

Д. В. Прошекальников, Р. Р. Рамазанов, С. Д. Солодов,
Б. Н. Иванов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОМАССОБМЕНА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ ОРГАНИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ В ЧАСТОТНОМ РЕЖИМЕ

Ключевые слова: гидродинамика, тепломассообмен, фильтрация, скважина, очистка.

Предложен системный подход и проведен расчет гидродинамики и тепломассообмена для определения энергетической эффективности в процессах очистки нефтяной скважины. в частотном режиме. Динамика нестационарного движения описана системой уравнений поршневого движения жидкости. Приведено решение системы уравнений гидродинамики, фильтрации и тепломассообмена в системе генератор импульсов давления -скважина-пласт. В ходе расчетов выявлен наиболее эффективный - частотный режим очистки. Определена энергетическая эффективность очистки для ряда растворителей.

Keywords: hydrodynamics, heat and mass transfer, filtration, well, cleaning.

We propose a systematic approach and calculated the hydrodynamics and heat transfer dlyaopredeleniya energy efficiency in the process of cleaning the oil well. in frequency mode. The dynamics of unsteady motion described by the system of equations of motion of the liquid piston. A solution of the equations of hydrodynamics, filtration and heat transfer in the system pressure pulse generator-well-formation. During calculations revealed the most effective - the frequency cleaning mode. The energy efficiency of treatment for a number of solvents.

Введение

Пульсационная техника нашла широкое применение в нефтехимической, химической, радиохимических и других отраслях промышленности для интенсификации жидкофазных и твердожидкофазных тепло-массообменных процессов. Наличие колебательных свойств в системе позволяет эффективно использовать пульсационную аппаратуру для организации колебательного движения жидкой среды. Это приводит к усилению тепло-массообмена в скважине и пласте.

Известны ряд способов очистки призабойной зоны скважины:

Метод создания ударных волн [1], [2], использование гидроимпульсных пульсаторов и вибраторов [3], [4], устьевых генераторов импульсов давления [5]. В работах [6], [7] отмечается преимущество использования низких частот (1Гц и менее) вследствие их меньшего поглощения в поровых каналах пласта и, соответственно, распространения на достаточно большие расстояния: от десятков до сотен метров от ПЗП обрабатываемой скважины [8]. Для выбора наиболее эффективного режима очистки, необходимо использовать математическое моделирование.

Системный метод и модель расчета

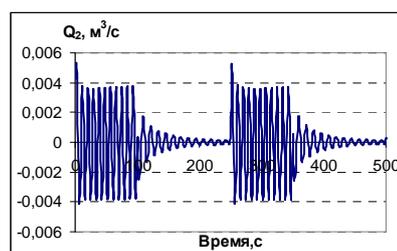
Теоретическое описание процессов гидродинамики и фильтрации в системе генератор импульсов давления-скважина-пласт можно построить на системном фундаменте, где учитываются взаимосвязи динамики движения жидкости в ее отдельных частях.

Динамика нестационарного движения может быть описана системой уравнений поршневого движения жидкости. С этой целью вся гидравлическая система нагнетания давления разбивается на несколько частей: насосно-компрессорная труба (НКТ), призабойная зона (ПЗ), кольцевое затрубное про-

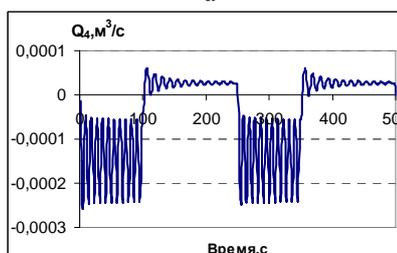
странство (КП), насосная линия (НЛ), ресивер, линия сброса давления (ЛСД).

Таким образом, уравнения движения, записанные для каждой части включают в себя девять искомых функций $Q_0(\tau)$, $Q_1(\tau)$, $Q_2(\tau)$, $Q_n(\tau)$, $Q_3(\tau)$ - объемные расходы в НКТ, ПЗ, КП, НЛ, ЛСД соответственно, а также $P_{заб}(\tau)$, $P_{уст}(\tau)$, $P_{зо}(\tau)$, $P_p(\tau)$ - давления в ПЗ, на устье скважины, на уровне спуска НКТ в скважину, в газовой подушке ресивера.

