

Введение Пульсационная техника нашла широкое применение в нефтехимической, химической, радиохимических и других отраслях промышленности для интенсификации жидкофазных и твердо-жидкофазных 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 пространство (КП), насосная линия (НЛ), ресивер, линия сброса давления (ЛСД). Таким образом, уравнения движения, записанные для каждой части включают в себя девять искомых функций  $Q, P, V, S, T, \rho, \mu, \sigma, \beta$  - объемные расходы в НКТ, ПЗ, КП), НЛ, ЛСД соответственно, а также  $P, V, S, T, \rho, \mu, \sigma, \beta$  - 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-репресссионных 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  $\alpha, \beta$  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, которое является характерным временем, за которое полностью обновляется установления равновесия. В рамках этой модели коэффициент массоотдачи определяется согласно (1) где  $\alpha$  - коэффициент диффузии,  $Pr$  - диффузионное число Прандтля,  $\delta$  - толщины гидродинамического вязкого и диффузионного слоя. В модели Прандтля величина  $\alpha$ , а определяется [10]. (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  $T_C = 70 - 800^\circ\text{C}$ ; - средняя объемная мощность прогрева  $q_T$  рабочей жидкости определяется потоком тепла от стенок НКТ и равна: (3) где  $\alpha$ , - 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 (4) где  $T_0$ , - начальная температура жидкости (порядка 20-250 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 1000 Вт/м<sup>2</sup> К. В этом случае и можно пренебречь вторым слагаемым в правой части (4). Пренебрегая пространственной неоднородностью температуры вдоль трубы и решение (4) будет иметь вид, (5) где  $\tau$  - характерное время, за которое температура рабочей жидкости станет равной температуре стенки  $T_C$ . Для органических жидкостей, величина 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 (6) где  $w$  - средняя скорость растворителя. Мощность ВИН определяется экспериментально из расчета 4 кВт на метр [11]. Эффективность очистки Для оценки эффективности  $\Theta = N/M$  (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 Растворитель, Вт/м<sup>2</sup>К, м/с L, м Э, кДж/т Газойль 49,19 1,64 251,56 668,04 Керосин 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 Дистиллят 264,75 6,12 79,30 34,42