

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

В соответствии с моделью Н.Е. Жуковского (2) фронт ударной волны разделяет весь трубопровод на две области — возмущенную (за фронтом волны) и невозмущенную (перед фронтом волны). В невозмущенной области поток еще «не почувствовал», что произошло закрытие задвижки в конце нефтепровода, поэтому параметры потока в этой области (скорость, гидростатическое давление и плотность жидкости) сохраняют значения, соответствующие штатному режиму эксплуатации. На фронте волны гидравлического удара происходит скачкообразное изменение параметров потока. В возмущенной области скорость течения становится равной нулю, гидростатическое давление увеличивается на $\rho g h$, вычисляемую по формуле Н.Е. Жуковского (2) [2,3].

Результаты расчетов, соответствующих гидравлическому удару для данного примера, проведенные согласно модели Н.Е. Жуковского, представлены на рис. 2 а, б.

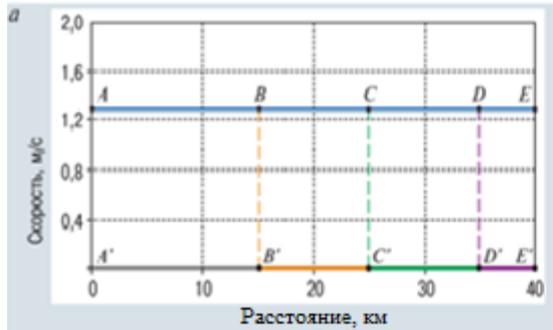


Рис. 2а – Изменение скорости потока нефти в трубопроводе

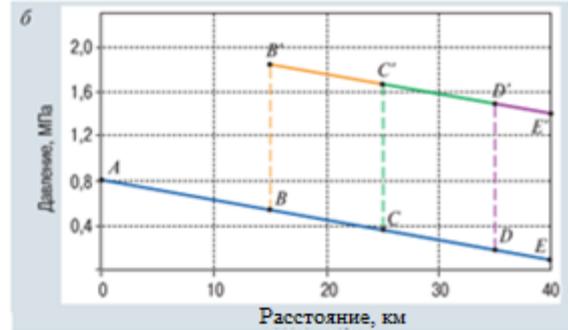


Рис. 2б – Изменение давления вдоль нефтепровода

В момент времени 65,01 с (т.е. через 5,01 с после закрытия задвижки) фронт волны давления достигнет отметки $x = 34$ км. Для этого момента времени изменение скорости как функции координат описывает ломаная $ADD'E'$ на рис. 2, а, изменение давления вдоль нефтепровода — ломаная $ADD'E'$ на рис. 2, б.

В момент времени 72 с (через 12 с после закрытия задвижки) фронт волны давления достигнет отметки $x = 25,1$ км. Для этого момента времени изменению скорости как функции координат соответствует линия $ACC'E'$ на рис. 2, а, изменению давления вдоль нефтепровода — линия $ACC'E'$ на рис. 2, б.

В момент времени 80 с (после закрытия задвижки прошло 20 с) фронт волны давления достигнет отметки $x = 15,2$ км. Для этого момента времени изменению скорости как функции координат соответствует линия $ABB'E'$ на рис. 2, а, изменение давления вдоль нефтепровода описывает линия $ABB'E'$ на рис. 2, б.

Сравнение рис. 2, б и рис. 2, а данных изменения скорости и давления вдоль нефтепровода показывает существенное их различие. То же самое можно сказать и о зависимостях (см. рис. 2, а, рис. 2, б), демонстрирующих изменение давления вдоль нефтепровода.

В результате исследований, можно сделать несколько выводов. 1. Выяснено, что исходных данных для расчета, которые задаются с помощью программного модуля ТОХИ+Гидроудар явно недостаточно для проведения полноценных расчетов. Так, не указан способ прокладки трубопровода, глубина заложения труб, если трубопровод уложен в грунт. 2. Расчет параметров явления гидравлического удара следует проводить в соответствии с моделью Н.Е. Жуковского, а не моделью, заложенной в программном модуле ТОХИ+Гидроудар.

