

Артём Игоревич ВАРАВВА¹

Алексей Викторович ТАТОСОВ²

УДК 662.5

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБ ОБРАБОТКЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ ЭНЕРГОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ БИНАРНОЙ СМЕСЬЮ*

¹ аспирант, Тюменский государственный университет
artevvar@yandex.ru

² доктор физико-математических наук,
профессор кафедры фундаментальной математики и механики,
Институт математики и компьютерных наук,
Тюменский государственный университет
atatosov@utmn.ru

Аннотация

Одна из актуальных проблем нефтегазовой отрасли — интенсификация добычи высоковязкой нефти. Традиционно при разработке запасов тяжелых углеводородов используют паротепловые методы воздействия. Однако для организации закачки пара требуются значительные капитальные вложения, а при движении теплоносителя в наземном и подземном оборудовании происходят существенные потери тепла. Данные проблемы решает использование в качестве теплоносителя раствора химически активных компонентов — энерговыделяющей бинарной смеси. Т. к. полезная энергия доставляется на забой скважины в виде раствора реагентов, потери энергии минимальны. Возможно

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации проекта по Постановлению Правительства № 218 от 9 апреля 2010 г., по договору № 02. G 25.31.0180 от 01.12.2015 г. АО «Сибнефтемаш» совместно с ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Цитирование: Варавва А. И. Аналитические решения задачи об обработке вертикальной скважины энерговыделяющей бинарной смесью / А. И. Варавва, А. В. Татосов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 4. С. 21-32.
DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-21-32

проведение единичных обработок передвижными мобильными установками, не требуется строительства дорогостоящих парогенераторов и паропроводов.

Недостатком бинарных смесей является довольно высокая стоимость используемых реагентов. Поэтому перед выбором кандидатов для обработок необходимо проведение расчетов, подтверждающих эффективность от обработки. В данном исследовании разработана аналитическая модель, позволяющая рассчитывать радиус воздействия, значения температуры, возникающие после обработки, потенциально возможную дополнительную добычу нефти из пласта вследствие нагрева. Предложенная методика может быть использована для экспресс-оценки эффективности применения бинарных смесей, а также для ранжирования возможных кандидатов для обработок.

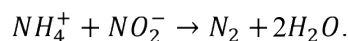
Ключевые слова

Термогазохимическое воздействие, бинарные смеси, многофазная фильтрация.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-21-32

Математическая модель

Бинарная смесь представляет собой раствор двух солей: нитрита натрия (NaNO_2) и нитрата аммония (NH_4NO_3) [8]. Смешивание реагентов производится на устье скважины, активный раствор нагнетается в пласт, где разлагается с выделением газа (азота) и тепла:



На прискважинную зону оказывается тепловое воздействие, понижается вязкость нефти, устраняется коагуляция, вымываются загрязнения и парафины [5].

В работе [2] предлагается математическая модель воздействия на прискважинную зону химически активной бинарной смесью. Рассматривается фильтрация трех подвижных фаз: 1 — вода и растворимые продукты реакции, 2 — подвижная нефть, 3 — выделяющийся в ходе химической реакции газ.

Плотность первой фазы ρ_1 зависит от концентрации ее компонентов:

$$\rho_1 = \rho_{10} + a\rho_a + y\rho_y, \quad (1)$$

где ρ_{10} — плотность чистой воды, ρ_a , ρ_y — молярные плотности компонентов. Молярная концентрация активных компонентов в бинарной смеси (аммоний-ион и нитрит-ион) равна y , концентрация не взаимодействующих реагентов (натрий-ион и нитрат-ион) равна a .

