



Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

**Методы повышения нефтеотдачи и обработки призабойной зоны
пластов**

Методы увеличения нефтеотдачи

Лекция 4

Гидродинамические методы повышения нефтеотдачи пластов при заводнении

- Выделяется две группы методов:
- первая группа - методы, которые чаще применяются на промыслах ввиду своей простоты в технологии реализации, но по степени воздействия на пласты они слабее, чем методы второй группы;
- вторая группа - методы воздействия, основанные на изменениях первоначально принятых систем размещения скважин и воздействия.
- Методы гидродинамического воздействия на продуктивные пласты применяются обычно в различных сочетаниях друг с другом одновременно, а эффективность какого-либо одного метода взаимосвязана с объемом применения других.

- К первой группе относятся те методы гидродинамического воздействия, которые осуществляются только через изменения режимов работы скважин и направлены на вовлечение в активную разработку слабодренлируемых запасов.
- Эти методы объединяются названием «нестационарное заводнение» и включают в себя:

В нагнетательных скважинах

- повышение давления нагнетания;
- циклическое заводнение, т.е. импульсное снижение (прекращение) закачки воды;
- перераспределение расходов по группам нагнетательных скважин (перемена направлений фильтрационных потоков);
- одновременно-раздельная закачка воды в разные пласты через одну скважину;
- избирательная закачка воды в низкопроницаемые пропластки и пласты;
- методы обработки призабойной зоны, которые изменяют режим работы и восстанавливают потенциал скважин (гидроимпульсное, волновое воздействие и др.);
- другие методы измерения режимов работы нагнетательных скважин (гидроразрыв пласта, поинтервальные обработки и др.);

в добывающих скважинах

- изменение отборов жидкости в целом по объекту разработки, по отдельному пласту, блоку, зоне, участку или группе добывающих скважин;
- форсированный отбор жидкости из групп скважин или из отдельных скважин данного участка, зоны, блока;
- периодические временные остановки и пуски групп скважин или отдельных скважин;
- одновременно-раздельная эксплуатация скважин в многопластовых объектах;
- оптимизация перепадов давления между пластовым и забойным давлениями;
- многообъемное внутрипластовое воздействие по ограничению водопритоков (изоляционные работы);
- системные обработки призабойной зоны, гидроразрыв пласта, поинтервальное повышение продуктивности скважин (дострелы, перестрелы и др.);
- забуривание вторых и горизонтальных стволов.

Ко второй группе относятся методы, направленные на вовлечение в разработку ранее недренированных или слабодренируемых, запасов (участков, зон и пропластков) неоднородного прерывистого пласта.

Эти методы (мероприятия) отличаются большим разнообразием по технологии воздействия на пласты, степень влияния их на технико-экономические показатели разработки весьма высоки и поэтому они обосновываются в проектных документах (технологических схемах, проектах разработки и доработки), анализах разработки и авторских надзорах.

К ним относятся:

- перенос фронта нагнетания воды в имеющиеся скважины;
- организация дополнительных рядов нагнетательных скважин в блоковых системах разработки путем перевода добывающих скважин в нагнетательные;
- организация очагов закачки воды в отдельные добывающие скважины;

- вовлечение в разработку недренируемых запасов нефти в линзах, тупиковых и застойных зонах, низкопроницаемых прослоях путем бурения дополнительных добывающих или нагнетательных скважин, перевода скважин с других объектов или пластов, разукрупнения объектов, организации зон и полей самостоятельной разработки;
- организация барьерной, площадной и других модификаций внутриконтурного воздействия путем закачки воды с целью выработки запасов нефти в обширных подгазовых зонах газонефтяных месторождений;
- другие новые технологии заводнения для сложнопостроенных залежей и трудноизвлекаемых запасов нефти.