Литература

1. Левин В. И. Методы математической физики. – М.: Мир, 1981. – 598 с.
2. Рецензия на статью «Моделирование аварийных утечек на магистральных нефтепроводах»/ В.Н. Антипов, Е.В. Налобина, И.Н. Налобин. – 2015. – №9.
3. Моделирование аварийных утечек на магистральных нефтепроводах/ С.И. Сумской, А.А. Агапов, А.С. Софьин и др.//Безопасность труда в промышленности. – 2014. – №9. – С. 50-53.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМ И МЕТОДОВ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕССЫ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА НЕФТИ

Э.Р. Жамалдинов, И.К. Черненко, Б.Б. Очиров

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Ультразвуковая обработка является одним из наиболее перспективных альтернативных методов для воздействия на жидкость как в условиях скважины, так и на поверхности. В процессах добычи ультразвук используется, в первую очередь, для повышения продуктивности скважин, регулирования реологических свойств нефтяных систем, снижения вязкости, удаления АСПО и накипи, полимер - цементных отложений, неорганических включений, буровой жидкости и т.д. При транспортировке ультразвук используется для

изменения основных физико - химических характеристик нефти, деэмульсации, обезвоживания, уменьшения вязкости, удаления АСПО и накипи и т.д.

Цель работы – анализ современных методов акустического воздействия на процессы транспорта и добычи нефти, а также построение математической модели физических процессов при тепловом механизме акустического воздействия на пласт. В предположении, что пластовый флюид состоит из лёгких и тяжёлых углеводородов.

В настоящее время сохраняется тенденция увеличения доли добываемой высоковязкой нефти и в этой связи возникают проблемы, связанные с ее перекачиванием по магистральному нефтепроводу [1].

Большое число простаивающих скважин, рост доли залежей с тяжелыми и вязкими нефтями, уменьшение дебитов скважин свидетельствуют о низкой эффективности применяемых технологий извлечения нефти, обеспечивающих КИН, не превышающих значения 0,25...0,45 [2].

Как один из физических методов ПНП, ультразвуковой метод добычи нефти имеет множество преимуществ, таких как отличная адаптивность, простота в эксплуатации, низкая стоимость и отсутствие загрязнения окружающей среды. В результате, происходит многократное увеличение скорости движения пластовых флюидов, интенсификация тепло- и массообменных процессов, а также диспергирование и гомогенизация многофазных продуктов. Также акустические волны приводят к разрушению поверхностного слоя стенок в призабойной зоне скважины и очистке поровых каналов продуктивного пласта [1].

Ультразвук высокой энергии, воздействуя на тяжелую нефть, вызывает кавитационный эффект: по сути, это образование и схлопывание пузырьков газа в жидкой среде. Результатом этого является разложение высокоплавких высокомолекулярных парафинов, впоследствии чего изменяются физико-химические (эксплуатационные) свойства нефти [1].

Для борьбы с АСПО в трубопроводном транспорте существует два основных направления: превентивные меры по предотвращению отложений и удаление уже сформировавшихся отложений. Вибрационные методы позволяют создавать ультразвуковые колебания в области парафинообразования и, воздействуя на кристаллы парафина, вызывать их микроперемещение, что, в свою очередь, препятствует осаждению парафина на стенках труб [3].

Сильная вибрация, вызванная ультразвуковой волной, может сделать так, что в сырой нефти будет трудно скапливаться кристаллам парафина [4]. Основные отложения при добыче нефти включают парафиновые отложения, полимер-цементные пробки, неорганические включения и буровую жидкость. Метод удаления парафиновых отложений с помощью ультразвуковой волны имеет множество преимуществ, таких как отличная адаптивность, простота в эксплуатации, низкая стоимость и отсутствие загрязнения окружающей среды.

