



УДК 622.276.76

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИЗАЙНА РЕМОНТНО-ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ

CALCULATION METHODOLOGY FOR CONSTRUCTING THE DESIGN OF REPAIR AND INSULATION WORKS

Фаттахов Ирик Галиханович

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры разведки и разработки
нефтяных и газовых месторождений,
Институт нефти и газа федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»
(филиал в г. Октябрьском)
i-fattakhov@rambler.ru

Хуснутдинова Регина Рафаэлевна

ассистент кафедры разведки и разработки
нефтяных и газовых месторождений,
Институт нефти и газа федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»
(филиал в г. Октябрьском)
xusnutdinova.1986@mail.ru

Аннотация. Проблема обводнения добываемой продукции на этапе эксплуатации довольно частое явление. Причинами обводнения продукции скважин могут являться негерметичность обсадной колонны, плохое качество цементного камня за колонной, межпластовые перетоки пластовой жидкости и другие. Все эти осложнения в совокупности приводят к необходимости проведения ремонтно-изоляционных работ (РИР). В свою очередь, при производстве РИР конечный результат и эффективность во многом зависит от опыта и профессионализма персонала, выполняющего данные работы. Наряду с этим, остается актуальным вопрос результативности выполняемых работ. Решением данного вопроса является разработка методологии расчетов для построения дизайна ремонтно-изоляционных работ. Построение дизайна расширяет возможности для автоматизации систем по использованию ряда химических реагентов, последовательность выполнения операций с отражением основных технологических характеристик.

Ключевые слова: дизайн РИР, эффективность, методология расчета, дебит нефти, тампонажный состав.

Fattakhov Irik Galikhanovich

Doctor of Technical Sciences, Docent,
Professor of the Department of Exploration
and Development of Oil and Gas Fields,
Institute of Oil and Gas of the Federal State
Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Ufa State Petroleum Technical
University» (branch in Oktyabrsky)
i-fattakhov@rambler.ru

Khusnutdinova Regina Rafaelevna

Assistant of the Department of Exploration
and Development of Oil and Gas Fields,
Institute of Oil and Gas of the Federal State
Budgetary Educational Institution of Higher
Education «Ufa State Petroleum Technical
University» (branch in Oktyabrsky)
xusnutdinova.1986@mail.ru

Annotation. The problem of flooding of the extracted products at the stage of operation is quite common. The reasons for the flooding of well products may be leakage of the casing string, poor quality of cement stone behind the column, interplastic flows of reservoir fluid and others. All these complications together lead to the need for repair and insulation work (RIR). In turn, in the production of RIR, the final result and efficiency largely depends on the experience and professionalism of the personnel performing these works. Along with this, the issue of the effectiveness of the work performed remains relevant. The solution to this issue is to develop a calculation methodology for constructing the design of repair and insulation works. The construction of the design expands the possibilities for automation of systems for the use of a number of chemical reagents, the sequence of operations with the reflection of the main technological characteristics.

Keywords: RIR design, efficiency, calculation methodology, oil flow rate, grouting composition.

В данной работерассмотрены разработанные алгоритмы аналитических методов расчетов для построения дизайна РИР. Методика позволяет на основе расчета объема тампонажного состава, необходимого для применения выбранной технологии с учетом стоимости необходимых реагентов, заранее оценивать затраты, связанные с проведением работ. Ожидаемый положительный или отрицательный технологический результат РИР определяется устойчивостью водоизоляционного экрана, рассчитанной исходя из сравнения расчётной допустимой депрессии с прогнозируемой целевой депрессией после РИР. Сопоставление нескольких технологий для конкретных геолого-технических условий позволяет подобрать наиболее оптимальные из них с учетом, как технологической эффективности, так и стоимости планируемых работ [1–3]. Также методика позволяет оценить потенциальный дебит нефти после РИР.