Методы гидродинамического воздействия на продуктивные пласты применяются обычно в различных сочетаниях друг с другом одновременно, а эффективность какого-либо одного метода взаимосвязана с объемом применения других.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МУН

Нестационарное (циклическое) заводнение (НЗ)

Чередующийся режим закачки и отбора
Циклическое заводнение
Импульсная закачка и отбор

- Виды:
1. Классический
 2. Перекрестный
 3. Через ряд
 4. Через одну в ряду
 5. Блочно-угловой
 6. Круговое
 7. Синусоидальное
 8. Рядно линейно-переменное
 9. Блочно-площадное
 10. Блочное с чередованием отбора и закачки

Ввод недренируемых запасов (ВЗ)

Разукрупнение эксплуатационных объектов
Одновременная-раздельная эксплуатация (ОРЭ)
Оптимизация плотности сетки скважин путем бурения дополнительных скважин

в тулковых зонах
в застойных зонах
на линиях стигмания контуров нефтеносности
ВНЗ
в слабопроницаемых зонах
в подгазовых зонах

Полное
Частичное

Технология оптимальной выработки пласта

Форсированный отбор жидкости (ФОЖ)

С высокой эффективностью форсировки
С удвоительной эффективностью форсировки
С низкой эффективностью форсировки

Геолого-физические методы (ГФМ)

Оптимизация давления нагнетания, пластового и забойного давления
НЗ и ИНФП
Применение прогрессивных методов первичного и вторичного вскрытия пластов
Применение новейших методов стимуляции скважин
КТРТК,
КТРТК ВН,
КТРКК

Барьерное заводнение на газонефтяных залежах

Объектом гидродинамического воздействия следует считать объем пласта, отделенный от других его частей естественными границами: литологическими, тектоническими нарушениями, сбросами и т.д., а также искусственно созданными линиями нагнетательных скважин.

К объектам гидродинамического воздействия относятся:

- блоки рядных и элементы площадной, избирательной и других систем размещения добывающих и нагнетательных скважин;
- зоны распространения различных типов коллекторов в объеме продуктивного горизонта;
- самостоятельные участки, блоки, поля разработки (ВНЗ, ГНЗ, низкопроницаемых зон и др.), отделенные от других частей залежи естественными или искусственно созданными границами;
- водонефтяные зоны, отделенные от чистонефтяных рядами нагнетательных скважин;
- подгазовые зоны, отделенные от нефтяных и газовых зон барьерами нагнетательных скважин (барьерное заводнение и его модификации);
- другие участки, пропластки, линзы, тупиковые зоны, выделяемые в самостоятельные элементы разработки.