В ходе расчетов можно выявить, что наиболее эффективным является частотный режим очистки (рис.1).



а



б

Рис. 1 - Динамика изменения расхода: а) в затрубном пространстве; б) в призабойной зоне

Этот режим проявляется в виде дополнительных гармоник повышенной частоты, которая зависит от давления в системе. Наличие колебательного процесса приводит к интенсификации очистки скважины и призабойной зоны пласта за счет последовательных депрессионно-репрессионных циклов. При нестационарной очистке скважины и пласта органическими и неорганическими растворителями [8], [9] разрушаются структуры поверхностных пограничных слоев, что уменьшает сцепление жидкости с твердой фазой. Это приводит к увеличению проницаемости и декольматации порового пространства.

Поэтому следует ожидать повышения эффективности очистки ствола и призабойной зоны в частотном режиме.

Модель теплообмена

Коэффициенты тепло и массоотдачи α , β можно вычислить в рамках квазистационарной модели, где предполагается, что пограничный гидродинамический и диффузионный слои определяются как равновесные в зависимости от значения медленно меняющейся скорости потока $w(t)$. Основанием для такого предположения является явление турбулентных выбросов с периодичностью T_0 , которое является характерным временем, за которое полностью обновляется установления равновесия.

В рамках этой модели коэффициент массоотдачи определяется согласно

$$\beta = \frac{D}{\delta_c} \quad \delta_c = \frac{1}{\sqrt[3]{Pr_D}} \quad (1)$$

где D - коэффициент диффузии, $Pr_D = \frac{\nu}{D}$ - диффузионное число Прандтля, δ, δ_c - толщины гидродинамического вязкого и диффузионного слоя. В модели Прандтля величина $\xi = 11,4$, а δ определяется [10].

$$\delta = \xi \cdot \frac{\nu}{w_*} \quad (2)$$

Модель теплообмена предполагает, что:

- хвостовик насосно-компрессорной трубы имеет изоляционное фланцевое соединение от основной части НКТ, так, что поток тепла не распространяется вдоль поверхности металла, а также опущен ниже интервала перфорации на длину равную L , порядка 10-15 метров;

- при нагреве металла хвостовика токами высокой частоты индукционного теплового источника температура его поверхности постоянна и равна $T_c = 70 - 80^\circ\text{C}$;

- средняя объемная мощность прогрева q_T рабочей жидкости определяется потоком тепла от стенок НКТ и равна:

$$q_T = \frac{dQ}{dV} = \frac{\alpha(T_c - T)dF}{dV} = \frac{\alpha(T_c - T)\pi d_1 dx}{\left(\pi \frac{d_2^2}{4} - \pi \frac{d_1^2}{4}\right) dx} \quad (3)$$

где d_1, d_2 - диаметры НКТ и обсадной трубы соответственно;

- коэффициент теплоотдачи со стороны НКТ постоянная величина и определяется средней скоростью потока рабочего флюида.

В условиях непрерывной работы термоисточника, уравнение теплового баланса при пульсационном движении жидкости будет иметь вид

$$\left(\frac{\partial g}{\partial t} + w \cdot \frac{\partial g}{\partial x}\right) = \frac{4\alpha d_1}{(d_2^2 - d_1^2)\rho C_p} (1 - g) - \frac{4Kd_2}{(d_2^2 - d_1^2)\rho C_p} g \quad (4)$$

где $g = \frac{T - T_0}{T_c - T_0}$, T_0 - начальная температура жидкости (порядка $20-25^\circ\text{C}$).

Первое слагаемое в правой части уравнения (4) описывает поступление тепла от стенок НКТ, нагрев которых осуществляется с помощью высокочастотного индукционного нагревателя [10].

При скоростях движения флюида $w=0,6-1$ м/с коэффициент теплоотдачи порядка $\alpha=1000$ Вт/м² К. В этом случае $\alpha \gg K$ и можно пренебречь вторым слагаемым в правой части (4). Пренебрегая пространственной неоднородностью температуры вдоль трубы и решение (4) будет иметь вид

$$g = 1 - \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right], \quad (5)$$

где $\tau = \frac{(d_2^2 - d_1^2)\rho C_p}{4\alpha d_1}$ - характерное время, за ко-

торое температура рабочей жидкости станет равной температуре стенки T_c .

