



УДК 622.276.66

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДЕБИТА НЕФТИ НА ВЫНГАПУРОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

APPLICATION OF A METHOD OF HYDRAULIC FRACTURING OF LAYER FOR INCREASE THE OIL DEBIT ON THE VYNGAPUROVSKOYE FIELD

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
olgasavenok@mail.ru

Поварова Лариса Валерьевна

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры химии,
Кубанский государственный
технологический университет
larispv08@gmail.com

Аванесов Александр Сергеевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
iCCup.House@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу физического метода воздействия на нефтяные залежи. Повышение интенсификации и конечного коэффициента извлечения нефти – это главная задача нефтепромыслового дела. Выбор определяется рядом факторов, наиболее существенными из которых являются геолого-физические характеристики залежи, технологические возможности осуществления данного метода на месторождении и экономические критерии.

Ключевые слова: нефтенасыщенность коллекторов; призабойная зона; гидроразрыв пласта; обводненность нефти; геолого-технические мероприятия; нагнетаемые скважины; пластовое давление.

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences,
Associate professor,
Professor of oil and gas engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
olgasavenok@mail.ru

Povarova Larisa Valeryevna

Candidate of Chemical Sciences,
Associate professor,
Associate Professor of Chemistry Department,
Kuban state technological university
larispv08@gmail.com

Avanesov Alexandr Sergeevich

Student,
Kuban state technological university
iCCup.House@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the analysis of the physical methods of influence on oil deposits. The main oilfield business goal is an increase in the intensification and final oil recovery ratio. The choice is determined by a number of factors but the most significant ones are geological and physical characteristics of the oil deposits, technological possibilities to implement this method in the field and economic criteria.

Keywords: oil saturation of the collectors; pre-waterdump zone; hydraulic fracturing; watering drowning of oil deposits; geological and technical activities; injected wells; reservoir pressure.

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из наиболее эффективных методов интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов и увеличения выработки запасов нефти.

Сущность метода гидроразрыва пласта заключается в закачивании в проницаемый пласт жидкости при давлении до 100 МПа. При этом пласт расщепляется, либо по плоскостям напластования, либо вдоль естественных трещин. Для предупреждения смыкания трещин при снятии давления в них вместе с жидкостью закачивается крупный песок, сохраняющий проницаемость этих трещин, в тысячу раз превышающую проницаемость ненарушенного пласта.

Для предупреждения смыкания образовавшихся в пласте трещин и сохранения их в раскрытом состоянии после снижения давления ниже давления разрыва в образовавшиеся трещины нагнетают вместе с жидкостью отсортированный крупнозернистый кварцевый песок. Подача песка обязательна как во вновь созданные, так и в существовавшие в пласте трещины, раскрытые при гидроразрыве. Как показывают исследования, в процессе гидравлического разрыва возникают трещины шириной 1-2 мм. Радиус их может достигать нескольких десятков метров. Заполненные крупнозернистым песком



трещины обладают значительной проницаемостью, в результате чего после гидроразрыва производительность скважины увеличивается в несколько раз.

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) проводят для образования новых или раскрытия уже существующих трещин с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта и увеличения производительности скважины.

Гидроразрыв широко используется как в отечественной, так и зарубежной практике нефтедобычи.

Значительный опыт ГРП накоплен на Вынгапуровском месторождении. Анализ выполненных на месторождении гидроразрывов указывает на их высокую эффективность, поскольку они способствуют как интенсификации добычи нефти, так и повышению нефтеотдачи. Кроме того, ГРП позволяет подключить недренируемые запасы нефти в прерывистых коллекторах месторождения.

Таблица 1 – Общее количество выполненных мероприятий и их эффективность в динамике за 2013–2017 гг.

| Показатели | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | в целом |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Количество ГРП | 63 | 62 | 72 | 97 | 89 | 383 |
| Дополнительная добыча нефти, тыс. тонн | 121,0 | 96,3 | 101,0 | 143,3 | 112,1 | 573,8 |
| Прирост дебита нефти, тонн/сут. | 18,6 | 10,8 | 9,6 | 9,2 | 9,2 | 9,5 |
| Дополнительная добыча нефти с переходящим эффектом, тыс. тонн | 701,5 | 575,9 | 572,2 | 565,0 | 576,4 | 2991,0 |

В таблице 1 представлены данные по количеству выполненных мероприятий и их эффективности в динамике за 2013–2017 гг. Технологическая эффективность проведения гидравлического разрыва пласта оценивалась по различным скважинам путем сопоставления базовых дебитов нефти до мероприятия с фактическими после проведения мероприятия.