Каждая фаза характеризуется своей насыщенностью s_i , плотностью ρ_i , вязкостью μ_i , относительной фазовой проницаемостью k_i , скоростью фильтрации u_i , теплоемкостью c_i . Нижним индексом «0» обозначены величины, относящиеся к твердому скелету породы. Пористость пласта постоянна и равна m , проницаемость пласта k . Пренебрегая капиллярными давлениями, считаем, что давление во всех фазах одинаково и равно p . В целях упрощения не будем учитывать фазовый переход нефть — твердый парафин. Температура скелета породы и флюидов равна T . Уравнения сохранения массы фаз и компонентов и уравнение сохранения энергии имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial(m s_1 \rho_1)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_1 \mathbf{u}_1) &= -m s_1 j M_3, \\
 \frac{\partial(m s_1 y)}{\partial t} + \nabla \cdot (y \mathbf{u}_1) &= -m s_1 j, \\
 \frac{\partial(m s_1 a)}{\partial t} + \nabla \cdot (a \mathbf{u}_1) &= 0, \\
 \frac{\partial(m s_2 \rho_2)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_2 \mathbf{u}_2) &= 0, \\
 \frac{\partial(m s_3 \rho_3)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_3 \mathbf{u}_3) &= m s_1 M_3 j, \\
 \mathbf{u}_i &= -\frac{k k_i}{\mu_i} \nabla p, \\
 C_{10} &= 1 - \frac{1}{\rho_1} \sum_{k=1}^4 M_{1k} x_{1k}, \\
 s_1 + s_2 + s_3 &= 1, \\
 \frac{\partial}{\partial t} \left[(1-m) c_0 \rho_0 \bar{T} + \sum_{i=1}^4 m s_i \rho_i c_i \bar{T} \right] + \nabla \cdot \sum_{i=1}^3 \rho_i c_i \bar{T} \mathbf{u}_i - \nabla \cdot \sum_{i=1}^2 \bar{p} \mathbf{u}_i - \\
 \frac{\partial m s_3 \bar{p}}{\partial t} &= \nabla \cdot \kappa \nabla \bar{T} + m Q_R s_1 j, \\
 \bar{p} &= p - p_0, \bar{T} = T - T_0.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Теплота реакции Q_R определена при давлении p_0 и температуре T_0 . Скорость химической реакции j пропорциональна концентрации реагирующих веществ и зависит от температуры по закону Аррениуса:

$$j = k_0 e^{-\frac{E_R}{RT}} y^\alpha.$$

Порядок реакции α , константа реакции k_0 , энергия активации химической реакции E_R определялись на основе экспериментальных данных [1]. Замыкающие соотношения, уравнения состояния фаз и калорические уравнения описаны в работах [2, 4].

Аналитические решения

Рассмотрим задачу об обработке вертикальной скважины. Рассматриваемая область пласта ограничена с одной стороны стенкой скважины, $r = r_w$, с другой стороны — контуром питания, $r = r_e$. Толщина радиального слоя равна h . Задачу будем решать в одномерной радиальной осесимметричной постановке:

$$\mathbf{u} = u_r \mathbf{e}_r, \quad \nabla = \frac{\partial}{\partial r} \mathbf{e}_r, \quad \nabla \cdot = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mathbf{e}_r).$$

Технология обработки бинарными смесями состоит из нескольких этапов. На первом этапе производится закачка активного раствора в пласт. Закачка прекращается при внесении планового объема реагентов. На втором этапе скважина закрывается на период протекания реакции. Наблюдается рост давления и температуры вблизи скважины, выделяющееся в ходе химической реакции тепло прогревает породу и содержащиеся в ней флюиды. На третьем этапе после стабилизации полей давления и температуры скважина вновь запускается в работу. Происходит отбор нефти и продуктов реакции из нагретого пласта. Описание каждого этапа обработки представляет отдельную задачу. Граничные

условия для каждой задачи приведены в *тч*. На границе области дренирования задается постоянное пластовое давление p_r и температура T_r . На скважине при закачке бинарной смеси в пласт задается постоянная приемистость q_1 и массовая концентрация бинарной смеси C_m , при добыче нефти из пласта — постоянное забойное давление p_{bhp} .

Численное решение системы уравнений (2)-(3) приведено в работах [3, 6]. Для того чтобы получить аналитические решения сформулированных задач в исходную систему уравнений необходимо внести дополнительные упрощения. Рассмотрим каждый этап обработки в отдельности.

Таблица 1

Table 1

Граничные условия	Boundary conditions
Закачка бинарной смеси в пласт	$r = r_w: \begin{cases} \partial p / \partial r = q_1 \mu_1 / 2 \pi r_w h k, & T = T_r \\ s_1 = 1, s_2 = s_3 = 0 \\ a = y = \frac{C_m \rho_{10}}{M_m - (\rho_a + \rho_y) C_m} \end{cases}$ $r = r_e: \quad p = p_r, T = T_r$
Протекание химической реакции	$r = r_w: \quad \partial p / \partial r = 0, \partial T / \partial r = 0$ $r = r_e: \quad p = p_r, T = T_r$
Добыча нефти из нагретого пласта	$r = r_w: \quad p = p_{bhp}, \partial T / \partial r = 0$ $r = r_e: \quad p = p_r, T = T_r$

