УДК 622: 276.75

ТЕХНОЛОГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУЙНЫХ УСТАНОВОК В НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОМ ДЕЛЕ

TECHNOLOGY USING JET DEVICES IN THE OIL AND GAS BUSINESS

Пахлян Ирина Альбертовна
кандидат технических наук,
доцент кафедры МОНГП АМТИ (филиал),
Кубанский государственный
технологический университет
pachlyan@mail.ru

Аннотация. Наилучшими вариантами эксплуатации скважин в осложненных условиях, таких как значительное падение пластового давления, активное обводнение эксплуатационных скважин, повышенное газосодержание, разрушение прискважинных зон, является добыча нефти с помощью струйных установок. Струйные установки просты по конструкции, надежны, невелики по размерам. При этом им не страшны ни искривления скважин, ни высокие температуры, ни влияние свободного газа. Существующие технологии не лишены недостатков. Предложены технологии и устройства, позволяющие осуществлять непрерывную промывку и очистку призабойной зоны скважин от кольматанта, коррозионных частиц, песчаных пробок. Разработанная технология позволяет снизить материально-технические и трудовые затраты путем существенного упрощения и удешевления процесса обработок призабойных зон скважин, а также минимизации потерь давления на трение.

Ключевые слова: рабочее сопло, диффузор, камера смешения, призабойная зона скважины, рабочая жидкость, эжектируемый пластовый флюид, песчаная пробка, освоение, очистка.

Pakhyan Irina Alybertovna
Candidate of technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban state technological University
pachlyan@mail.ru

Annotation. The best options for the operation of wells in the complicated conditions, such as significant drop in reservoir pressure, active water wells, high gas content, the destruction of near-wellbore zones is oil production with inkjet systems. Inkjet installation simple in design, reliable, small in size. While they are not afraid of well deviation, nor heat, nor the influence of free gas. Existing technologies are not without drawbacks. The proposed technology and devices allowing to realize continuous washing and cleaning wellbore zones from colmatant, corrosion particles, sand tubes. The developed technology allows to reduce logistical and labour costs by a substantial simplification and cheapening of the process of treatments of well bottom zones, as well as minimize pressure losses due to friction.

Keywords: nozzle, diffuser, mixing chamber, bottom hole zone, the working fluid ejected to the fluid reservoir, sand plug, development, purification.

В настоящее время ряд крупнейших нефтяных и газовых месторождений вступили в завершающую стадию разработки, которая характеризуется значительным падением пластового давления, активным обводнением эксплуатационных скважин, повышенным газосодержанием, разрушением прискважинных зон пласта и рядом других негативных факторов.

В мире считается, что наилучшими вариантами в таких осложненных условиях эксплуатации является добыча нефти с помощью струйных установок.

Струйные установки обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с другими способами эксплуатации. К таким преимуществам, имеющим экономическое значение, можно отнести следующие: простота и компактность скважинного оборудования; отсутствие движущихся частей, кабеля и насосных штанг; высокая надежность скважинного оборудования, большой межремонтный период работы; простота регулирования отбора продукции скважины; замена насоса без проведения операций по подземному ремонту; подача в скважину необходимых реагентов и тепловой энергии с рабочей жидкостью; доступ на забой без подъема скважинного оборудования; создание требуемых депрессий на пласт; проведение гидродинамических исследований в скважине и оптимизация отбора жидкости; добыча нефти из малодебитных скважин – менее 10 $м^3$/сут., минимальные затраты на подъем жидкости при дебитах до 150 $м^3$/сут.; эксплуатация скважин в осложненных условиях (высокая температура, высокий газовый фактор, высокое давление насыщения нефти газом, большая вязкость откачиваемой продукции, большая глубина, соле- и парафиноотложения, высокое содержание песка, низкая проницаемость коллектора, нестабильный приток жидкости из пласта, большая кривизна скважины вплоть до горизонтали.