В последнее время глубокопроникающий гидроразрыв получил достаточно широкое распространение и оказывает значительное влияние на систему разработки Вынгапуровского месторождения в целом.

Технологическая эффективность ГРП определяется:

- эффективной толщиной пласта;
- количеством проницаемых прослоев в интервале перфорации;
- начальной и текущей нефтенасыщенностью коллекторов пласта;
- толщиной перекрывающих и подстилающих глинистых экранов;
- степенью истощения пластовой энергии;
- расположением фронта заводнения, обводненностью продукции близлежащих добывающих скважин;
- удалённостью от нагнетательных скважин.

На Вынгапуровском месторождении гидравлический разрыв пласта начал внедряться с 1991 года на объекте БВ₈¹. Наиболее активно этот вид ГТМ применяется с 2001 года. В течение 2004–2017 гг. ежегодно проводится около 80 обработок скважин методом ГРП на фонде, который уже введён в эксплуатацию и на большинстве новых скважин при освоении. За всю историю разработки было осуществлено 1178 скважино-операций с применением ГРП, за счёт чего было дополнительно добыто (с учётом переходящего эффекта прошлых лет) 10494,3 тыс. тонн нефти.

Дополнительная добыча при вводе новых скважин при освоении (209 скважино-операций, в том числе при вводе 14 горизонтальных скважин), углублении (20 скважин), приобщении (8 скважин), при зарезках (3 скважины) и при переводе скважин на другие горизонты (две операции) с ГРП отнесена на основные мероприятия.

С учётом переходящего эффекта за последние 5 лет проведения ГРП (2013–2017 гг.) на переходящем фонде скважин дополнительная добыча нефти составляет 2991,0 тыс. тонн (16,6 % всей добычи нефти по месторождению). При этом по основному объекту разработки БВ81 проведено 360 операций гидроразрыва пласта на 323 скважинах и добыто 92,2 % дополнительной добычи нефти; по объекту БВ₈² добыто 2,5 % дополнительной добычи нефти; по объекту БВ5 – 2,4 %, по ЮВ1 – 1,7 %; по БВ6 – 0,8 % и по остальным залежам менее 1,0 %.

Максимальный средний прирост дебита 16,9 тонн/сут. получен по объекту ЮВ₁. По основному объекту БВ₈¹ прирост дебита в среднем составил 9,4 тонн/сут.

Динамика выполнения и дополнительная добыча нефти от проведения ГРП представлена на рисунке 1.