Закачка бинарной смеси в пласт

Т. к. в пласт закачивается холодная бинарная смесь, а теплоемкость породы в несколько раз превышает теплоемкость содержащихся в ней флюидов, пластовая температура растет медленно, скорость реакции можно считать пренебрежимо малой. Бинарную смесь, нефть и породу с достаточной точностью можно считать несжимаемыми. Распределение насыщенности бинарной смесью в пласте после закачки реагентов S_1^* можно описать классическим решением Баклея — Леверетта:

$$\pi r^2 = \pi r_w^2 + \frac{f_1'(s_1^*) q_1 \tau_1}{m}, \quad f_1 = \frac{k_1 / \mu_1}{k_1 / \mu_1 + k_2 / \mu_2}, \quad (4)$$

где $f_1(s_1)$ — функция Баклея — Леверетта; τ_1 — время закачки. Из-за того, что начальные и граничные условия не согласованы, возникает скачок насыщенности. Положение разрыва r_d и насыщенность на разрыве S_d^* определяются выражением:

$$f_d(s_d^*)/s_d^* = f'(s_d^*), \quad \pi r_d^2 = \pi r_w^2 + \frac{f_d^*}{s_d^{*m}} \frac{q_1 \tau_1}{h}. \quad (5)$$

Концентрация реагентов в активном растворе постоянна и определяется массовой концентрацией бинарной смеси C_m :

$$y^* = a^* = \frac{C_m \rho_{10}}{M_m - (\rho_a + \rho_y) C_m}, \quad r \leq r_d, \quad (6)$$

где — $M_m = \sum_{k=1}^4 M_{1k}$ молярная масса реагентов.

Таким образом, после первого этапа обработки образуется зона $r \leq r_d$, заполненная бинарной смесью, насыщенность $S_1^*(r)$ уменьшается по мере удаления от скважины согласно решению (4).

Протекание химической реакции в пласте

Т. к. скважина закрывается на период протекания химической реакции, а реагенты разлагаются быстро, целесообразно считать, что фазы при этом неподвижны. В этом случае насыщенность бинарной смесью можно искать в виде:

$$s_1 = s_t(t) s_1^*(r),$$

где $S_1^*(r)$ — распределение насыщенности в пласте после окончания закачки (4), $s_t(t)$ — неизвестная функция, описывающая изменение насыщенности в ходе реакции. В результате разложения компонентов бинарной смеси выделяется тепло, температуру в пласте с достаточной точностью можно определить по формуле:

$$T = T_r + \frac{(1-s_t) s_1^* Q_R}{(\rho c)^* c_p}, \quad T_m = T_r + \frac{s_1^* Q_R y^*}{(\rho c)^*}, \quad (7)$$

$$(\rho c)^* = (\rho_1 c_1 s_1)^* + (\rho_2 c_2 s_2)^*, \quad C_p = \frac{M_3 - \rho_y}{\rho_{10}},$$

где T_m — температура в пласте, после того как все закачанные компоненты прореагируют. Верхним индексом «*» обозначены поля, определенные при решении предыдущей задачи (4)-(6). Таким образом, после окончания реакции заполненная бинарной смесью зона $r \leq r_d$ нагревается до температуры T_m . Повышение температуры в зоне реакции пропорционально насыщенности бинарной смесью S_1^* .

Гидродинамические расчеты показывают, что выделяющийся в ходе реакции газ проникает глубоко в пласт. Проведем оценку доли уносимого газом тепла. В ходе реакции во всем объеме, заполненном бинарной смесью выделяется энергия:

$$E_R = Q_R \cdot j m s_t s_{1cp}^* (\pi r_d^2 - \pi r_w^2), \quad s_{1cp}^* = \frac{1}{(\pi r_d^2 - \pi r_w^2)} \int_{r_w}^{r_d} s_1^* r dr.$$

Если предположить, что весь газ уходит из зоны реакции, то он уносит часть выделяющейся энергии:

$$\Delta E_R = (\rho_3 c_3 \bar{T} u_{3r} 2\pi r)_d \approx M_3 c_3 (T - T_r) \cdot j m s_t s_{1_{cp}}^* (\pi r_d^2 - \pi r_w^2),$$

где $s_{1_{cp}}^*$ — средняя насыщенность бинарной смесью в зоне реакции. Тогда доля энергии, уносимая газом:

$$\eta = \frac{\Delta E_R}{E_R} = \frac{M_3 c_3 (T - T_r)}{Q_R} < \frac{c_3 M_3 m u^*}{(1-m)c_0 \rho_0} < 3\%. \quad (8)$$

Выделяющийся в ходе реакции газ уносит менее 3% энергии. На рис. 1 приведено сравнение формулы (7) с подробным гидродинамическим расчетом. Наблюдается хорошее совпадение аналитического и численного решения. Таким образом, формула (7) может быть использована с хорошей точностью для расчета поля температуры, возникающего в пласте в результате обработки бинарной смесью.

