



ПРИМЕНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

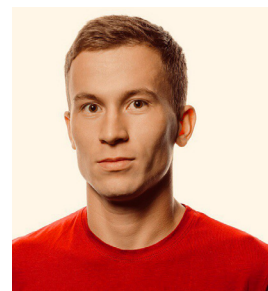
В статье рассмотрены методы поддержания пластового давления закачкой воды различной минерализации в продуктивные пласты нефтяных месторождений и способы увеличения нефтеотдачи. Также рассматривается проблема выбора воды для реализации выбранных технологий, поднимается экологическая проблема, связанная с истощением источников пресной воды. Целью данной работы является выявление оптимальных подходов при поддержании пластового давления. Для достижения данной цели рассмотрены методы и технологии, которые существуют на данный момент. В ходе ретроспективного анализа рассмотрены исследования, показывающие преимущества использования подземных минерализованных вод и системы внутрискважинной и межскважинной перекачки вод для оптимизации добычи нефти и поддержания пластового давления.

Ключевые слова: нефть, пластовое давление, вода, кустовая насосная станция, пласт, внутрискважинная перекачка, межскважинная перекачка.

В настоящее время нефтепродукты и сырье, получаемые из нефти, являются неотъемлемой составляющей нашей повседневной жизни. Из нефтяного сырья производятся различные продукты, такие, как топливо, парафин, пластмасса, синтетические волокна, каучук, масла, которые нашли широкое применение во всем мире. С начала 19 века ведется промышленная добыча нефти как ценного ископаемого, и с тех пор нефтяная индустрия претерпела множество инноваций. Согласно данным журнала «Добы-

вающая промышленность» [1], с момента первого извлечения нефти из недр до настоящего времени общее количество добытой нефти достигло 190 миллиардов тонн. Сегодня основным направлением рационального использования недр является максимально полное извлечение нефти и других ценных ископаемых из месторождений.

С этой целью применяются разнообразные методы увеличения нефтеотдачи (МУН) пластов. На начальных и последующих этапах используются первичные методы, такие как барьерное и очаговое за-



Ахунув Ш. М.
АГНИ, инженер
лаборатории
фильтрационных
исследований центра
науч.-технич.
исследований
sh.ahunov@agni-rt.ru

воднение, направленные на вытеснение нефти под действием нагнетаемой воды. Заводнение выступает не только в роли метода повышения нефтеотдачи пластов, но и является основным механизмом поддержания пластового давления. Тем не менее, практика внедрения МУН подтверждает, что их эффективность в значительной степени зависит от правильного выбора метода в соответствии с конкретными условиями месторождения [2].

При проектировании разработки нефтяных месторождений возникает вопрос выбора воды для поддержания пластового давления на начальных этапах разработки. При рациональной добыче нефти из пластов необходимо сохранить материальный баланс, т.е. объем извлеченной нефти должен соответствовать объему воды, закачиваемой в пласт. Нарушение этого условия может привести к уменьшению пластового давления, что в свою очередь может вызвать ряд осложнений.

Одной из основных проблем, возникающих при снижении пластового давления, является изменение режима работы пласта. По мере уменьшения пластового давления ниже давления насыщения из нефти начинает выделяться газ, что может привести к переходу от режима растворенного газа к режиму газовой шапки. Этот переход влечет за собой увеличение вязкости нефти и, следовательно, снижение ее подвижности. Кроме того, газ может прорываться в добывающие скважины, так как подвижность газа больше, чем у нефти, и по мере движения газа к забою скважин он будет, расширяясь, уменьшать фазовую проницаемость пласта по нефти.