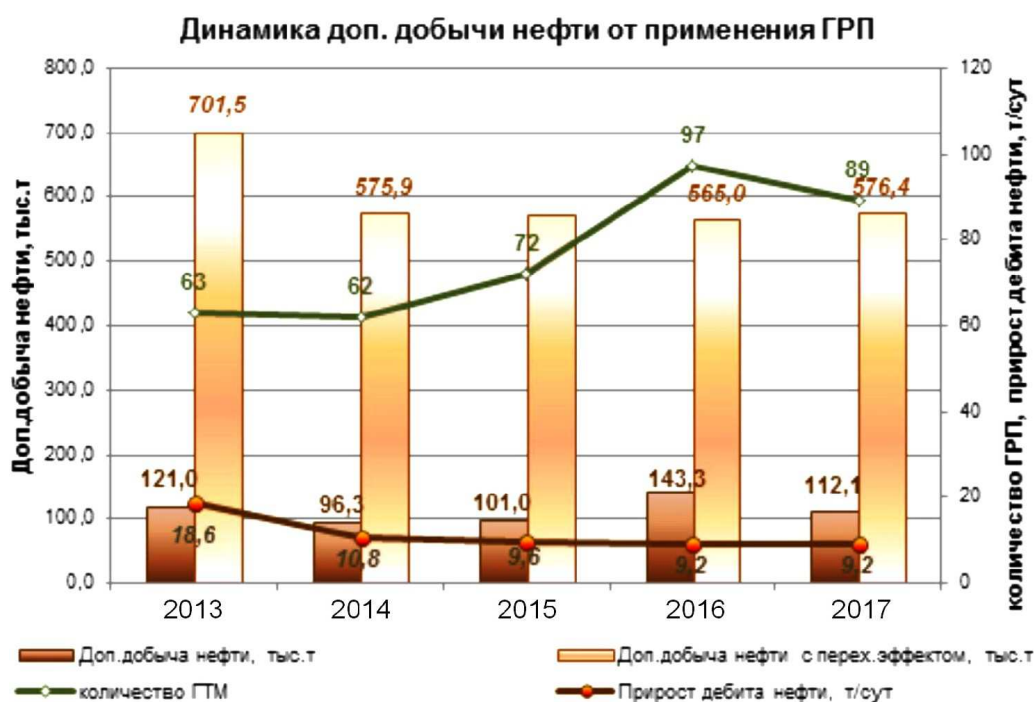


Рисунок 1 – Динамика выполнения и дополнительная добыча нефти от проведения ГРП

Средняя продолжительность эффекта от ГРП за период с 2013–2017 гг. составила 18 месяцев, максимальная по залежи объекта БВ₈¹ – 58 месяцев и по объекту ЮВ₁ – 54 месяца.

Максимальное количество ГРП приходится на 2016 год, когда было выполнено 97 операций при 94,8 % успешности, из них 95 или 97,9 % на объект БВ₈¹, по 1 операции – на объектах ЮВ₁ и ЮВ₅.

Средняя продолжительность эффекта от ГРП и удельная эффективность по объектам за 2013–2017 гг. приведена на рисунке 2.

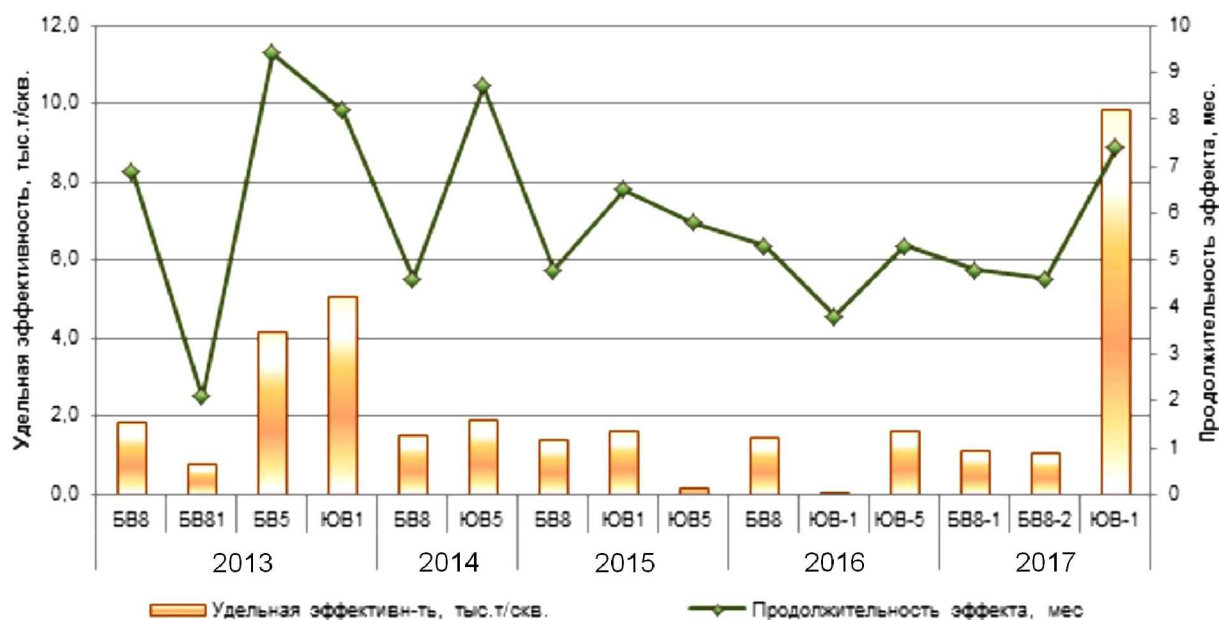


Рисунок 2 – Продолжительность работы скважин и удельная эффективность ГРП по объектам за 2013–2017 гг.