В струйных насосах происходит преобразование потенциальной энергии потока в кинетическую, которая частично передается инжектируемому потоку. При протекании по струйному насосу происходит выравнивание скоростей смешиваемых потоков и обратное преобразование кинетической энергии смешанного потока в потенциальную. На рисунке 1 изображена принципиальная схема струйного

насоса. Здесь Q_P, Q_H, Q_C – расходы рабочей, инжектируемой и смешанной жидкостей; f_{P2} и f_{H2} – площади рабочего и эжектируемого потоков во входном сечении цилиндрической камеры смещения; ω_{P2}, ω_{H2}, ω_3 – скорости рабочего и эжектируемого потоков во входном сечении и смешанного потока в выходном сечении камеры смешения; p_{P2}, p_{H2}, p_3 – статические давления рабочего и эжектируемого потоков во входном сечении и смешанного потока в выходном сечении цилиндрической камеры смещения.

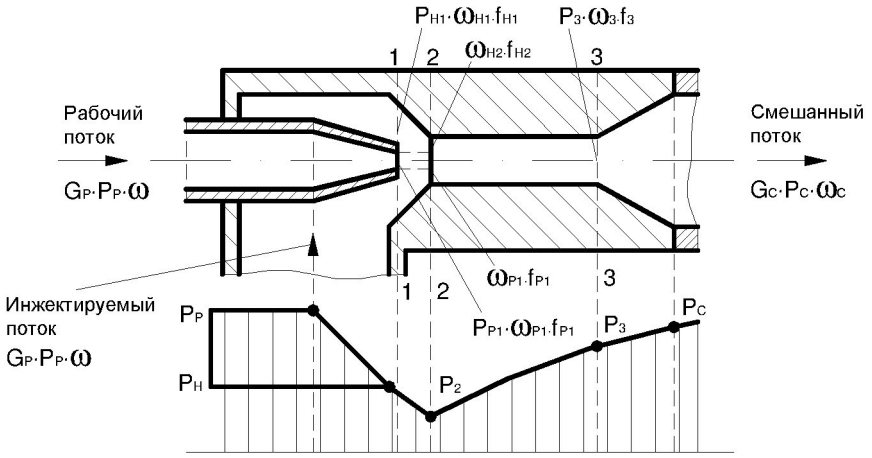

Рисунок 1 – Принципиальная схема струйного насоса

Процессы, свойственные струйным насосам, описываются такими законами:

1) сохранения массы

$$Q_C = Q_P + Q_H; \tag{1}$$

2) сохранения энергии

$$(i_P + u i_H) = (1+u)\cdot i_C, \tag{2}$$

где i_P, i_H, i_C – энтальпии рабочего и эжектируемого потоков до аппаратов и смешанного потока после аппарата; $u = \dfrac{Q_H}{Q_P}$ – коэффициент эжекции;

3) сохранения импульсов сил

$$Q_P \cdot \omega_P + Q_H \cdot \omega_H - (Q_P + Q_H)\cdot \omega_3 = p_3 \cdot f_3 + \int_{f_3}^{f_1} p \cdot df - (p_P \cdot f_P + p_H \cdot f_H), \tag{3}$$

где $\int_{f_3}^{f_1} p \cdot df$ – интеграл импульса сил на боковую поверхность камеры смешения между сечениями 1–1 и 3–3.

К основным причинам снижения проницаемости призабойной зоны в процессе эксплуатации скважин (добывающих) относятся: проникновение жидкостей глушения (пресной, соленой воды) в процессе подземного ремонта; выпадение и отложение асфальтено-смоло-парафинистых составляющих нефти; проникновение в призабойную зону скважин мехпримесей и продуктов коррозии металлов при глушении или промывке скважины.

По сравнению с другими техническими средствами обработки прискважиных зон продуктивного пласта струйные установки имеют существенные преимущества. К ним относятся следующие: отсутствие движущихся частей, простота передачи и преобразования энергии, возможность работы в широком диапазоне дебитов скважин, работоспособность при высоком газовом факторе и наличии песка в пластовом флюиде, компактность конструкции и невысокая стоимость.