Поддержание пластового давления технологически достаточно сложный процесс, связанный с материальными затратами. Рациональная реализация данного метода зависит от количества и качества закачиваемой воды и компенсации отбора нефти закачкой. Для оптимального поддержания давления в пласт закачивается на 10% больше воды, чем добывается нефти, это связано с перетоками жидкости в законтурные части. При реализации централизованной системы ППД для обеспечения требуемого объема воды строятся водозаборные сооружения на поверхностных водоемах, откуда вода после прохождения специальной подготовки поступает в кустовые насосные станции (КНС) и затем нагнетается в пласт. Данная технология имеет ряд недостатков:

- 1) истощаются запасы пресной воды;
- 2) для подготовки данной воды требуются очистные сооружения;
- 3) большая металлоёмкость: требуется строительство трубопроводов, КНС и насосы, способные перекачивать данный объем воды и создавать требуемое давление;

4) наличие свободного кислорода увеличивает коррозионную активность воды и создает благоприятные условия для размножения бактерий.

При содержании глины в пределах от 1 до 4-5% в коллекторе продуктивного пласта, при закачке воды, у которой минерализация меньше минерализации пластовой воды, глина будет разбухать и приведет к осложнениям и даже к авариям [3]. Известен опыт разработки нефтяного месторождения в республике Татарстан, когда в заглинизированный пласт закачивалась пресная вода, и из-за разбухания глины в одиннадцати скважинах разрабатываемого объекта возникли аварии, связанные со смятием обсадных колонн. По этой же причине между нагнетательными скважинами, через которые закачивалась пресная вода, и реагирующими с ними добывающими уменьшился коэффициент проницаемости.

По мере разработанности объектов появляется попутно добываемая вода, что снижает потребность в воде из внешних источников за счет применения сточной воды в целях поддержания пластового давления. Использование сточных вод имеет ряд своих недостатков:

- 1) выпадение неорганических солей при несовместимости пластовой и закачиваемой воды;
- 2) требуется очистка от твердых взвешенных частиц, выносимых из пласта и эмульсий нефти;
- 3) попадание кислорода в очистные сооружения открытого типа и дальнейшее бактериальное загрязнение пласта.

Вместе с тем закачиваемая вода вступает во взаимодействие с остаточной пластовой водой, которое может привести к выпадению осадков. Компоненты двух или нескольких растворов не реагируют между собой только при идентичности химического состава вод (химической совместимости) и их пребывании в равновесном состоянии. Однако добиться полной идентичности, используя для ППД сточные воды, весьма сложно, особенно с учётом различий и непостоянства их химического состава на разных объектах, воды одного и того же объекта, отобранные из различных скважин, могут иметь различный химический состав. При использовании в качестве агента заводнения пересыщенных рассолов возможно выпадение осадка из самой воды. Наряду с минеральными солями в закачиваемой воде могут присутствовать продукты коррозии, частицы породы, нефть, которые при закачке могут закупоривать перфорационные отверстия, поровые каналы и уменьшать проницаемость коллектора. Поэтому к подготовке вод, используемых в системе ППД, предъявляются строгие требования. Согласно российскому отраслевому стандарту «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству» допустимое содержание механических примесей и нефти в

воде в зависимости от типа порового пространства коллектора может составлять от 3 до 50 мг/л. Для внутриконтурного заводнения нефтяных залежей Азербайджана А.Р. Ахундовым сформулированы требования к качеству закачиваемой воды, в соответствии с которыми она должна быть по составу близкой к пластовой и стабильной (при температуре пласта не давать осадка солей), не иметь взвеси более 1 мг/л, не содержать глинистых частиц, а также нефти более 3...5 мг/л [4]. Перечисленные основные требования к качеству воды затрудняют выбор источников и повышают статус технологий водоподготовки с целью обеспечения приемлемых кондиций.