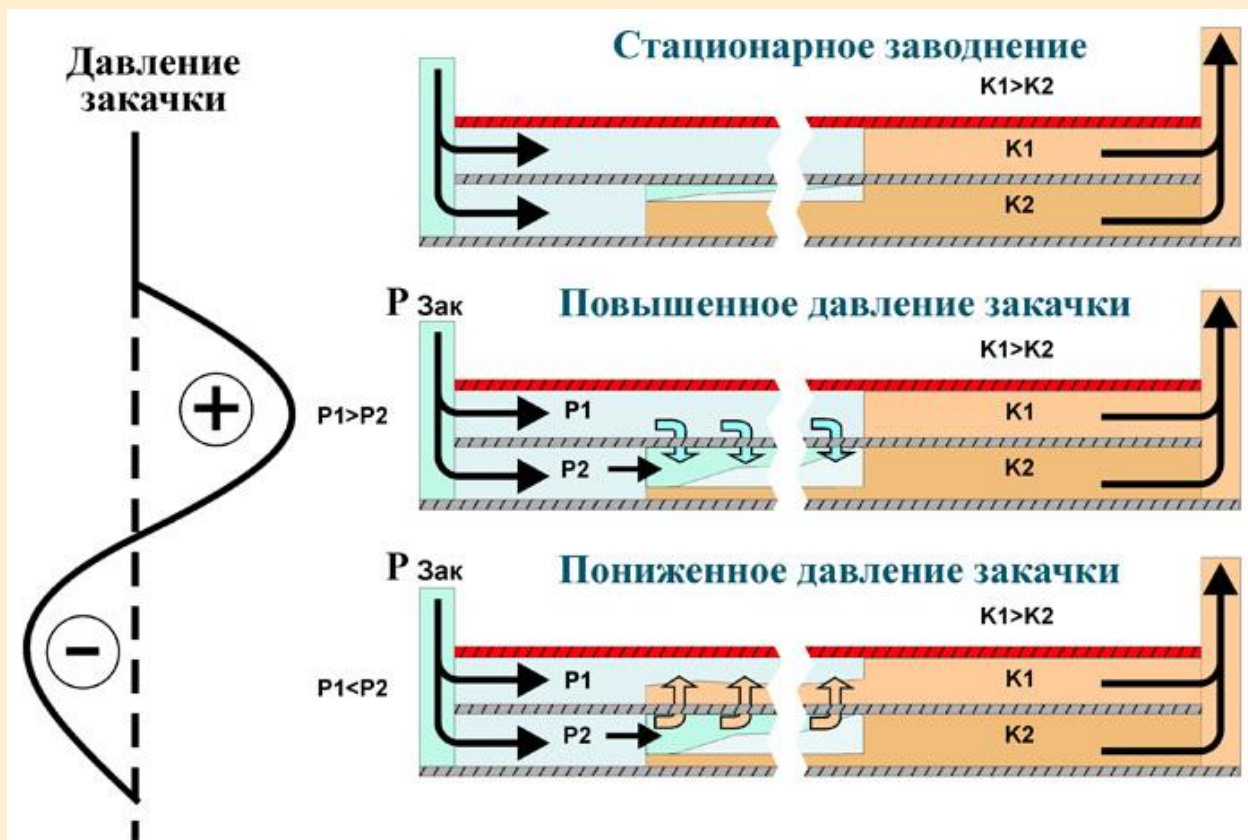
Циклическое заводнение

Нестационарное (циклическое) заводнение. Суть метода циклического воздействия и изменения направления потоков жидкости заключается в том, что в пластах, обладающих неоднородностью по размерам пор, проницаемости слоев, пропластков, зон, участков и неравномерной их нефтенасыщенностью (заводненностью), вызванной этими видами неоднородности, а также отбором нефти и нагнетанием воды через дискретные точки – скважины, искусственно создается нестационарное давление. Оно достигается изменением объемов нагнетания воды в скважины или отбора жидкости из скважин в определенном порядке путем их периодического повышения или снижения.

В результате такого нестационарного, изменяющегося во времени воздействия на пласты в них периодически проходят волны повышения и понижения давления. Слои, зоны и участки малой проницаемости, насыщенные нефтью, располагаются в пластах бессистемно, обладают низкой пьезопроводностью, а скорости распространения давления в них значительно ниже, чем в высокопроницаемых насыщенных слоях, зонах, участках. Поэтому между нефтенасыщенными и заводненными зонами возникают различные по знаку перепады давления. При повышении давления в пласте, то есть при увеличении объема нагнетания воды или снижения отбора жидкости, возникают положительные перепады давления: в заводненных зонах давление выше, а в нефтенасыщенных – ниже.

При снижении давления в пласте, то есть при уменьшении объема нагнетаемой воды или повышении отбора жидкости, возникают отрицательные перепады давления: в нефтенасыщенных зонах давление выше, а в заводненных – ниже. Под действием знакопеременных перепадов давления происходит перераспределение жидкостей в неравномерно насыщенном пласте.