Процент успешных работ по ГРП за анализируемый период 2013–2017 гг. равен 94,6 %. В целом за пять лет наибольшая продолжительность эффекта от ГРП наблюдается по объектам БВ₈¹ и ЮВ₁, наименьшая – по объекту БВ₅. Наибольшая удельная эффективность получена по объекту ЮВ₁ – 3810 тонн/скв., наименьшая – по объекту БВ₈² (1272 тонн на скважину).



В 2013 году реализовано 63 операции ГРП на объектах БВ₈¹, БВ5 и ЮВ1 при успешности 96,8 %, дополнительная добыча составила 121,0 тыс. тонн с приростом дебита нефти 18,6 тонн/сут. Учитывая переходящий эффект, дополнительная добыча составила 701,5 тыс. тонн. Наибольшее количество ГРП было проведено на объекте БВ₈¹ – 58 скважино-операций или 92,1 % и дополнительно добыто 109,4 тыс. тонн нефти с приростом дебита 17,2 тонн/сут. После ГРП на трёх скважинах объекта БВ₈² получено дополнительно 2,4 тыс. тонн с приростом дебита 12,7 тонн/сут. нефти. Успешно проведён ГРП на объекте ЮВ₁ (пласт ЮВ₁¹⁻², скважина № 131Р) с эффектом 5,1 тыс. тонн, прирост дебита нефти составил 20,7 тонн/сут., а также ГРП на объекте БВ5 (скважина № 492ПО) с эффектом 4,2 тыс. тонн, прирост дебита нефти составил 14,8 тонн/сут.

В 2014 году на переходящем фонде скважин выполнено 62 скважино-операции ГРП, всего получено 96,3 тыс. тонн дополнительной нефти при среднем приросте дебита 10,8 тонн/сут. Учитывая переходящий эффект, дополнительная добыча составила 575,9 тыс. тонн, успешность составила 95,2 %. Из них 90,5 тыс. тонн (94 % всего объёма) из скважин объекта БВ₈¹, где дополнительно добыто 109,4 тыс. тонн нефти при среднем приросте дебита 11,1 тонн/сут., успешность составила 94,5 %. После ГРП на трёх скважинах объекта БВ₈² получено дополнительно 5,9 тыс. тонн с приростом дебита 7,5 тонн/сут. нефти, все операции успешны.

В 2015 году выполнено 72 операции ГРП, дополнительная добыча нефти от которых составила 101 тыс. тонн (с учётом переходящего эффекта 572,1 тыс. тонн), а средний прирост дебита нефти – 9,6 тонн/сут. В том числе на объекте БВ₈¹ реализовано ГРП на 69 скважинах с приростом дебита 9,8 тонн/сут. и дополнительной добычей 97,5 тыс. тонн. На объекте БВ₈² ГРП выполнен на 2 скважинах, дополнительно добыто 3,3 тыс. тонн с приростом дебита 8,4 тонн/сут. На юрских залежах в 2015 году был проведён один гидроразрыв пласта на скважине № 8369 (объект ЮВ₁ в районе скважины № 417ПО).

В 2016 году выполнено всего 97 операций по гидроразрыву пласта, дополнительная добыча нефти от которых составила 143,3 тыс. тонн. Учитывая переходящий эффект, дополнительная добыча составила 565,2 тыс. тонн, успешность составила 94,8 %. В том числе в 2016 году на основном объекте БВ₈¹ проведено и запущено после ГРП 95 скважин с приростом дебита нефти 9,3 тонн/сут. и дополнительной добычей 141,6 тыс. тонн. На залежи десятого объекта ЮВ1 в 2016 году был проведён один гидроразрыв пласта на скважине № 6804, прирост дебита нефти которой составил 0,7 тонн/сут., и один гидроразрыв был осуществлён на скважине № 2894 объекта БВ5, где прирост дебита нефти составил 9,6 тонн/сут., а дополнительная добыча 1,7 тыс. тонн.