Методология расчетов имеет определенную последовательность и состоит из следующих шагов:

- 1) ввод исходных данных;
- 2) расчет ожидаемого эффекта снижения заколонной циркуляции;
- 3) подбор метода РИР с помощью ранжирования карточек технологий (основной и альтернативные);
- 4) расчет требуемого количества реагентов;
- 5) расчет стоимости основного и альтернативных вариантов технологии;
- 6) обоснование выбранной технологии;
- 7) проведение РИР.

Так или иначе, вопрос проведения водоизоляционных работ сводится к решению задачи ограничения притока из водоносного пропластка, либо к изоляции канала связи с водоносным пластом [4–7].

Для этого необходимо решить ряд задач:

- выбрать тип изоляционной композиции;
- рассчитать потребный объем водоизоляционной композиции;
- спрогнозировать ожидаемый эффект от проведения работ.

Для построения дизайна РИР предлагается использовать аналитические расчеты. При моделировании заколонного перетока предполагается, что модель будет являться двухслойной – первый слой целевой пласт, второй слой – водоносный интервал.

Модель предполагает, что вертикальная скважина вскрывает оба пласта и поступление воды происходит из нижнего водоносного пласта.

Пусть скважина работает с дебитом жидкости $q_{ж}$ при забойном давлении P_3 . Обводненность продукции составляет $f(w)$ и контролируется поступлением воды по заколонному перетоку.

В таком случае на первом этапе определяется объем воды, поступающий из водоносного пласта по формуле 1:

$$q_v = k^*(q_{ж} - q_{ж} * (1 - обв)), \tag{1}$$

где q_v – дебита воды по водоносному прослою, м³/сут;

$q_{ж}$ – дебит скважины по жидкости, м³/сут;

обв – объемная обводненность скважины, д. ед;

k – коэффициент, учитывающий естественную обводненность целевого пласта (при условии принятия целевого пласта нефтенасыщенным равен 1, т.е. вся вода поступает из водоносного слоя).

На основании вычисленного дебита нефти и зная забойное давление можно рассчитать профиль давления в водоносном слое, используя формулу 2. Необходимость расчета профиля давления обусловлена ограничениями прочностных характеристик водоизоляционных составов:

$$P(r) = P_{заб} + \frac{q_v * B_v * \mu_v}{0,00708 * k * h} * \ln \frac{r}{r_c} * 0,130454. \tag{2}$$

Для решения требуется величина следующих фильтрационно-емкостных параметров водоносного пласта:

q_v – дебита воды по водоносному прослою, м³/сут;

k – проницаемость водоносного слоя, мДа;

h – толщина водоносного слоя, м;

r_c – радиус скважины, м;

B_v – объемный коэффициент, д. ед;

μ_v – вязкость воды, сП.

Результаты расчета представляют собой профиль давления на удаление от скважины.

Вычисленные по указанным формулам градиент dP/dr и суммарное изменение давления позволяет определить на какой радиус от скважины необходимо закачать композицию, для удовлетворения условия прочностных характеристик реагентов, представленного в формуле 3 [8]

$$dP/dr (r) < dP/dr_{прорыва}. \tag{3}$$

Следующим этапом, после выбора радиуса обработки, является расчет потребного объема реагента для проведения обработки по формуле 4:

$$V_{pear} = \pi * r^2 * h * m, \tag{4}$$

где r – принятый радиус обработки, м;

h – толщина водоносного слоя, м;

m – пористость пласта, д.е.



Ожидаемый эффект от проведения работ рассчитывается исходя из дополнительного фактора сопротивления, который обеспечивается закачкой водоизолирующего состава. Тогда снижение дебита воды определяется через добавление дополнительных фильтрационных сопротивлений за счет скин-эффекта [9–12]. Расчет осуществляется по формуле Хоукинса (5):

$$s = \left(\frac{K_s}{k} - 1 \right) * \ln \frac{R_s}{r_{скв}}, \quad (5)$$

где $r_{скв}$ – радиус скважины;
 R_s – радиус зоны обработки;
 k – проницаемость водоносного слоя, мДа;
 K_s – проницаемость скин зоны, определяется исходя из коэффициента изоляции водонасыщенной модели по формуле 6.

$$K_s = k - k * \left(\frac{100}{K_{изоляция}} \right). \quad (6)$$

Расчет скин-фактора позволяет рассчитать объем воды, поступающей из водоносного пласта, после проведения обработки по формуле Дююи (7):

$$q = \frac{0.00708 * k * h * (P_{пл} - P_{заб})}{\mu * B * \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + s \right) * 0.13}. \quad (7)$$

Сделав эти вычисления, возможно оценить дебит скважины и сокращение добычи воды после обработки.