Механизм циклического воздействия на пласт



В заводненных зонах давление падает быстрее чем в нефтенасыщенных малопроницаемых слоях. Поток жидкости из низкопроницаемого пласта перетекает в высокопроницаемый, а затем вытесняется к добывающим скважинам

Физическая сущность процесса состоит в том, что при повышении давления в залежи в первой половине цикла (в период нагнетания воды) нефть в малопроницаемых прослоях (зонах) сжимается и в них входит вода. При снижении давления в залежи во второй половине цикла (уменьшение расхода или прекращение закачки воды) вода удерживается капиллярными силами в малопроницаемых прослоях, а нефть выходит из них.

Циклическое воздействие на неоднородные пласты способствует увеличению текущего уровня добычи нефти и конечной нефтеотдачи за счет повышения охвата их заводнением.

Эффект от циклического воздействия на пласты увеличивается с повышением гидрофильности пласта (смачиваемости), микронеоднородности пористой среды, проницаемостной (слоистой) неоднородности, сообщаемости слоев, а также с увеличением амплитуды колебания давления нагнетания воды и с применением процесса на более ранней стадии заводнения.

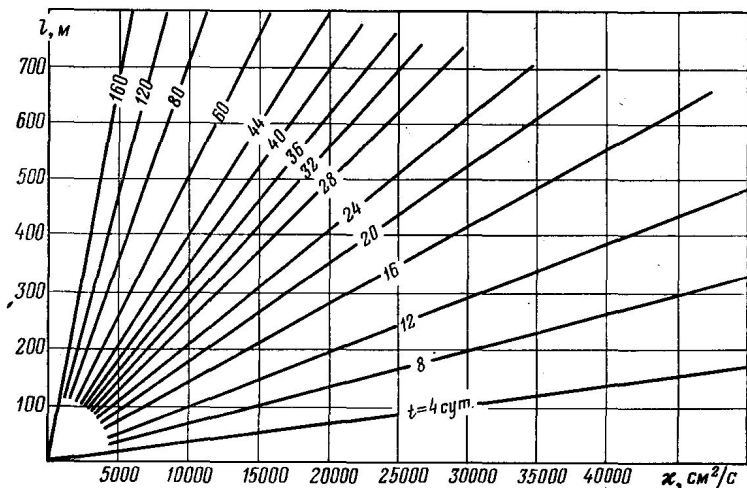


Рис. 40. Диаграмма для определения длительности циклов нестационарного воздействия t в зависимости от пьезопроводности пласта k и удаления фронта вытеснения l

Эффективность определяется рядом параметров, характеризующих геолого-физические свойства коллекторов (толщинная проницаемость, неоднородность, коэффициент удержания воды, степень изолированности слоев) и режим нестационарного воздействия (амплитуда, частота, время начала эксперимента).

Эффект тем выше, чем:

- а) полнее гидродинамическая связь контактирующих слоев;
- б) раньше начато циклическое заводнение (оптимальный вариант, когда начало циклического и обычного заводнений совпадают);
- в) больше амплитуда колебаний расхода нагнетаемой воды;
- г) больше выбранная частота соответствует условию завершения перераспределения забойного давления (оптимальная частота смены циклов выбирается в зависимости от упругих свойств коллектора — пьезопроводности и расстояния от линии нагнетания до линии воздействия).

Изменение направления фильтрационных потоков

- Для вовлечения в разработку застойных, не охваченных заводнением зон пласта необходимо изменить общую гидродинамическую обстановку в нем, что достигается перераспределением отборов и закачки воды по скважинам. В результате изменения закачки меняются направленность и величины градиентов давления, за счет чего на участки, ранее не охваченные заводнением, воздействуют более высокие градиенты давления, и нефть из них вытесняется в заводненную, проточную часть пластов, чем достигается увеличение нефтеотдачи. Но в отличие от циклического заводнения метод перемены направления фильтрационных потоков не требует обязательной остановки добывающих или нагнетательных скважин.