Для органических жидкостей, величина τ составляет 20-30 сек. Поэтому для эффективного прогрева призабойной зоны необходимо работать с такими временами и опускать хвостовик на длину L порядка 20-30 метров ниже интервала перфорации.

Длину индукционного теплового источника L определим из соотношения

$$L = \frac{\tau \cdot \bar{W}}{2} \quad (6)$$

где \bar{W} - средняя скорость растворителя. Мощность ВИН определяется экспериментально из расчета 4 кВт на метр [11].

Эффективность очистки

Для оценки эффективности $\mathcal{E} = N/M$ ($N = N_{CP} + N_{ВИН}$) использования растворителей приводится энергия, затраченная на растворение единицы массы АСПО при пульсации (см. табл 1)

Из расчетов видно, что эффективность растворения слабо зависит от растворимости рабочей жидкости, а главным образом определяется коэффициентами тепло и массоотдачи. Массоотдача определяет скорость растворения, а теплоотдача мощность ВИН. Для воды эти показатели наилучшие и приемлемые длины ВИН. Близким к воде является гексановая фракция и нефрас, у которых большая скорость растворения за счет его собственной растворимости, однако по энергозатратам вода и гексан равнозначны, а нефрас хуже воды в два раза.

Таблица 1 - Эффективность очистки скважины

Рас- тво- ритель	α , Вт/м ² К	β ·10 ⁶ , м/с	L, м	Э, кДж/т
Га- зойль	49,19	1,64	251,56	668,04
Керо- син	79,52	3,14	110,97	118,41
Нефрас	151,93	6,55	64,40	24,01
Вода	960,89	9,79	22,55	12,31
Нефть	120,67	3,68	173,99	240,58
Гексан	382,80	16,1	54,85	11,02
КОРБ	131,27	5,01	159,94	323,71
Дис- тиллят	264,75	6,12	79,30	34,42

Литература

1. Попова А.А. Метод КИИ», Ударные воздействия на призабойную зону скважин. // М., Недра, 1990г., с. 46-47
2. Попова А.А. Метод многократной депрессии», Ударные воздействия на призабойную зону скважин. // М., Недра, 1990г., с. 108-109

3. Родионов Игорь. Интенсификация добычи нефти на месторождениях ОАО «ЛУКОЙЛ» // Нефть и капитал / Нефтеотдача. - 2002. - №5.
4. С.М. Гадиев Использование вибрации в добыче нефти. // М., Недра, 1977г., 154 с.
5. Янтурин А.Ш., Рахимкулов Р.Ш., Кагирманов Н.Ф. Выбор частоты при вибрационном воздействии на ПЗП // Нефтяное хозяйство. 1986.- №2.- с. 63-66.
6. Балашканд М.И. Импульсная знакопеременная обработка призабойной зоны скважин с целью интенсификации потоков // Каротажник. 2000. - № 79. - С. 77- 85.
7. Бажалук Я.М., Сабашко В.Я., Чистяков В.И. и др. Технология комплексного воздействия па приствольную зону пласта упругими колебаниями разных частот // Каротажник. 2000. - № 64. - С. 91- 94.
8. Гарифуллин Р.Ш., Сальников А.С., Базотов В.Я., Борисов В.М. Анализ расчетных характеристик сгораемых материалов на основе нитрата аммония и порошкообразного эластомера для обработки нефтяных скважин. //Вестник Казанского Технологического Университета. №10, 2012, с.254-256
9. Чипига С.В., Садыков И.Ф., Марсов А.А., Мокеев А.А. Разработка состава топлива газогенератора для обработки нефтяных скважин.//Вестник Казанского Технологического Университета. №7, 2012, с.163-168
10. Шилов А.А., Дрягин В.В., Опошнян В.И. Тепловое воздействие на призабойную зону пласта с применением индукционного высокочастотного нагревателя. // Каротажник. - № 64. - С. 53-55.

© Д. В. Прошекальников – канд. техн. наук, доц. каф. процессов и аппаратов химической технологии КНИТУ, gaduga_60@mail.ru; Р. Р. Рамазанов - консультант ООО «Миррико»; С. Д. Солодов – рук-ль проекта ООО «Миррико»; Б. Н. Иванов – д-р техн. наук, проф. каф. общей химической технологии КНИТУ.