Для обеспечения возможности проведения расчётов необходимо знать изоляционные характеристики используемых водоизоляционных композиций [13]. Определение в лабораторных условиях необходимых для расчета численных величин характеристик проводится на моделях пласта с использованием фильтрационной установки.

Подготовка модели пласта к проведению исследований начинается с обработки кварцевого песка. Песок засыпается в эксикатор, заливается 30 %-ным раствором соляной кислоты и, при периодическом перемешивании фарфоровой ложкой, выдерживается в кислотном растворе 72 ч. Затем, после слива кислотного раствора, песок промывают дистиллированной водой до полной нейтрализации раствора ($pH = 7$). В последующем, песок просушивается в сушильном шкафу при температуре 105–120 °С до постоянного веса [14].

Затем кварцевый песок неопределенной фракции перемалывается на шаровой мельнице в течение 3,0–3,5 ч. Молотый песок промывается дистиллированной водой.

Требуемые значения коэффициента проницаемости модели пласта обеспечиваются за счет подбора фракций кварцевого песка. Для этого перемолотый песок после просушивания рассеивается по фракциям. Рассеивание производится на специальных ситах.

Заполнение модели пласта производится следующим образом. Модель пласта (цилиндрический патрубок) ставится в вертикальное положение. Во внутреннюю полость ее засыпают песок. Предварительно песок подогревают до 40–50 °С, что способствует более плотной его упаковке. Песок засыпается порциями с перерывами для постукивания в течение 15 минут с интенсивностью 3 удара в секунду. Контроль нормальной засыпки осуществлялся по прекращению осаждения песка в модели при постукивании [14].

На торцах модели пласта устанавливают фильтры Шотта, препятствующие выносу в трубопроводы мелких фракций песка при фильтрации, улучшающие объемное распределение подаваемой в модель жидкости и уменьшающие языкообразование. Для устранения эффекта пристенного распространения жидкости, стенки модели пласта смазывают клеем, обеспечивающим создание жестко прикрепленного монослоя песка. При этом используется клей, химически нейтральный по отношению к химреагентам, используемым в испытаниях.

При подготовке модели пласта к испытаниям, для создания подобия водонасыщенного пласта используют пресную воду. Для создания водонасыщенности модели пласта используют вакуум, насыщающий образец.

Зная объем пор можно определить пористость. Если определяем пористость, применяя способ насыщения и взвешивания, то пористость будет неполной, так как некоторые замкнутые поры водой не заполняются. Такая пористость называется пористостью насыщения, которая, как правило, характерна в реальных условиях.

После насыщения модели пласта водой, определяют ее проницаемость по воде.

Изолирующие свойства исследуемых тампонажных составов определяются в следующей последовательности. В подготовленную модель пласта закачивают исследуемый тампонажный состав (моделирование закачки «скважина-пласт»). При этом фиксируют объем вытесненной жидкости к моменту появления закачиваемого состава. Далее фильтрацию тампонажного состава продолжают до стабилизации объемной скорости и давления. Ориентировочное количество прокачиваемой жидкости



не менее трех объемов пор пласта. В процессе фильтрации фиксируют давление нагнетания тампонажного состава и объем жидкости, профильтрованной за единицу времени. После этого модель пласта оставляют в покое на время структурирования тампонажного состава (обычно в течение 24 ч). Далее осуществляют процесс обратного вытеснения закачанного в модель пласта тампонажного состава замещающей водой (моделирование закачки «пласт-скважина»). При этом фиксируют давление и количество жидкости за единицу времени. Обратное вытеснение тампонажного состава также производят до стабилизации параметров фильтрации при постоянной объемной скорости закачки.