1. Классический



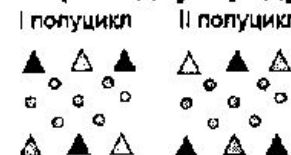
2. Перекрестный



3. Через ряд



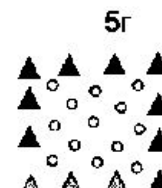
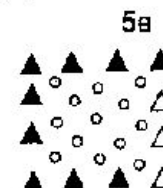
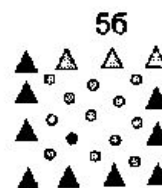
4. Через одну в ряду



4. Блочно-угловое



5. Круговое



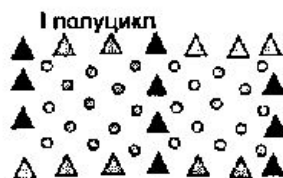
6. Синусоидальное



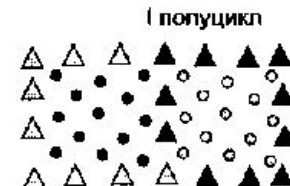
7. Рядное линейно-поперечное



8. Блочно-площадное



9. Блочное с чередованием закачки и отбора



Условные обозначения

△ Нагнетательные скважины под закачкой
▲ Нагнетательные скважины остановленные

◻ Добывающие скважины действующие
● Добывающие скважины остановленные

Методы нестационарного заводнения с изменением направления
фильтрационных потоков

Физическая сущность процесса состоит в следующем. Во-первых, при обычном заводнении вследствие вязкостной неустойчивости процесса вытеснения образуются целики нефти, обойденные водой. Во-вторых, при вытеснении нефти водой водонасыщенность вдоль направления вытеснения уменьшается. При переносе фронта нагнетания в пласте создаются изменяющиеся по величине и направлению градиенты гидродинамического давления, нагнетаемая вода внедряется в застойные малопроницаемые зоны, большая ось которых теперь пересекается с линиями тока, и вытесняет из них нефть в зоны интенсивного движения воды. Объем закачки вдоль фронта целесообразно распределить пропорционально оставшейся нефтенасыщенности (соответственно уменьшающейся водонасыщенности).

Изменение направления фильтрационных потоков достигается за счет:
дополнительного разрезания залежи на блоки,
очагового заводнения,
перераспределения отборов и закачки между скважинами,
циклического заводнения.

Метод технологичен, требует лишь небольшого резерва и мощности насосных станций и наличия активной системы заводнения (поперечные разрезающие ряды, комбинация приконтурного и внутриконтурного заводнения и др.). Он позволяет поддерживать достигнутый уровень добычи нефти, снижать текущую обводненность и увеличивать охват пластов заводнением.

Метод более эффективен в случае повышенной неоднородности пластов, высоковязких нефтей и применения в первой трети основного периода разработки.

Форсированный отбор жидкости

- Форсированный отбор жидкости применяется на поздней стадии разработки, когда обводненность достигает более 75 %. При этом нефтеотдача возрастает вследствие увеличения градиентов давления и скорости фильтрации, обуславливающего вовлечение в разработку участков пласта и пропластков, не охваченных заводнением, а также отрыв пленочной нефти с поверхности породы. Таким образом, технология проведения форсированного отбора жидкости заключается в постоянном увеличении отборов пластовой жидкости, за счет чего создается перепад давления между пропластками с различной проницаемостью. В результате нефть из нефтенасыщенного (низкопроницаемого) пропластка вовлекается в гидродинамический поток и выносится к добывающей скважине. Форсированный отбор жидкости положительно влияет на нефтеотдачу пластов с увеличением коэффициента вытеснения нефти водой благодаря действию следующих факторов:
 - – в гидрофильных коллекторах при увеличении скорости потока происходит вовлечение в разработку капиллярно-защемленной нефти;
 - – в гидрофобных коллекторах в результате увеличения отборов жидкости происходит более эффективный доотмыв пленочно-связанной нефти.

Технология заключается в поэтапном увеличении дебитов добывающих скважин (уменьшении забойного давления P_3).