В 2017 году выполнено всего 89 операций по гидроразрыву пласта на объектах БВ₈¹, БВ₈² и ЮВ₁ при успешности 95,5 %, дополнительная добыча составила 112,1 тыс. тонн с приростом дебита нефти 9,2 тонн/сут. Учитывая переходящий эффект, дополнительная добыча составила 576,3 тыс. тонн. В 2017 году на основном объекте БВ₈¹ проведено и запущено после ГРП 79 скважин с приростом дебита нефти 8,0 тонн/сут. и дополнительной добычей 92,1 тыс. тонн. На объекте БВ₈² операции ГРП выполнены на 9 скважинах, при этом дополнительно добыто 10 тыс. тонн нефти при приросте дебита 8,2 тонн/сут. На юрских залежах в 2017 году был проведён один гидроразрыв пласта на скважине № 6610, прирост дебита нефти составил 44,8 тонн/сут., а дополнительная добыча 9,9 тыс. тонн. Средний объём пропанта на скважину за 2017 год составляет 77,8 тонн. В таблице 2 представлены основные показатели эксплуатации скважин до и после ГРП в 2017 году, а также их эффективность.

Таблица 2 – Основные показатели эксплуатации скважин до и после ГРП в 2017 году

| Объект | Количество скважин | Параметры работы скважин до ГРП | | | Параметры работы скважин после ГРП | | | Прирост дебита, тонн/сут. | |
|------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|----------|
| | | дебит нефти, тонн/сут. | дебит жидкости, тонн/сут. | обводнённость, % | дебит нефти, тонн/сут. | дебит жидкости, тонн/сут. | обводнённость, % | нефти | жидкости |
| БВ ₈ ¹ | 79 | 4,4 | 13,6 | 67,8 | 11 | 56,2 | 80,4 | 8 | 36,4 |
| БВ ₈ ² | 9 | 1,8 | 4,1 | 56,7 | 7,5 | 41,7 | 81,9 | 8,2 | 31,2 |
| ЮВ ₁ | 1 | 0 | 0 | 0 | 41,6 | 112,4 | 63 | 44,4 | 94,7 |
| Итого | 89 | 4,1 | 12,5 | 67,3 | 11,0 | 55,4 | 80,2 | 8,4 | 36,5 |



Таблица 2 (продолжение) – Основные показатели эксплуатации скважин до и после ГРП в 2017 году

| Объект | Количество скважин | Изменение обводнённости, % | Дополнительная добыча нефти, тыс. тонн | Длительность работы скважины, сут. | Кратность увеличения, тонн/сут. | | Удельная эффективность, тонн/скв. |
|------------------------------|--------------------|----------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| | | | | | дебит нефти | дебит жидкости | |
| БВ ₈ ¹ | 79 | 12,6 | 92,1 | 145,4 | 2,5 | 4,1 | 1166 |
| БВ ₈ ² | 9 | 25,2 | 10,1 | 136 | 4,2 | 10,2 | 1122 |
| ЮВ ₁ | 1 | 63,0 | 9,9 | 175 | 5,2 | 9,3 | 9940 |
| Итого | 89 | 12,9 | 112,1 | 144,8 | 2,7 | 4,4 | 1260 |

В 2017 году средний процент обводнённости после проведения ГРП увеличился на 12,9 %, в том числе по объекту БВ₈¹ на 12,6 %, БВ₈² – на 25,2 % и по объекту ЮВ₁ – на 63,0 %.

При оценке процента воды после ГРП на действующем фонде необходимо принимать во внимание, что если идёт процесс обводнения скважины (скважина до ГТМ находится в зоне влияния фронта заводнения), то после проведения ГРП низка вероятность, что процесс обводнения продукции останется прежним, поскольку при ГРП дополнительно подключаются пропластки на длину трещины до 150 м от ствола, где уже присутствует нагнетаемая вода. Практика показывает, что процент обводнённости увеличивается более чем на 25 %.

Зачастую эффективность работ при проведении ГРП на объектах БВ5 и ЮВ₁ обусловлена залегаем нижележащих водонасыщенных пропластков, и при проникновении трещины ГРП они становятся основным источником притока, при этом в незначительной мере работают нефтенасыщенные части пласта.