Технологическое решение использования подземных минерализованных вод позволило устранить ряд технических, технологических, экономических и экологических проблем централизованной системы ППД. Подземные минерализованные воды близки по физико-химическим свойствам к пластовым водам нефтеносных горизонтов и обладают лучшими нефтевымывающими свойствами. Для закачки подземных минерализованных вод используются системы межскважинной перекачки (МСП) и внутрискважинной перекачки (ВСП). Воды сенамского яруса, используемые в качестве добываемого пласта для ВСП и МСП, имеют температуру около 40 градусов – чуть больше температуры девонских пластов Урало-Поволжья. Они не охлаждают пласт и не вызывают увеличения вязкости нефти и выделения парафина, что позволяет, благодаря схожему химическому составу, предотвратить выпадение на месторождениях гипса, а в Западной Сибири и Азербайджане – кальцита, избежать стимулирования бактериальной сульфатредукции и роста содержания сероводорода.

В своей статье Галиев Р.Н. рассматривает актуальность применения подземных минерализованных вод для поддержания пластового давления. Нагнетание высокоминерализованной воды в нефтяные пласты позволяет увеличивать нефтеотдачу и сохранять, а в некоторых случаях даже повышать проницаемость заглинизированной части коллектора, так как глина не разбухает в воде, если ее минерализация равна или больше начальной минерализации «родной» пластовой воды. Различные исследования и накопленный большой производственный опыт показывают, что использование подземных минерализованных вод позволяет увеличить нефтеотдачу пластов на 3-10% по сравнению с пресной водой. Также автор указывает, что подземные воды не требуют специальной подготовки перед закачкой [5].

Ученые из ОАО «СибНИИ НП» отдела физики пласта провели 18 лабораторных исследований совместимости закачиваемой воды с пластовой водой и породой пласта. На первом этапе через

модель прокачивалась пластовая «родная» вода и измерялась проницаемость для данного типа воды, данную проницаемость брали за базовую. На втором этапе через модель прокачивалась вода с меньшей минерализацией и измерялась проницаемость. На третьем этапе проницаемость измерялась после прокачки пресной воды. После проведения серии повторных экспериментов авторы пришли к выводу, что для пластов АС10 и АС12, коллекторы которых представлены песчаниками, при контакте породы с менее минерализованными водами (по сравнению с «родной» пластовой водой) проницаемость снижается. Наибольшее снижение наблюдается при прокачке пресной воды. Такое явление авторы связывают с физико-химическими процессами, которые происходят в породе во время смешения воды разной минерализации [6].

В ПермНИПИнефти ученые выявили, что минерализация закачиваемой воды влияет не только на проницаемость, но и на вытесняющие способности воды. Во время экспериментов наблюдалось снижение поверхностного натяжения на границе нефти с пластовой водой с одновременным уменьшением размера капли нефти в пластовой воде в 2,4-2,9 раза по сравнению с пресной водой. Таким образом, пластовые воды, обладая более высокими отмывающими свойствами, увеличивают коэффициент вытеснения нефти [7].

Применение ВСП обладает рядом серьезных преимуществ по сравнению с централизованной системой с использованием КНС. Главным образом это связано со снижением затрат на обустройство системы ППД, отсутствием КНС. Особенно это важно на мелких объектах разработки, находящихся вдали от КНС. Применение данной технологии обеспечивает увеличение добычи нефти за счет того, что закачивается минерализованная вода вместо пресной [8]. ВСП обладает рядом следующих преимуществ:

- отбор и закачка воды происходит непосредственно в одной скважине и не происходит контактирования воды с воздухом и насыщения кислородом;

- нет необходимости строительства громоздких водозаборных сооружений, водоводов и кустовых насосных станций, что способствует снижению металлоемкости и экономических затрат.