Физико-гидродинамическая сущность метода состоит в создании высоких градиентов давления путем уменьшения P_3 . При этом в неоднородных сильно обводненных пластах вовлекаются в разработку остаточные целики нефти, линзы, тупиковые и застойные зоны, малопроницаемые пропластки и др.

Условиями эффективного применения метода считают:

- а) обводненность продукции не менее 80 — 85 % (начало завершающей стадии разработки);
- б) высокие коэффициенты продуктивности скважин и забойные давления;
- в) возможность увеличения дебитов (коллектор устойчив, нет опасений прорыва чуждых вод, обсадная колонна технически исправна, имеются условия для применения высокопроизводительного оборудования, пропускная способность системы сбора и подготовки продукции достаточна).

Для решения вопроса о применении метода необходимо предварительное изучение зависимости дебита нефти от дебита жидкости. Дебиты жидкости необходимо назначать по максимуму дебита нефти. Приступать к форсированному отбору следует постепенно, увеличивая дебит отдельных скважин на 30-50%, а затем в 2-4 раза.

Техника форсирования отборов может быть самой различной: штанговые насосы при полной загрузке оборудования, электронасосы, рассчитанные на большие подачи, и др.

Потребности в воде для заводнения нефтяных залежей

Заводнение характеризуется:

- простотой исполнения – не требует сложного оборудования (насосная станция);
- экономичностью;
- увеличением степени извлечения нефти из пластов.

Для поддержания пластового давления в пласт закачивается вода через нагнетательные скважины под давлением от 5 до 30 МПа. Вода, закачанная в пласт, вытесняет нефть и затем длительное время отбирается вместе с нефтью в постоянно нарастающих объемах. Для поддержания давления в пластах объем закачиваемой воды должен компенсировать объем не только извлекаемой нефти, но и воды, которую извлекают вместе с водой.

Охрана окружающей среды. Добываемая вода вместе с нефтью обрабатывается и вновь закачивается в пласты для поддержания давления.

Подготовка и свойства нагнетаемой воды. Технология подготовки и качество воды для нагнетания в пласты должны обосновываться для каждого месторождения отдельно.

Система подготовки воды

Фильтрация – удаление механических примесей.

Удаление кислорода.

Химическая обработка воды (антибактериальная обработка).

Солевая обработка воды – чтобы была совместимость с пластовой.

Автоматизированная система за подготовкой и качеством воды.

Для очистки промышленных сточных вод применяются: отстаивание, коагуляция (процесс слипания коллоидных частиц в крупные) и фильтрация через песчаные фильтры.

Электромагнитное воздействие

Электромагнитное воздействие (ЭМВ) – воздействие, оказываемое колебаниями волн различных диапазонов с целью влияния на нефтесодержащий пласт и пластовый флюид, для изменения их свойств, которые повлияют на дополнительное извлечение нефти.

Находясь в области действия переменного электрического поля, скопления молекул жидких углеводородов начинают колебаться с частотой, зависящей от источника электроэнергии. Это приводит к снижению вязкости нефти, способствующему увеличению добычи.

Являясь хорошим проводником электрического тока, солевой раствор способствует повышению температуры в продуктивном пласте, под воздействием электромагнитного поля. Усиление термического эффекта, в особенности в приближенной к призабойной зоне пласта, провоцирует уменьшение вязкости и очистки от тяжелых углеводородов порового пространства пласта под воздействием давления

При практическом применении мощного электромагнитного высокочастотного поля в пористой среде, содержащей вязкие углеводороды, возникает объемный прогрев области призабойной зоны пласта, что приводит к интенсивному выделению растворенных газов, испарению легких углеводородов, интенсификации процесса пиролиза, изменению агрегатного состояния вещества и другим физико-химическим явлениям

Метод основан на использовании внутренних источников тепла, возникающих при воздействии на пласт высокочастотного электромагнитного поля. Зона воздействия определяется способом создания (в одной скважине или между несколькими), напряжения и частоты электромагнитного поля, а также электрическими свойствами пласта. Помимо тепловых эффектов электромагнитное воздействие приводит к деэмульсации нефти, снижению температуры начала кристаллизации парафина и появлению дополнительных градиентов давления за счет силового воздействия электромагнитного поля на пластовую жидкость.