Удаление парафиновых отложений происходит благодаря тепловому эффекту за счет высокочастотных колебаний, чем выше частота колебаний, тем эффективней происходит воздействие на парафиновые отложения. На эффективность акустического воздействия влияют многие факторы, в частности фракционный состав твёрдых углеводородов в нефти, физические и реологические свойства, температурный режим перекачки, длительность парафинизации, высокомолекулярные составляющие потока, конструктивные особенности трубопровода. Поэтому в каждом случае необходим индивидуальный подход. Проблема эффективного ультразвукового воздействия на процессы добычи и транспорта нефти остается актуальной и требует дальнейшего усовершенствования.

Ультразвуковой метод деэмульсации и обезвоживания основан на конденсации и уменьшении вязкости под влиянием ультразвука на нефть, что приводит к соединению капель воды в сырой нефти и ускорению разъединения нефтяной и водной фаз.

Иницирующий эффект от ультразвукового воздействия связан с увеличением дисперсности системы и как следствие с повышением площади контактирующихся фаз. С увеличением поверхности раздела в условиях генерирования ультразвуковых волн улучшаются условия доставки реагентов до границы раздела фаз, что способствует стимулированию процесса деэмульсации [5].

Экспериментальные результаты показывают, что интенсивность ультразвука, время обработки и частота – это основные факторы, которые влияют на темпы деэмульсации и обезвоживания, в то время как температура испытания, режим работы и время расчётов являются вторичными факторами.

В процессах добычи и транспорта сырой нефти, если солёность воды высокая, легко вызвать серьезное скопление накипи на стенке трубы и насосного оборудования, что повлияет на срок службы оборудования и сократит период службы насоса, так что серьёзно влияет на нормальную добычу нефти.

При воздействии на воду слабых ультразвуковых колебаний образуется множество постоянно смещающихся центров кристаллизации, что затрудняет рост и осаждение кристаллов накипи на поверхностях оборудования [6]. Далее происходит образование тонкодисперсного шлама в объёме жидкости, который удаляется с потоком, образование отложений либо прекращается из-за нарушения условий кристаллизации, либо происходит разрыхление образующейся накипи. По всей толщине накипи под воздействием ультразвука образуются и накапливаются микротрещины, которые приводят к разрушению имевшихся отложений и к очистке оборудования. Данный метод - физический и действует на все виды солей и органических отложений независимо от их химического состава.

В предлагаемой модели пластовый флюид состоит из лёгких и тяжёлых углеводородов. Тяжёлая фракция углеводородов будет рассматриваться как примесь, его концентрация будет равна отношению количества молекул тяжёлых углеводородов к количеству молекул пластового флюида C в единице объёма. Относительные концентрации этих фаз при термодинамическом равновесии, которое характеризуется величиной равновесной концентрации примеси C_0 , находятся в определённом балансе. Равновесная концентрация может меняться и вызывать процессы релаксации текущей концентрации к её равновесному

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

значению, если будут меняться термодинамические условия в пласте. К ним относится изменение поля давления вследствие создания депрессии в пласте при освоении скважины.

В свою очередь, при акустическом воздействии происходит превышение значения равновесной концентрации примеси над текущей, при этом твёрдая фаза тяжёлых углеводородов начнёт растворяться и поровые каналы очищаются. Это происходит за счёт нагрева внешней среды и флюида вследствие поглощения акустических волн и формирования распределённого теплового источника в окрестности скважины.

В рамках предлагаемой модели поведения дебита при акустическом воздействии должно учитываться поведение флюида в пористой проницаемой среде без УЗ обработки и в условиях улучшения нефтеотдачи.

Уравнение фильтрации пластового флюида, линеаризованное по давлению будет иметь вид:

$$m \frac{\partial P}{\partial t} - \operatorname{div} \left(\frac{k \cdot \rho_0 \cdot c^2}{\eta} \cdot \operatorname{grad} P \right) = 0.$$

(1) где m – пористость среды, k – проницаемость среды, c – коэффициент динамической вязкости, ρ_0 – плотность флюида, c – скорость звука, P – давление.

