

Введение Одним из перспективных методов освоения месторождений на поздней стадии разработки является диоксида углерода в сверхкритическом состоянии. Увеличение коэффициента извлечения нефти (КИН) в пластовых условиях объясняется тем обстоятельством, что применение сверхкритического флюида по сравнению с традиционными методами увеличения нефтеотдачи позволяет преодолеть пороговые ограничения [1,2]. В связи с тем, что на КИН влияет большое количество факторов: состав углеводородного сырья, температура, пластовое давление, порометрические свойства пласта-коллектора, режимы нагнетания, физико-механические свойства вытесняющих агентов для выяснения закономерностей их влияния требуется проведение лабораторных исследований на физических моделях нефтяного пласта и математическое моделирование процесса вытеснения нефти с помощью сверхкритических флюидных систем. Были проведены экспериментальные исследования [3] на созданной авторами установке [4]. В настоящей работе описана математическая модель фильтрации многофазных многокомпонентных систем «сверхкритический флюид-вода-углеводород». Модель В настоящей работе создана математическая модель процесса фильтрации трехфазной многокомпонентной системы. Схема процесса вытеснения нефти приведена на рис. 1. Для настоящей модели приняты следующие допущения: 1. Каждая из фаз движется по своим собственным каналам; 2. Относительная фазовая проницаемость не зависит от соотношения вязкостей фаз; 3. Влияние силы тяжести не учитывается; 4. Отсутствует проскальзывание газа по стенкам поровых каналов. Рис. 1 - Схема процесса вытеснения нефти сверхкритическим диоксидом углерода Математическая модель состоит из следующих уравнений. Уравнения неразрывности для нефти запишется в следующей форме: (1) (2) где - коэффициент массообмена -м углеводородным компонентом между газовой и жидкой фазой. фазовая проницаемость углеводородного компонента; - плотность углеводородного компонента; - доля -го углеводородного компонента в массе жидкости; динамическая вязкость углеводородного компонента; эффективные коэффициенты диффузии в жидких фазах; и - химические потенциалы i-го углеводородного компонента в жидкой и газовой фазах; - коэффициент массообмена для -го углеводородного компонента; - абсолютное давление; - абсолютная пористость пласта, - насыщенность пористой среды жидкой углеводородной фазой; - насыщенность пористой среды газовой углеводородной фазой. Уравнения неразрывности для сверхкритического флюида: (3) (4), где -коэффициент массообмена сверхкритическим флюидом между сверхкритической и жидкой фазой. - фазовая проницаемость сверхкритического флюида; - плотность сверхкритического флюида; - мольная доля сверхкритического флюида в массе жидкости; - динамическая вязкость сверхкритического флюида; - эффективные коэффициенты диффузии в сверхкритической фазе; и - химические потенциалы флюида в жидкой и

сверхкритической фазе; - коэффициент массообмена для сверхкритического флюида; - абсолютное давление; - абсолютная пористость пласта, насыщенность пористой среды флюидом в жидком и сверхкритическом состоянии; Уравнения неразрывности для воды запишется в следующей форме: (5) (6) где - эффективный коэффициент диффузии водяного пара в газовой смеси; - химический потенциал водяного пара в жидкой и газовой фазах; - доля водяного пара в единице массы газа; - фазовая проницаемость воды; плотность воды; К приведенному уравнению неразрывности воды необходимо добавить уравнение материального баланса воды, поскольку вода может содержаться в поровом пространстве и адсорбированной скелетом породы. Уравнение имеет вид: (7) , (8) где - полное водосодержание единицы объема пористой среды; - количество адсорбированной воды. Уравнение энергии запишется в следующей форме: (9) где , удельная теплоемкость при постоянных давлении и составе; - скрытая удельная теплота изменения давления при постоянных составе и температуре. Величина теплового эффекта фазовых превращений: , , - плотность, теплоемкость, теплопроводность твердого тела соответственно; - коэффициент теплопроводности каждой из фаз; - насыщенность пористой среды каждой из фаз; - абсолютная пористость пласта; - скорость фильтрации фаз в пористой среде, определяемая по закону Дарси. Оба уравнения решаются методом конечных элементов. В общем случае скорость фильтрации каждой фазы в отдельности подчиняется следующему степенному закону [3]: , (10) где , явный вид которого необходимо определить в случае нелинейного закона фильтрации; - ускорение свободного падения; (11) , (12) где - скорость фильтрации; - длина пласта; - давление нагнетания; эквивалентный диаметр частиц. - объемная доля частиц песка соответствующего диаметра. - средний диаметр частиц песка, м; - плотность нефти; - вязкость нефти; Соотношения; замыкают систему дифференциальных уравнений. Система уравнений неразрывности и движения дополняется уравнением Пенга-Робинсона [5]: (13) где и - коэффициенты, определяемые следующим образом: ; ; ; где , - мольные доли компонентов в смеси; и - критические давления и температура смеси; - фактор ацентричности -го компонента.