Гарифов К.М., Ибрагимов Н.Г. опубликовали патент на установку внутрискважинной перекачки воды из нижнего пласта в верхний. Изобретение содержит колонну лифтовых труб, пакер, электроцентробежный насос с электродвигателем. Согласно изобретению на входе насоса установлен обратный клапан, через который упомянутый насос имеет возможность сообщаться с колонной лифтовых труб, в которых имеются отверстия для

подачи воды в межтрубное пространство и дальнейшего нагнетания в пласт. При этом для контроля за темпами разработки между отверстиями в трубах и насосом установлен расходомер [9]. В другом патенте, автором которого является Нагуманов М.М., речь идет о способе внутрискважинной перекачки воды из верхних водоносных в нижние нефтеносные пласты с фильтрацией закачиваемой жидкости. Данная установка актуальна для применения в скважинах, где порода в прискважинной зоне слабосцементированная, вследствие чего будет выноситься песок. Заявленный способ позволяет облегчить процесс закачки воды, а также увеличить межремонтный период скважинного оборудования за счет очищения жидкости от механических примесей и предотвращения забивания забоя скважины [10].

Реализацию системы ВСП можно решить не только установкой электроцентробежных насосов, но и с помощью штанговых глубинных насосных установок (ШГНУ). Поставленная задача решается с помощью штанговой насосной установки для внутрискважинной перекачки пластовых вод, содержащей колонну насосных труб, колонну штанг, связанных с глубинным насосом, включающим в себя цилиндр с всасывающим клапаном и плунжер с нагнетательным клапаном, спущенными в эксплуатационную колонну скважины с перфорированными участками напротив нефтеносного и водоносного пластов, и пакер, установленный на хвостовике колонны насосных труб и перекрывающий затрубное пространство выше водоносного пласта. Согласно изобретению насос выполнен трубным и расположен в колонне насосных труб выше хвостовика, при этом цилиндр его снабжен боковыми отверстиями, расположенными на таком уровне, что в положении плунжера в нижней мертвой точке они остаются открытыми и гидравлически связывают внутреннюю полость колонны насосных труб с затрубным пространством скважины выше пакера, а в верхней мертвой точке – перекрытыми, причем исследование работы установки с подъемом добываемой воды на поверхность реализуется путем перекрытия боковых отверстий плунжером в пределах его рабочего хода, осуществляемого путем перепосадки плунжера в цилиндре с устья скважины [11].

Кроме систем ВСП на нефтяных объектах применяются системы МСП. Для реализации данной технологии применяются две или более скважины, одна из которых является добывающей, другие нагнетательными. Добывающие скважины также могут называться акцепторами или донорами. Устье добывающей скважины обвязывается с устьем нагнетательной, и добываемая вода без стадий подготовки закачивается в продуктивный пласт. Существуют схемы закачки

с использованием КНС, когда вода из скважин подается на КНС и по разводящим водоводам перекачивается до нагнетательных скважин. По сравнению с технологией, где используется одна скважина для добычи и закачки жидкости в пласт, МСП имеет преимущество в том плане, что одна добывающая скважина может обеспечивать водой порядка до 12 нагнетательных.

Институт ТатНИПИнефть, тесно сотрудничая с геологическими службами, разработал новую технологию разработки карбонатных коллекторов. Технология включает в себя площадную систему расположения скважин с вертикальными и горизонтальными окончаниями и нагнетательной скважиной в центре элемента. В первую очередь будут буриться скважины для МСП воды и обвязываться устья добывающих воду скважин с устьями нагнетательных. По их расчётам такой подход к разбуриванию позволяет сократить расходы на магистральные водоводы высокого давления и позволит перекачивать воду без её охлаждения, то есть в пласт будет закачиваться вода, температура которой близка к температуре пласта, и будут использованы преимущества изотермического заводнения. Результатом применения данной технологии разработки стал ежегодный рост добычи нефти по кизеловскому горизонту [12].

Для МСП могут использоваться не только выше или нижележащие водоносные пласты, но и обводнившиеся продуктивные пласты. В патенте [13] описан метод межскважинной перекачки, где в качестве водозаборных скважин используются бывшие добывающие скважины с обводненностью добываемой жидкости более 98%. Отбор пластовой воды ведут из обводнившегося продуктивного пласта и закачивают в невыработанные продуктивные пласты. В водозаборной скважине разделяют нефть и воду, и последнюю сразу направляют по водонапорным линиям в нагнетательные скважины. Разделенная нефть накапливается в межтрубном пространстве, и по мере накопления скважину останавливают и обратным потоком воды нефть из межтрубного пространства вытесняют в сборный трубопровод и затем запускают скважину в работу.