В последние годы применение струйных установок в нефтяной и газовой промышленности получило определенное распространение не только в России, но и за рубежом. Струйные установки широко используют для эксплуатации нефтяных скважин как в отечественной практике нефтедобычи, так и в зарубежной.

В 1998 г. разработана насосная установка для освоения и эксплуатации скважин, содержащая установленный в скважине погружной струйный насос, силовой насос и сепаратор. Дополнительно установка снабжена гидроциклоном и подпорным струйным насосом. Данная установка позволяет повысить степень очистки рабочей жидкости и обеспечить возможности повышения напора для откачки из скважины утяжеленной жидкости глушения. При эксплуатации скважины, когда рабочая жидкость выходит из сепаратора достаточно чистой, она может подаваться в силовой насос, а при освоении скважины, когда необходимо удалить из скважины утяжеленную жидкость глушения, рабочую жидкость из сепаратора пропускают через ступень дополнительной очистки и предварительного повышения давления, т.е. через гидроциклон и подпорный струйный насос [1].

В 1991 г. в ИФИНГ под руководством Я.В.Шановского разработан способ кислотной обработки продуктивного пласта с помощью струйных аппаратов, заключающийся в закачке раствора кислоты и буферной жидкости в пласт при изменяющемся давлении. Затем в скважине создают периодическое чередование постоянных по величине максимально возможных депрессий с репрессиями. Путем создания длительной депрессии проводят откачку продуктов реакции из пласта и освоения скважины [2].

В США в 1988 г. создана скважинная струйная установка, содержащая струйный насос и пакер, установленные на колонне насосно-компрессорных труб. Однако конструкция данной установки не позволяет проводить какие-либо работы в подпакерной зоне в период работы установки, что резко сужает возможности ее использования.

В Великобритании в 1992 г. разработана скважинная струйная установка, позволяющая проводить различные технологические работы в зоне пласта, например, замерять расход перекачиваемой среды. Но в данной установке не предусмотрена возможность воздействия на пласт с целью интенсификации добычи перекачиваемой среды, что связано с ограниченными возможностями по передаче энергии, которую можно подвести по кабелю в подпакерную зону к технологическому оборудованию, что не позволяет проводить эффективно работы по очистке прискважинной зоны.

В 1997 г. изобретена скважинная струйная насосная установка, позволяющая расширить область ее использования путем обеспечения возможности проведения технологических операций в скважине ниже уровня установки струйного насоса при регулируемом забойном давлении.

В 1999 г. разработан струйный аппарат для промывки скважин с упрощенной конструкцией уплотнительного пакера и повышенной надежностью разобщения затрубного пространства. Выполнение струйного насоса над пакером позволяет вывести его из зоны отложений, тем самым увеличить его работоспособность в загрязненных скважинах [3].

В 1998 г. разработаны способ работы насосно-эжекторной скважинной импульсной установки и установка для реализации способа, предназначенная для обработки призабойной зоны пласта. Установка позволяет достичь повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин, вводимых в эксплуатацию, восстановления и повышения коэффициента продуктивности нефтяных и газовых скважин после их ремонта.

В 1998 г. публикуется статья [4], посвященная перспективам и результатам применения струйных насосов при поиске, разведке и разработке месторождений. Эта статья явилась обобщением опыта, накопленного авторами при разработке и внедрении специальных конструкций струйных насосов на месторождениях нефти и газа. Приводится описание ЭМПИ эжекторного многофункционального пластоиспытателя, предназначенного для проведения технологических операций по исследованию, испытанию и освоению скважин при регулируемом забойном давлении (при депрессии на пласт). Эжектирующим устройством являются один или несколько высоконапорных струйных насосов, которые могут работать одновременно и поочередно в зависимости от дебита скважин. Применение ЭМПИ позволяет кардинально изменить технологию исследования, освоения и интенсификации притока скважин. Это относится к перфорации при депрессии на пласт, многоцикловым гидродинамическим исследованиям [3]. В настоящее время на месторождениях большинства нефтегазовых объединений Западной Сибири начато применение ЭМПИ при освоении капитальных ремонтах нефтяных скважин.