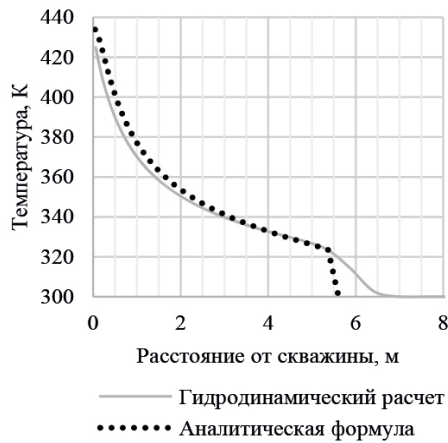


Рис. 1. Сравнение аналитической формулы (7) с численным гидродинамическим расчетом

Fig 1. The comparison between analytical formula (7) and the numerical hydrodynamic calculation

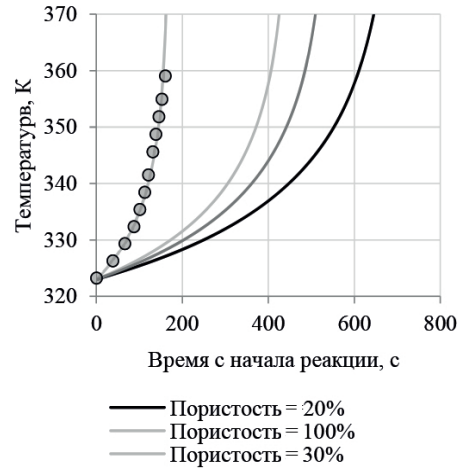


Рис. 2. Кинетика химической реакции при различной пористости пласта

Fig 2. The kinetic chemical reaction at different reservoir porosity

Если температура определяется формулой (7), то можно найти динамику реакции:

$$t = \frac{c_p}{k_0} \left(e^{x_m} (x_m f + 1) \text{Ei}(x_r - x_m) + e^{x_r} \frac{x_m f}{(x_m - x_r)} - \text{Ei}(x_r) \right), \quad (9)$$

$$x = \frac{E_R}{RT}, x_m = \frac{E_R}{RT_m}, x_r = \frac{E_R}{RT_r}, f = \frac{(T_m - T_r)}{T_m} \left(\frac{1}{y^* c_p} - 1 \right).$$

Трансцендентное уравнение (9) определяет зависимость температуры $T(t)$ от времени. Проведенные по уравнению (9) расчеты совпадают с эксперименталь-

ными данными в лабораторных условиях. На рис. 2 показано, что в пласте реакция замедляется, т. к. порода нагревается медленно. Таким образом, полученная формула может быть использована для расчета времени протекания реакции в пластовых условиях.

Добыча нефти из нагретого пласта

После обработки бинарной смесью пласт нагревается, в результате чего понижается вязкость нефти и повышается продуктивность скважины. В целях упрощения будем рассматривать чисто нефтяной пласт. Также не учитываем влияние на продуктивность скважины закаченных реагентов и продуктов реакции. Считаем, что температура пласта по всей толщине одинакова. Уравнение сохранения энергии с учетом сделанных допущений можно записать в виде:

$$R_r \frac{\partial(T-T_r)}{\partial t} + R_2 u_{2r} \frac{\partial(T-T_r)}{\partial r} - \frac{2h_m(T-T_r)}{h} = 0, \quad (10)$$

$$R_r = \rho_0 c_0 + \rho_2 c_2, \quad R_2 = \rho_2 c_2,$$

где h_m — коэффициент теплообмена между пластом и окружающими породами. Уравнение (10) можно решить методом характеристик:

$$\begin{cases} T = T_r + (T_m - T_r)e^{-\alpha t}, \quad \alpha = \frac{2h_m}{hR_r} \\ \pi r^2 = \pi r_{**}^2(T_m) - \frac{R_2 Q_2(t)}{R_r h} \end{cases}, \quad (11)$$

где $r_{**}^2(T_m)$ — распределение температуры в пласте после окончания реакции (7), определенное при решении предыдущей задачи, $Q_2(t)$ — накопленная на момент времени t добыча нефти.