Описание технологии. Обсадная колонна спускается до кровли продуктивного пласта, затем в скважину спускают насосно-компрессорные трубы с диэлектрическими шайбами. В роли излучателя энергии электромагнитных волн высоких частот выступает расположенная ниже обсадной колонны часть НКТ. Излучатель через скважину получает электромагнитную энергию от генератора (типа ЛД2-60М), расположенного на поверхности земли. При этом происходит прогрев призабойной части продуктивного пласта. Далее осуществляется постоянная закачка воздуха в пласт в течение недели, затем скважину останавливают на такой же срок для газирования и окисления нефти. Отбор скважиной продукции осуществляется фонтанным способом.

Электрическое воздействие

Основной проблемой на нефтяных месторождениях в настоящее время является относительно быстрое увеличение обводненности добываемой нефти.

Причины этого связаны с естественным ростом обводненности добываемых углеводородов и жидкости. Производительность скважин может снижаться в некоторых горных породах в процессе эксплуатации вследствие различных видов кольтматации, она может быть снижена и вследствие применения бентонитового раствора при бурении.

Технология увеличения нефтеотдачи пласта электровоздействием предназначена для снижения обводненности добываемой нефти на нефтяных скважинах, восстановления их производительности, отсечки газовых конусов, а также для восстановления нагнетательных скважин.

Основные позитивные эффекты при применении технологии:

- снижение обводненности добываемой жидкости (увеличение нефтеотдачи);
- восстановление дебита жидкости закольтматированных скважин (интенсификация нефтедобычи).

Метод основан на использовании энергии высоковольтного электрического разряда в жидкой среде. При электрическом разряде между двух электродов в жидкой среде происходит формирование канала сквозной проводимости с последующим его расширением до схлопывающейся низкотемпературной плазменной каверны, образующей ударную волну и волны сжатия. Ударная волна, распространяясь в прискважинной зоне, производит разрушение кольтматизирующих образований. Основными параметрами при электрогидравлической обработке, определяющим ее эффективность, являются давление ударной волны и число генерируемых импульсов вдоль интервала перфорации.

Электрогидравлические технологии осуществляются благодаря эффекту Юткина, который представляет собой совокупность явлений, происходящих при импульсном разряде высокого напряжения в жидкой среде (зачастую в воде). При прохождении в водной среде импульсного высоковольтного разряда происходит мощное электромагнитное излучение, формирование волн звуковых и ультразвуковых диапазонов частот, импульсов давления, достигающего, при определенных условиях, нескольких десятков тысяч атмосфер, сильных гидравлических потоков, сопровождающихся кавитацией.

Высоковольтный разряд в воде сопровождается возникновением плазменного канала, температура в котором достигает 30 тысяч 0С. Канал имеет небольшую площадь сечения. В нем происходит быстрый локальный разогрев жидкой среды, конденсация энергии разогретого до высоких температур ионизированного газа и паров, которые могут совершать работу.

Быстро расширяясь, разрядный канал, представляющий собой парогазовую полость, порождает вокруг себя в жидкости импульсное давление и волны жидкости. Скорость увеличения объема канала может быть выше скорости, с которой звук распространяется в жидкой среде, благодаря этому, формируется фронт ударной волны. Когда давление потока расходящейся жидкости спустится ниже давления окружающей среды, расширение парогазового канала остановится. Далее происходит возвратное движение потока жидкости, в момент, когда полость канала захлопывается, в ней вновь резко повышается давление газа. Этот процесс повторяется многократно, постепенно затухая с каждым циклом.