В 1998 г. разработана тандемная скважинная струйная установка, предназначенная для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин, вводимых в эксплуатацию, а также после их ремонта. Установка, содержащая струйный насос, снабжена установленным на колонне НКТ со стороны входа в сопло струйным вихревым аппаратом, содержащим полый корпус с боковыми каналами и подключенным к каналу подвода активной среды осевым каналом, установленные в корпусе соосно последнему обтекатель и втулку с винтовыми каналами на ее внутренней поверхности, в корпусе выполнена вихревая камера. В этот же год разработана струйная скважинная насосная установка, позволяющая повысить эффективность эксплуатации скважины путем регулирования режимов работы пластов.

До сих пор является актуальной проблема выноса с забоя скважин на поверхность твердой фазы с помощью струйных насосов. Эксплуатация скважин связана с большими трудностями вследствие того, что из пласта в скважину вместе с пластовой продукцией поступает значительное количество песка, который осаждается в скважине. Возникает необходимость в проведении работ, связанных с удалением песчаных пробок из скважин. В связи с этим важной проблемой является разработка технологии промывки и обработки призабойной зоны струйными насосами для повышения продуктивности и очистки забоев скважин.

Задача, поставленная в работе, заключалась в создании усовершенствованной струйной установки для промывки скважин с целью увеличения дебита для добывающих и увеличения приемистости для нагнетательных скважин [5].

Струйная установка (рис. 2) состоит из конусообразного корпуса 1, который крепится на внешней колонне насосно-компрессорных труб (НКТ).

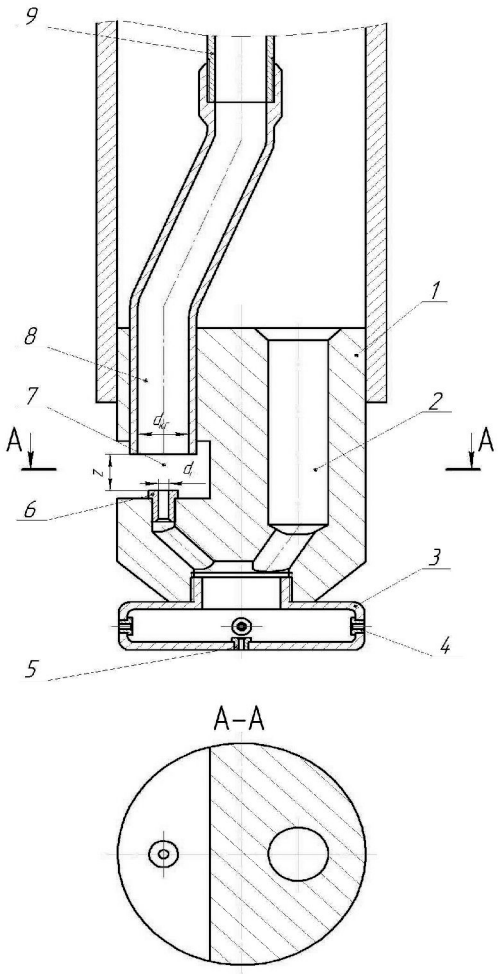

Рисунок 2 – Общий вид конструкции струйной установки для промывки скважин

Внутри конусообразного корпуса 1 параллельно расположены канал подвода активной жидкостной среды 2 и активное сопло 6, сопряженное через боковой паз 7 с камерой смешения 8, соединенной с трубопроводом отвода смеси сред 8 (внутренней колонны НКТ), при этом внизу корпуса установлена функциональная насадка 3, выполненная в виде уплотнительной вставки, горизонтально разделенной на две части, при этом верхняя часть непосредственно примыкает к конусообразному корпусу и через наклонные патрубки разных диаметров соединена с активным соплом 6 и каналом подвода активной жидкостной среды 2, а нижняя часть, равная основному диаметру конусообразного корпуса 1, содержит по периметру четыре радиальных отверстия 4, оси которых расположены под углом 90° относительно образующей корпуса, и одно отверстие 5, расположенное по оси функциональной насадки 3.

