davleniya dlya intensivifikatsii dobychi nefti: Ucheb. Posobie [Hydrogenerators of pressure for intensification of oil production]*. Moscow. TsentrLitNefteGaz Publ.; 2011.

2. Popov AA. *Imploziya v processah nefte dobychi: Ucheb. Posobie [Implosion in oil production processes]*. Moscow: Nedra Publ.; 1996.

3. Nepomnyashchih VG, Bur'yan YuA., Sorokin VN, Suslikov EG. Patent 2299306, RF, IPC E21B 28/00, E21B 43/26, E21B 34/06. Device for multiple hydraulic impulse impact on the bottomhole formation zone. No. 2004129372/03; app. 04.10.2004; publ. 20.05.2007, Bul. No. 14. 10 p.

4. Sovpel' VV. Patent 2395673, RF, IPC E21B 43/18. Implosion hydrogenerator of pressure of repeated action. No. 2009109725/03; app. 03/17/2009; publ. 07/27/2010, Bul. No. 21. 9 p.

5. Sovpel' VV, Grinberg PB. Patent 2612706, RF, IPC E21B 43/25, E21B 37/00, E21B 28/00, F16F 5/00. Implosion hydrogenerator of pressure of repeated action. No. 2016105482; app. 02/17/2016; publ. 03/13/2017, Bul. No. 8. 8 p.

6. Burian YuA, Sorokin VN, Sorokin VN. Gidroimpul'snaya implozionnaya obrabotka prizabojnoj zony plasta vertikal'nyh,

naklonnyh i gorizontal'nyh skvazhin [Hydroimpulse implosion treatment of the bottomhole formation zone of vertical, inclined and horizontal wells]. *Tekhnologii dobychi i ispol'zovaniya uglevodorodov [Technologies for the production and use of hydrocarbons]*. 2015;1:1–5.

7. Kozhin SN, Ulyanov SS, Kozlov SA. Ispytanie tekhnologij povysheniya proizvoditel'nosti skvazhin v AO «Samaraneftegaz» [Testing of technologies for increasing well productivity in Samaraneftegaz JSC]. *Inzhenernaya praktika [Engineering practice]*. 2016;7:94–100.

8. Kuzik LV, Kuzik VL, Gerasin AS, Shigolev MYu. Gidroimpul'snoe vozdejstvie na prizabojnuyu zonu plasta dlya intensivifikatsii raboty skvazhin [Hydroimpulse impact on the bottomhole formation zone for well stimulation]. *Neft'. Gaz. Novacii [Oil. Gas. Innovations]*. 2016;4(187):53–59.

9. Grezina OA. Downhole device design and results of its utilization under acid-implosion action. *International Conference “Actual Issues of Mechanical Engineering” (AIME 2018)*. 2018;157:203–206. <https://doi.org/10.2991/aime-18.2018.39>.

10. Bazhaluk YaM., Karpash OM, Hutak OI, Khudin MV, Voloshyn YuD. Application of pulse-wave technology for oil well completion. *Journal Scientific Bulletin of National Mining University*. 2016;5:16–20.

Сведения об авторе

Юшин Евгений Сергеевич, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела инженерной академии РУДН, канд. техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-9164-1641, eLIBRARY SPIN-код: 8323-1207; e-mail: yushin-es@rudn.ru

About the author

Eugeny S. Yushin, Associate Professor of the Department of Subsoil Use and Oil and Gas Business, Academy of Engineering, RUDN University, PhD in Engineering sciences, Docent; ORCID: 0000-0002-9164-1641, eLIBRARY SPIN-code: 8323-1207; e-mail: yushin-es@rudn.ru