Дебит скважины определяется уравнением Дюпюи:

$$q_2 = \frac{dQ_2}{dt} = \frac{2\pi k h \Delta p}{\int_{r_w}^{r_d} \mu_2(T) \frac{dr}{r} + \mu_{2r} \ln \frac{r_d}{r_e}}. \quad (12)$$

Разложив функцию $\mu_2(T) = \mu_2(T_r + (T_m(r^2 + r_{d0}^2 - r_d^2) - T_r)e^{-\alpha t})$ в ряд Тейлора в точке $r = r_d$, получим дифференциальное уравнение для нахождения положения фронта температуры:

$$\frac{4k\Delta p R_2}{R_r} \frac{dt}{dr_d^2} + (\mu_{2d} - \mu'_{2d} r_d^2) \ln \frac{r_d^2}{r_w^2} + \mu'_{2d} (r_d^2 - r_w^2) - \mu_{2r} \ln \frac{r_d^2}{r_e^2} = 0, \quad (13)$$

$$\mu_{2d} = \mu_2(T_r + (T_d - T_r)e^{-\alpha t}), \quad \mu'_{2d} = \frac{\partial \mu_2}{\partial r^2}.$$

Отдельно рассмотрим случай $\alpha = 0$, когда можно пренебречь теплопотерями в кровлю и подошву пласта. В данном случае уравнение (13) можно проинтегрировать, найдя время, за которое фронт насыщения дойдет до скважины:

$$t_{\text{доб}} = \frac{\mu_{2r} \ln r_e/r_w}{2\pi kh\Delta p} \left(\frac{\pi hr_{d0}^2 R_r}{R_2} + \Delta Q \right),$$

$$\Delta Q = \frac{\pi hr_{d0}^2 R_r}{R_2} \frac{\left(1 - \frac{\mu_{2d} - \mu'_{2d}}{\mu_{2r}} \right) (\ln r_{d0}^2/r_w^2 + 1) + \frac{\mu'_{2d} r_{d0}^2}{\mu_{2r}^2}}{\ln r_e^2/r_w^2},$$
(14)

где ΔQ — дополнительная добыча нефти, получаемая в результате обработки. Данное приближение справедливо, если время добычи $t_{\text{доб}}$ меньше характерного времени теплообмена с окружающими пласт породами:

$$\frac{2h_m t_{\text{доб}}}{hR_r} \ll 1. \quad (15)$$

На рис. 3 и 4 показано сравнение численных расчетов, проведенных без учета теплопотерь в кровлю и подошву пласта, с результатами, полученными по формуле (14). Таким образом, формула (14) дает верхнюю оценку дополнительной добычи нефти.

В работах [7, 9] применяется схожий подход для определения дополнительной добычи нефти из нагретого пласта. Однако в данной работе получены более общие формулы с учетом уменьшения нагрева по мере удаления от скважины.

Влияние обводненности скважины и теплопотерь в кровлю и подошву на эффективность обработки скважины бинарной смесью может быть оценено по палеткам, полученным на основе численных расчетов, описанных в работе [6] (рис. 5 и 6).

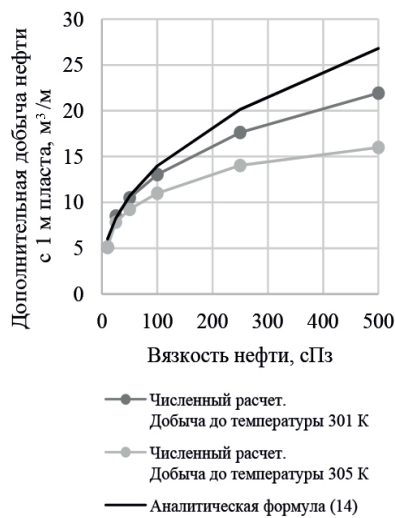


Рис. 3. Дополнительная добыча нефти с 1 м пласта при закачке 1 т/м реагентов

Fig 3. An incremental oil production from 1 m reservoir thickness in case of 1 t/m a reagents injection