Так же, как и в случае ВСП, при реализации МСП могут применяться, наряду с установками электроцентробежных насосов (УЭЦН), установки скважинных штанговых насосов (УСШН). Валовский пишет, что УЭЦН не экономичны и потребляют большое количество электроэнергии. Применение УСШН с длинноходными цепными приводами позволяет снизить потребление электроэнергии в 2-3 раза [14]. Другим преимуществом использования данных установок является то, что в них, благодаря применению насосов объемного действия, можно создавать такое требуемое дав-

ление, которое нужно, чтобы закачать воду в продуктивные пласты, и, следовательно, отпадает потребность в установке дополнительных насосных станций для увеличения давления, как это может потребоваться при использовании УЭЦН.

Существует множество различных способов поддержания пластового давления, они постоянно развиваются и появляются более технологические и экономические методы. По результату обзора научно-технической литературы можно сделать следующие выводы:

- для поддержания пластового давления нефтяных месторождений в основном используется метод заводнения; в качестве агента заводнения могут быть использованы пресные воды из поверхностных водоемов, а также сточные или пластовые воды;

- закачка подземных минерализованных вод может быть экологически более предпочтительной альтернативой использованию воды, что позволяет сократить использование пресной воды;

- применение внутрискважинной и межскважинной перекачки подземных минерализованных вод позволяет поддерживать пластовое давление и оптимизировать процессы нефтедобычи; применение данных технологий позволяет уменьшить металлоемкость конструкций и экономические затраты, в результате чего можно сократить время, требуемое для развития мощностей заводнения, обеспечивая высокие темпы отбора нефти;

- при реализации систем поддержания давления пласта по технологиям ВСП и МСП могут применяться наряду с установками электроцентробежных насосов установки штанговых глубинных насосов;

- наблюдается увеличение проницаемости нефтяных коллекторов и дополнительной добычи нефти при использовании высокоминерализованной воды, следовательно, закачку подземных минерализованных вод можно рассматривать как метод увеличения нефтеотдачи пластов. ^{XXI}