По результатам анализа проведенных лабораторных исследований следует, что для более детального понимания и прогноза эффективности РИР целесообразно проводить и использовать алгоритмы аналитических методов расчетов для построения дизайна РИР. Рассмотренная в данной работе методология расчетов помогает разрешить ряд задач, связанных с проведением водоизоляционных работ:

- подобрать тип тампонирующей композиции;
- рассчитать необходимый объем тампонирующей композиции;
- спрогнозировать успешность планируемых работ;
- оптимизировать и сократить затраты на этапе проектирования.

Так, зная геолого-технические характеристики по скважине в определенном регионе, мы можем определить необходимые ресурсы и материалы для проведения РИР, что в свою очередь, приведет к экономической эффективности.

Литература:

1. Prospects for the use of new technologies in assessing the impact of geological and technological risks / R.Z. Nurgaliev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019, 378(1), 012117
2. Application prospects for new technologies in geological and technological risk assessment / R.Z. Nurgaliev [et al.] // Gornyi Zhurnal. – 2019. – № 4. – P. 36–40.
3. Integral analysis aimed at identification and analytical solution of issues on oil recovery efficiency enhancement / R.N. Bakhtizin [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – № 11 (3). – P. 1612–1621.
4. Пути повышения эффективности ремонтно-изоляционных работ / О.А. Тяпов [и др.] // Бурение и нефть. – 2008. – № 9. – С. 44–47.
5. Сафиуллина А.Р., Андреев В.Е., Фаттахов И.Г. Обзор композиций для проведения водоизоляционных работ // Сборник научных трудов Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. ГАНУ «Институт стратегических исследований РБ». – Уфа, 2019. – С. 216–220.
6. Comprehensive Diagnostic and Water Shut-off in Open and Cased Hole Carbonate Horizontal Wells / N. Ahmad [et al.] // SPE 162287.
7. Разработка и подбор оптимальных рецептов тампонажного состава для проведения ремонтно-изоляционных работ / Фаттахов И.Г. [и др.] // Нефтяная провинция. – 2021. – № 4 (28). – Ч. 2. – С. 492–507. – DOI : <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.492-507>
8. Обзор опубликованных принципов вычислений, используемых для разработки дизайна ремонтно-изоляционных работ / Хуснутдинова Р.Р. [и др.] // Природные энергоносители и углеродные материалы & Natural energy sources and carbon materials. – 2021. – № 3 (09). – URL : energy-sources.esrae.ru/3-31.
9. Experimental investigation on the nanosilica-reinforcing polyacrylamide / Lifeng Chen [et al.] // Polyethylenimine hydrogel for water shutoff treatment American Chemical Society. – DOI :10.1021/ACS.ENERGYFUELS.8B00840
10. Successful Water Shutoff Treatment of Fractured Carbonate Horizontal Well Under Aquifer Pressure Support Paper presented at the Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference / Louis Hernando [et al.] // SPE-203394-MS. – Abu Dhabi, UAE, 2020. – URL : <https://doi.org/10.2118/203394-MS>
11. Gelation Behavior of Polyacrylamide Reinforced with Nano-Silica for Water Shutoff Treatment in Oil Field Solid State Phenomena (Vol. 307) / Abdul Fadil Nurhazwane [et al.]. – July 2020. – P. 252–257. – URL : <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.307.252>
12. Hydrogel swelling properties: comparison between conventional and nanocomposite hydrogels for water shutoff treatment Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering / Mohammadi Shabnam [et al.]. – Vol. 10. – Issue 5. – P. 743–753. – URL : <https://doi.org/10.1002/apj.1912>
13. Using artificial neural networks for analyzing efficiency of advanced recovery methods / I.G. Fattakhov [et al.] // Electronic scientific journal «Biosciences biotechnology research Asia». – 2015. – Vol. 12. – № 2. – P. 1893–1902. – URL : <http://www.biotech-asia.org/download/Irik-Galikhanovich-Ramzis-Rakhimovich-Kadyrov-Ildar-Danilovich-Nabiullin-Ramis-Rasilevich-Sakhibgaraev-and-Anatolij-Nikolaevich-Fokin/BBRAV12I02P1893-1902.pdf>
14. Жиркеев Александр Сергеевич. Совершенствование технологий и тампонажных составов для ремонтно-изоляционных работ в скважинах: Дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17. – Бугульма, 2005. – 141 с. РГБ ОД,61:05-5/3808