Установка функциональной насадки позволяет использовать кинетическую энергию активной жидкостной среды, размывать и гомогенизировать наиболее плотные технологические отложения, встречающиеся при промывке скважин, например, песчаные пробки.

Благодаря простоте конструкции и отсутствию уплотнительного пакера струйная установка для промывки скважины может перемещаться возвратно-поступательно за счет поверхностного оборудования для спуско-подъемных операций на длину одной трубы НКТ. Таким образом обеспечивая качество промывки фильтровой части (интервала перфорации) скважины, в том числе и от наиболее плотных технологических отложений в ее фильтровой части (интервале перфорации).

В зависимости от назначения струйной установки в технологическом процессе промывки скважины выбираются и устанавливаются основные конструктивные элементы, изготавливаемые сменными: активное сопло, камера смешения.

Для создания глубоких депрессий:

– расстояние от вывода струи из активного сопла до входа в камеру смешения должно быть равным от 0,5 до 1 диаметра камеры смешения ($Z = 0,5 \div 1\ d_{кс}$);

– отношения диаметра камеры смешения к диаметру активного сопла от 3 до 8 ($d_{кс}/d_c = 3 \div 5,5$);

– все отверстия функциональной насадки закрыты.

Для обеспечения интенсивного процесса очистки фильтровой зоны скважины:

– расстояние от выхода струи из активного сопла до входа в камеру смешения должно быть равным от 1 до 5 диаметра камеры смешения ($Z = 1 \div 5\ d_{кс}$);

– отношения диаметра камеры смешения к диаметру активного сопла от 3 до 8 ($d_{кс}/d_c = 6 \div 9$);

– на размывающей насадке осевое отверстие закрыто, перпендикулярные к оси четыре отверстия открыты.

Для обеспечения размыва песчаной пробки фильтровой зоны скважины:

– расстояние от выхода струи из активного сопла до входа в камеру смешения должно быть равным от 1 до 5 диаметра камеры смешения ($Z = 1 \div 5\ d_{кс}$) ;

– отношения диаметра камеры смешения к диаметру активного сопла от 3 до 8 ($d_{кс}/d_c = 6 \div 9$) ;

– на размывающей насадке открыто одно осевое отверстие, а четыре перпендикулярные к оси отверстия закрыты.

Изготовление сменных частей струйной установки для промывки скважины: активного сопла 6, камеры смешения 8, из материалов стойких к абразивному и эрозионному износу (например, металлокерамика), повысят надежность и долговечность работы струйной установки насоса. Повысится производительность технологического процесса промывки скважины за счет снижения затрат времени на спускоподъемные операции, связанные с заменой износившихся или разрушившихся частей струйной установки.

Принципиальная схема конструкции струйной установки для промывки скважин предусматривает отношение внешнего диаметра корпуса 1 к внутреннему диаметру камеры смешения 8 как равное от 4, т.е. диаметр камеры смешения достаточный (свыше 11 мм) для того, чтобы исключить забивку его проточной части, а также срыв работы струйного насоса для промывки скважин.

На рисунке 3 представлена схема скважинной компоновки размещения струйной установки для промывки скважин при реализации процесса интенсивной очистки фильтровой зоны скважины. На рисунке 4 представлена схема скважинной компоновки размещения струйной установки для промывки скважин при реализации процесса размыва песчаной пробки фильтровой зоны скважины.