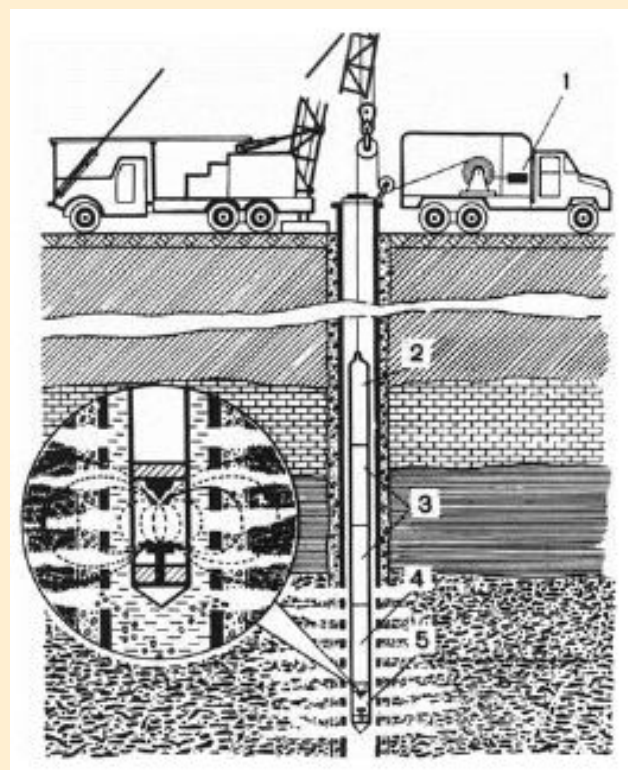


Рисунок 1. Электроразрядное устройство для обработки скважин[1].
1- преобразователь частоты; 2 – зарядный блок; 3 – ёмкостные накопители; 4 разрядник; 5 – электродная система.

Технология выгодно отличается от традиционных комбинированных технологий рядом основных достоинств, а именно:

- значительное снижение обводненности добываемой жидкости, в основном, в пределах: 10-50% и более на малодебитных скважинах, 1-10% и более на высокодебитных скважинах;
- значительное увеличение среднего дебита по нефти, в основном, в пределах: 1,3-3 раза и более на малодебитных скважинах, 10-30% и более на высокодебитных скважинах;
- значительное увеличение среднего дебита по жидкости, в основном: в 1,01-2 и более раз на закольматированных малодебитных и высокодебитных скважинах;
- значительная продолжительность эффекта: 2-4 года;
- средняя величина дополнительно добытой нефти на одну скважину: 1-10тыс. т.;
- небольшое время проведения электровоздействия на пласт, как правило, в пределах 20-30 часов;
- абсолютная экологическая чистота, вследствие применения для воздействия на пласт только электрического тока;
- отсутствие негативных воздействий для обсадных колонн, фильтров и другого скважинного оборудования;
- возможность успешного совместного использования с другими аналогичными технологиями, например, с закачкой полимеров в нагнетательные скважины или с ремонтно- изоляционными работами в добывающих скважинах;
- высокая эффективность: кратный спад себестоимости нефти;
- отсутствие значительных отрицательных результатов;
- мобильность технологического комплекса.

Волновое воздействие на пласт

Известно множество способов волнового и термоволнового (вибрационного, ударного, импульсного, термоакустического) воздействия на нефтяной пласт или на его призабойную зону.

Основная цель технологии – ввести в разработку низкопроницаемые изолированные зоны продуктивного пласта, слабо реагирующие на воздействие системы ППД, путем воздействия на них упругими волнами, затухающими в высокопроницаемых участках пласта, но распространяющимися на значительное расстояние и с достаточной интенсивностью, чтобы возбуждать низкопроницаемые участки пласта.

Потенциальные возможности увеличения нефтеотдачи пластов различными методами