Уравнение переноса концентрации тяжёлой углеводородной примеси в пластовом флюиде [7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C - D \Delta C = \frac{1}{\tau_c} \cdot (C - C_e(P, T)),$$

где C – текущая концентрация примеси, \vec{V} – скорость переноса флюида, D – коэффициент диффузии, τ_c – время осаждения или растворения примеси, C_e – равновесное значение примеси.

Кинетическое уравнение для изменения радиуса пор:

$$\frac{dR}{dt} = - \frac{1}{2} R \frac{\rho_f^y (C - C_e)}{\rho_s \tau_c},$$

где ρ_f^y – плотность твёрдой фракции, ρ_s – начальная плотность флюида.

Заключение. В России и других странах ультразвуковые технологии добычи и транспорта нефти достигли больших успехов в разработке оборудования, механизме исследований, промышленном применении и т. д. Но, несмотря на это, есть еще значительное пространство для дальнейшего развития. Показанная в работе модель физических процессов при тепловом механизме акустического воздействия может объяснить долговременный эффект от воздействия. Отличие текущей концентрации примеси от равновесной для локальных термодинамических условий приводит к осаждению или растворению тяжёлых углеводородов. Изменение термодинамических условий происходит из-за изменения температурного поля и изменения, вследствие медленной динамики пористости, распределения давления в потоке пластового флюида при акустическом воздействии. Представленная модель учитывает механизм медленной коагуляции в околоскважинном пространстве, поэтому позволяет исследовать и альтернативные механизмы акустического воздействия.

Литература

1. Верховых А.А., Вахитова А.К., Елпидинский А.А. Обзор работ по воздействию ультразвука на нефтяные системы // Вестник технологического университета, №8/2016, стр. 37-42.
2. Муллакаев М. С., Абрамов В. О., Печков А. А., Еременко И. Л., Новоторцев В. М., Баязитов В. М., Есипов И. Б., Баранов Д. А., Салтыков А. А. Ультразвуковая технология повышения продуктивности низкодебитных скважин // Журнал Нефтепромысловое дело, №4/2012, стр. 25-32.
3. Шаммазов А.М., Мастобаев Б.Н., Сощенко А.Е., Коробков Г.Е., Писаревский В.М. Основы технической диагностики трубопроводных систем нефти и нефтепродуктов. - М.: Недра, 2010. - 428 с.
4. Abramova A., Abramov V., Bayazitov V., Gerasin A., Pashin D. Ultrasonic technology for enhanced oil recovery // Engineering 6 (2014), p. 177-184.
5. Афанасьев Е.Ф. Факторы стабилизации и эффективность разрушения водонефтяных эмульсий: автореф. дис. канд. техн. наук. -Астрахань, 2013. - 25 с.
6. Балинченко О.И., Нездойминов В.И. Некоторые особенности ультразвуковой (безреагентной) обработки воды // Журнал Проблемы экологии, №1-2/2010. стр. 73-77.
7. R. Ewing. Mathematical modeling and simulation for fluid flow in porous media // «Математическое моделирование», 2011, т. 13, № 2, с. 117-127.

ПОДГОТОВКА ГАЗА НА ПРОМЫСЛЕ. ПРИНЦИП РАСЧЕТА ЦИКЛОННОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

А.В. Изерский

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. В настоящее время, подготовка газа на промысле осуществляется на высоком уровне. В подтверждение этого, можно сказать о различных существующих системах сбора газа, а также большом ассортименте установок для его промысловой подготовки. Все они ориентированы на работу с максимально возможным уменьшением выбросов веществ, загрязняющих окружающую среду. Разбирая данные аппараты более подробно, можно разделить их на группы, отвечающие за очистку конкретных примесей содержащихся в газе. Например, циклонный пылеуловитель применяются для очистки газа от механических примесей. Их