Программа по гидроразрыву пласта, запланированная на период 2013–2017 гг. в объёме 392 скважино-операции, перевыполнена на 14 ед. (или 2,7 %). При этом фактическая величина дополнительной добычи нефти от мероприятий за 5 лет (6139 тыс. тонн) превысила проектную (4445,7 тыс. тонн) на 38,1 %, что обеспечило прирост коэффициента извлечения нефти на 0,014 доли ед.

Таким образом, существенное превышение проектных показателей добычи нефти на Вынгапуровском месторождении в большой степени связано с применением метода ГРП, что свидетельствует о его высокой эффективности и универсальности.

Литература:

1. Геологический отчёт ОАО «Газпромнефть – ННГ». – Ноябрьск, 2014.
2. Гумерский Х.Х., Жданов С.А., Гомзиков В.К. Прирост извлекаемых запасов нефти за счёт применения методов увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 38–41.
3. Письменский А.В., Арутюнян А.С., Савенок О.В. Математическое моделирование течения жидкости в перфорированных трубах // Ежемесячный научно-технический журнал «Нефтепромышленное дело». – М. : ВНИИОЭНГ, 2013. – № 8. – С. 38–40.
4. Поварова Л.В., Приходько М.Г., Савенок О.В. Факторы, обуславливающие экологическую опасность нефтедобычи / Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи «Экологические проблемы нефтедобычи – 2014» (21–23 октября 2014 года, г. Уфа). – Уфа : изд-во «РИЦ УГНТУ», 2014. – С. 28–32.
5. Савенок О.В., Арутюнян А.С., Петрушин Е.О. Анализ эффективности проведения потокоотклоняющих технологий на Вынгапуровском нефтегазоконденсатном месторождении // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2017. – № 4. – С. 16–20.
6. Яковлев А.Л., Самойлов А.С., Сезар Лину Андре, Джоакуим Моисес Висенте. Анализ применения и рекомендации потокоотклоняющих технологий на Вынгапуровском месторождении : Булатовские чтения / Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года): в 5 томах : сборник статей под общ. ред. д-ра техн. наук О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 323–331 – URL : <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2017/2/PDF/2017-V2-323-331.pdf>
7. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Шостак Н.А. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений : учебное пособие. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 203 с.
8. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.

References:

1. Geological report of JSC Gazpromneft – NNG. – Noyabrsk, 2014.
2. Gumersky H.H., Village of Zhdanov. And., Gomzikov V.K. Prirost of recoverable oil reserves due to application of methods of increase in oil recovery // Oil economy. – 2000. – No. 5. – P. 38–41.



3. Pismensky A.V., Arutyunyan A.S., Savenok O.V. Mathematical modeling of a current of liquid in the punched pipes // the Monthly scientific and technical magazine «Neftepromyslovoye Delo». – M. : VNIIOENG, 2013. – No. 8. – P. 38–40.
4. Povarova L.V., Prikhodko M.G., Savenok O. In the Factors causing ecological danger the oil production / Collection of reports of the IV International scientific and practical conference with elements of school of sciences for youth «Environmental problems of oil production – 2014» (on October 21–23, 2014, Ufa). – Ufa : RITS UGNTU publishing house, 2014. – P. 28–32.
5. Savenok O.V., Arutyunyan A.S., Petrushin E.O. The analysis of efficiency of carrying out potokootklonyayushchy technologies on the Vyngapurovsky oil-gas condensate field // the Scientific and technical magazine «Inzhenер-neftyanik». – M. : LLC Ai Dee Es Drilling publishing house, 2017. – No. 4. – P. 16–20.
6. Yakovlev A.L., Samoylov A.S., César Lina Andrée, Dzhoakuim Moises of Vicente. The analysis of application and the recommendation of potokootklonyayushchy technologies on the Vyngapurovsky field : Bulatovsky readings / Materials the I International scientific and practical conference (on March 31, 2017): in 5 volumes : the collection of articles under a general edition of the Dr. Sci. Tech. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2017. – T. 2: Development of oil and gas fields. – P. 323–331. – URL : <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2017/2/PDF/2017-V2-323-331.pdf>
7. Antoniadi D.G., Savenok O.V., Shostak N.A. Theoretical bases of development of oil and gas fields : manual. – Krasnodar : LLC Prosveshcheniye-Yug, 2011. – 203 p.
8. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repairs of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2012–2015. – T. 1–4.