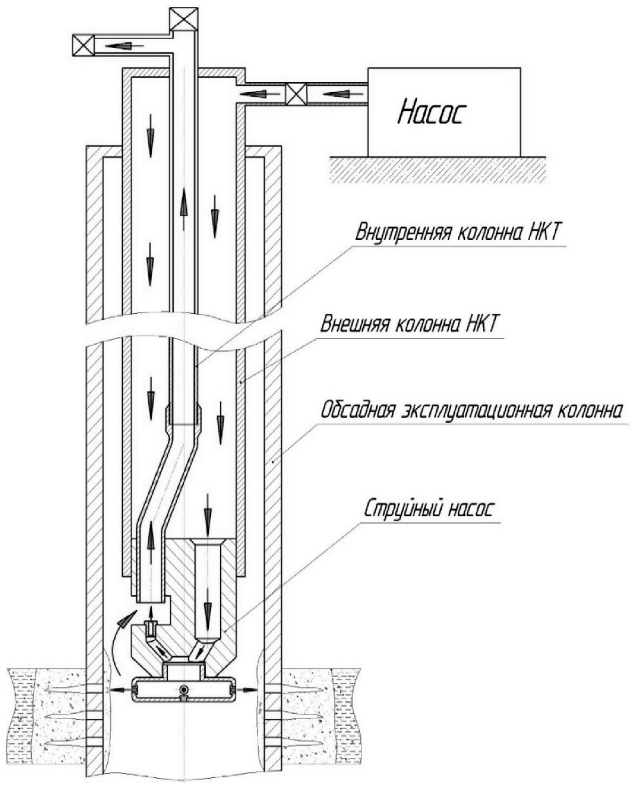

Рисунок 3 – Схема скважинной компоновки размещения струйной установки для промывки скважин при реализации процесса интенсивной очистки фильтровой зоны скважины

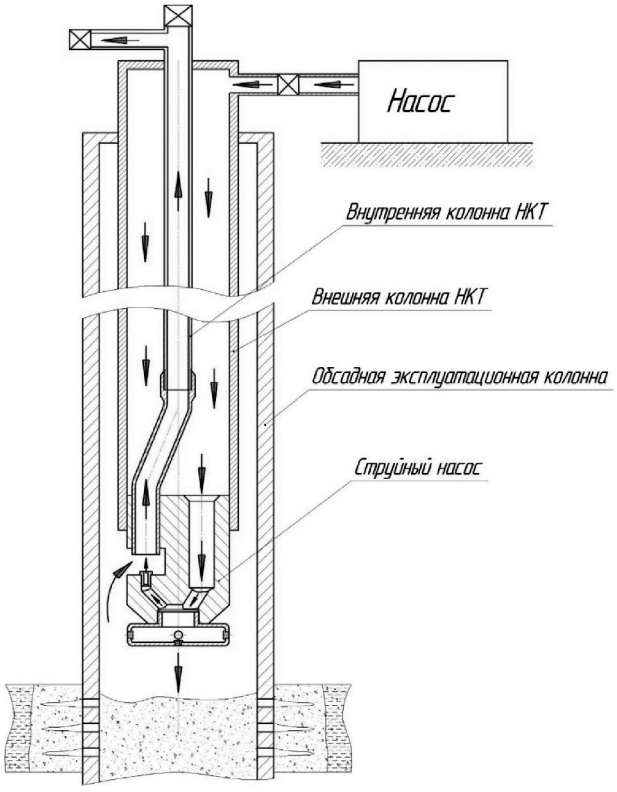

Рисунок 4 – Схема скважинной компоновки размещения струйной установки для промывки скважин при реализации процесса размыва песчаной пробки фильтровой зоны скважины

Струйная установка работает следующим образом.