Литература

1. Мировые запасы нефти и газа: официальный сайт. – ООО «ПромоГрупп Медиа», 2016-2023. – URL: <https://dprom.online/oilgas/mirovye-zapasy-nefti-i-gaza-konets-uzhe-blizok/?ysclid=lo609n7z3580538612> (дата обращения 08.01.2024).
2. Юшков, И.Р. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учеб.-метод. пособие / И.Р. Юшков, Г.П. Хижняк, П.Ю. Илюшин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 177 с.
3. Ольховская, В.А. Проблемы начального этапа эксплуатации нефтяного месторождения в условиях несовместимости пластовой и закачиваемой вод / В.А. Ольховская, И.А. Стручков, А.А. Ризванов, А.С. Трусова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. № 2. С. 54-63.
4. Чоловский, И.П. Нефтегазопромысловая геология и гидрогеология залежей углеводородов / И.П. Чоловский, М.М. Иванова, И.С. Гутман, С.Б. Вагин, Ю.И. Брагин. – М.: Изд-во "Нефть и газ", 2002. – 445 с.
5. Галиев, Р.Н. Актуальность применения пластовой минерализованной воды в целях поддержания пластового давления [текст] / Р.Н. Галиев // Научный электронный архив. – 2020
6. Машорин, В.А. Исследование влияния минерализации закачиваемых вод на проницаемость коллекторов Верхне-Шапшинского месторождения. [Текст] / Машорин В.А., Фоминых О.В. // Журнал "Нефтяное хозяйство" №12, 2013, с. 120-121.
7. Хижняк, Г.П. Эффективность вытеснения нефти пластовыми водами по данным лабораторных исследований керна. [Текст] / Хижняк Г.П., Распопов А.В., Ефимов А.А. // Журнал "Нефтяное хозяйство" №10, 2011, с. 60-61.
8. Булатов, А.В. Внутрискважинная перекачка жидкости [текст] / А.В. Булатов // Журнал «Приоритеты стратегии научно-технологического развития России и обеспечение воспроизводства инновационного потенциала высшей школы». – 2019. №2. – С. 33-37.
9. Гарифов, К.М., Ибрагимов, Н.Г., Фадеев, В.Г., Федотов, Г.А., Кадыров, А.Х., Рахманов, И.Н., Глуходед, А.В., Балбошин, В.А. Установка для внутрискважинной перекачки воды из нижнего пласта в верхний (варианты) [текст] / К.М. Гарифов, Н.Г. Ибрагимов, В.Г. Фадеев, Г.А. Федотов, А.Х. Кадыров, И.Н. Рахманов, А.В. Глуходед, В.А. Балбошин // Патент №2351749. – 2009.
10. Нагуманов, М.М., Аминев, М.Х., Шамилов, Ф.Т. Способ внутрискважинной перекачки и установка для перекачки жидкости из верхнего пласта скважины в нижний с фильтрацией [текст] / М.М. Нагуманов, М.Х. Аминев, Ф.Т. Шамилов // Патент №2485293. – 2011.
11. Ибрагимов, Н.Г., Тазиев, М.З., Закиров, А.Ф., Таипова, В.А., Джафаров, М.А. Штанговая насосная установка для внутрискважинной перекачки пластовых вод [текст] / Н.Г. Ибрагимов, М.З. Тазиев, А.Ф. Закиров, В.А. Таипова, М.А. Джафаров // Патент №2354848. – 2007.
12. Подавалов, В.Б., Яртиева, А.Ф., Морозов, П.Г. Эффективность бурения скважин на Коробковском участке Бавлинского месторождения [текст] / В.Б. Подавалов, А.Ф. Яртиева, П.Г. Морозов // Журнал «Георесурсы». – 2016. №2. – С. 111-114.
13. Рахманов, А.Р., Ахмадиев, Р.Н., Калимуллин, Р.Т., Валовский, К.В., Басос, Г.Ю., Валовский, В.М. Способ межскважинной перекачки жидкости [текст] / А.Р. Рахманов, Р.Н. Ахмадиев, Р.Т. Калимуллин, К.В. Валовский, Г.Ю. Басос, В.М. Валовский // Патент № 2503805. – 2012.
14. Валовский, В.М. Расширение области применения установок скважинных штанговых насосов для межскважинной перекачки пластовой воды [текст] / В.М.

UDC: 622.276.43

Sh.M. Akhunov, Engineer of the filtration research laboratory of the Centre for Scientific and Technical Research, sh.ahunov@agni-rt.ru

APPLICATION OF UNDERGROUND MINERALISED WATER TO MAINTAIN RESERVOIR PRESSURE AT OIL FIELDS

Abstract: The article explores methods of maintaining reservoir pressure through the injection of water with varying mineral content into the productive layers of oil fields, along with strategies for increasing oil recovery. It also addresses the challenge of selecting water for implementing these technologies, highlighting environmental concerns related to the depletion of freshwater sources. The objective of this study is to identify optimal approaches for maintaining reservoir pressure. To achieve this goal, current methods and technologies are examined. Through retrospective analysis, research is reviewed demonstrating the advantages of using underground mineralized water and intra-well and inter-well water injection systems to optimize oil extraction and maintain reservoir pressure.

Keywords: oil, reservoir pressure, water, wellhead pumping station, reservoir, intra-well injection, inter-well injection.