References:

1. Prospects for the use of new technologies in assessing the impact of geological and technological risks / R.Z. Nurgaliev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019, 378(1), 012117



2. Application prospects for new technologies in geological and technological risk assessment / R.Z. Nurgaliev [et al.] // *Gornyi Zhurnal*. – 2019. – № 4. – P. 36–40.
3. Integral analysis aimed at identification and analytical solution of issues on oil recovery efficiency enhancement / R.N. Bakhtizin [et al.] // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2016. – № 11 (3). – P. 1612–1621.
4. Ways to improve the efficiency of repair and insulation works / O.A. Tyapov [et al.] // *Drilling and oil*. – 2008. – № 9. – P. 44–47.
5. Safiullina A.R., Andreev V.E., Fattakhov I.G. Review of compositions for water insulation works // *Collection of scientific papers Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions. GHANA «Institute for Strategic Studies of the Republic of Belarus»*. – Ufa, 2019. – P. 216–220.
6. Comprehensive Diagnostic and Water Shut-off in Open and Cased Hole Carbonate Horizontal Wells / N. Ahmad [et al.] // *SPE* 162287.
7. Development and selection of optimal recipes of plugging composition for repair-isolation works / I.G. Fattakhov [et al.] // *Oil Province*. – 2021. – № 4 (28). – Part 2. – P. 492–507. – DOI : <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.492-507>.
8. Review of published principles of calculations used for design development of repair and insulation works / R.R. Khusnutdinova [et al.] // *Natural energy carriers and carbon materials & Natural energy sources and carbon materials*. – 2021. – № 3 (09). – URL : energy-sources.esrae.ru/3-31.
9. Experimental investigation on the nanosilica-reinforcing polyacrylamide / Lifeng Chen [et al.] // *Polyethylenimine hydrogel for water shutoff treatment American Chemical Society*. – DOI :10.1021/ACS.ENERGYFUELS.8B00840
10. Successful Water Shutoff Treatment of Fractured Carbonate Horizontal Well Under Aquifer Pressure Support Paper presented at the Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference / Louis Hernando [et al.] // *SPE-203394-MS*. – Abu Dhabi, UAE, 2020. – URL : <https://doi.org/10.2118/203394-MS>
11. Gelation Behavior of Polyacrylamide Reinforced with Nano-Silica for Water Shutoff Treatment in Oil Field Solid State Phenomena (Vol. 307) / Abdul Fadil Nurhazwane [et al.]. – July 2020. – P. 252–257. – URL : <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.307.252>
12. Hydrogel swelling properties: comparison between conventional and nanocomposite hydrogels for water shutoff treatment *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering* / Mohammadi Shabnam [et al.]. – Vol. 10. – Issue 5. – P. 743–753. – URL : <https://doi.org/10.1002/apj.1912>
13. Using artificial neural networks for analyzing efficiency of advanced recovery methods / I.G. Fattakhov [et al.] // *Electronic scientific journal «Biosciences biotechnology research Asia»*. – 2015. – Vol. 12. – № 2. – P. 1893–1902. – URL : <http://www.biotech-asia.org/dnload/Irik-Galikhanovich-Ramzis-Rakhimovich-Kadyrov-Ildar-Danilovich-Nabiullin-Ramis-Rasilevich-Sakhigaraev-and-Anatolij-Nikolaevich-Fokin/BBRAV12I02P1893-1902.pdf>
14. Zhirkeev Alexander Sergeevich. Improvement of technologies and grouting compositions for repair and insulation work in wells: Dis. ... cand. of Techn. Sciences : 25.00.17. – Bugulma, 2005. – 141 p. RGB OD,61:05-5/3808.