- Устанавливается необходимое количество отверстий на функциональной насадке 3:

– при интенсивной промывке скважины: открываются четыре радиальных отверстия, осевое отверстие глушится;

– при разрушении песчаной пробки: четыре радиальных отверстия глушатся, осевое отверстие открывается;

– при создании наибольшей депрессии: глушатся все пять отверстий.

- Струйная установка доводится до интервала перфорации 1 (рис. 3, 4).
- Активная жидкостная среда под давлением, создаваемым на поверхности насосом 2, подается по внешней колонне насосно-компрессорных труб в конусообразный корпус 1 струйного насоса. Часть потока по патрубку подвода активной жидкостной среды 2 направляется на функциональную насадку 3. Жидкостная среда истекает из отверстий 4, обладая большой кинетической энергией, которая направлена либо на размыв песчаных пробок, либо на промывку и очистку фильтровой части (интервала перфорации).
- Другая часть потока подводится к активному соплу 6. При истечении жидкостного потока из активного сопла 6 скорость увеличивается, а давление падает, в результате чего образуется в баковом пазу 7 конусообразного корпуса 1 зона пониженного давления и весь пассивный поток с загрязнениями из фильтровой части скважины увлекается в камеру смешения 8, в которой активный и пассивный потоки перемешиваются, и далее поток по трубопроводу отвода смеси сред 9 направляется на устье скважины.

Предлагаемое изобретение может успешно использоваться при проведении работ по освоению и ремонту нефтяных, газовых и артезианских скважин.

Для реализации поставленных задач используется только энергия жидкой среды, которая направляется на стенки скважины, способствуя размыву и гомогенизации наиболее плотных технологических отложений, встречающихся при промывке скважин, например, песчаных пробок.

Для повышения надежности и работоспособности струйной установки, наиболее подверженные абразивному износу ее части предлагается выполнять сменными и с использованием износостойких материалов.

Литература:

1. База данных «Современные методы интенсификации добычи с применением эжекторных технологий». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620375. Дата регистрации в федеральном органе исполнительной власти по интеллектуальной собственности 25.02.2015 года. Авт. Пахлян И.А., Омельянюк М.В., Османов С.В., Битиев И.И.
2. Омельянюк М.В. Повышение эффективности кавитационной реанимации скважин // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 5. – С. 33–36.
3. Пахлян И.А., Проселков Ю.М. Выбор основных конструктивных параметров струйных аппаратов для технологий нефтегазовой отрасли // Газовая промышленность. – 2013. – № 12. – С. 36–39.
4. Пахлян И.А. Исследование гидроэжекторных смесителей, модернизация их конструкций и совершенствование технологии приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов : Дисс. … канд. тех. наук: спец. 05.02.13. – Краснодар, 2010.
5. Патент РФ на изобретение. Струйная установка для промывки скважин патент № 2561220 / Авт. Омельянюк М.В., Пахлян И.А. Заявка № 2014104448 от 07.02.2014.

References:

1. «Modern Methods of an Intensification of Production using Ejector Technologies» database. Certificate on the state registration of the database № 2015620375. Date of registration in federal executive authority on intellectual property of 25.02.2015. Bus Pakhlyan I.A., Omelyanyuk M.V., Ottomans S.V., Bitiyev I.I.
2. Omelyanyuk M.V. Increase in efficiency of cavitational resuscitation of slits // Oil-field business. – 2008. – № 5. – P. 33–36.
3. Pakhlyan I.A., Proselkov Yu.M. Country Roads of the key design data of jet devices for technologies of oil and gas branch // Gas industry. – 2013. – № 12. – P. 36–39.
4. Pakhlyan I.A. Research of hydroejector adders, upgrade of their constructions and enhancement of technology of preparation of boring flushing and plugging solutions : thesis … Cand. Tech. Sci.: special 05.02.13. – Krasnodar, 2010.
5. Russian Federation patent for the invention. Jet installation for wash of slits of a patent № 2561220 / Bus of Omelyanyuk M.V., Pakhlyan I.A. Request № 2014104448 of 07.02.2014.