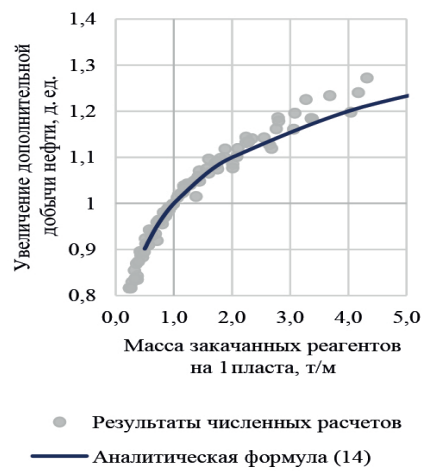


Рис. 4. Увеличение дополнительной добычи нефти при увеличении объемов закачки реагентов

Fig 4. An incremental oil production increasing due to reagent injection increasing

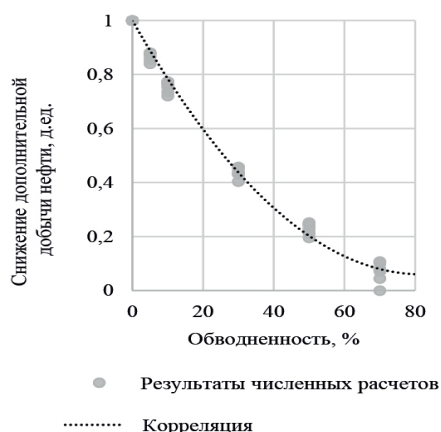


Рис. 5. Снижение дополнительной добычи нефти при увеличении обводненности пласта

Fig 5. An incremental oil production decreasing due to reservoir water cut increasing

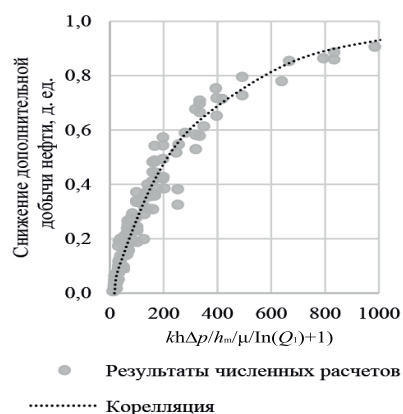


Рис. 6. Снижение дополнительной добычи нефти при учете теплотерь ($[k] = \text{мД}$, $[h] = \text{м}$, $[\Delta p] = \text{бар}$, $[Q_1] = \text{т}$, $[\mu] = \text{сПз}$, $[h_m] = \text{Вт/м}^2/\text{К}$)

Fig 6. An incremental oil production decreasing due to heat loss ($[k] = \text{мД}$, $[h] = \text{м}$, $[\Delta p] = \text{бар}$, $[Q_1] = \text{т}$, $[\mu] = \text{сР}$, $[h_m] = \text{W/м}^2/\text{K}$)

Заключение

В данном исследовании разработана аналитическая модель расчета тепловой эффективности обработки прискважинной зоны энерговыделяющими бинарными смесями. Получены аналитические формулы, с помощью которых можно рассчитать радиус воздействия и возникающее в результате обработки поле температуры, провести оценку дополнительной добычи нефти. Результаты аналитических формул с высокой точностью совпадают с результатами численных расчетов. Также в работе приведены палетки, полученные на основе численных экспериментов, позволяющие оценить неучтенные в аналитической модели факторы. Предложенные формулы и палетки могут быть использованы для экспресс-оценки эффективности применения бинарных смесей, для выбора и ранжирования возможных кандидатов для обработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варавва А. И. Исследование кинетики разложения бинарной смеси применительно к воздействию на нефтяной пласт / А. И. Варавва, В. Е. Вершинин, Р. А. Идиятуллин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2017. № 6. С. 67-72.
2. Варавва А. И. Модель подачи реагирующей бинарной смеси в пласт / А. И. Варавва, А. В. Татосов // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 195-200.

3. Варавва А. И. Оценка эффективности обработки прискважинной зоны энерговыделяющей бинарной смесью / А. И. Варавва, А. В. Татосов, В. Е. Вершинин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 2. С. 8-21.
DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-8-21
4. Варавва А. И. Численное моделирование тепловых эффектов при обработке скважин растворами бинарных смесей / А. И. Варавва, В. Е. Вершинин // Нефтегазовое дело. 2017. № 6. С. 20-34.
5. Вершинин В. Механизмы термогазохимического воздействия при обработке скважин бинарными смесями / В. Вершинин, К. Федоров, А. Лищук // Российская нефтегазовая техническая конференция и выставка SPE (24-26 октября 2016, Россия, Москва). 13 с. SPE 182048-RU.
6. Вершинин В. Е. Оценка теплового эффекта обработки призабойной зоны пласта энерговыделяющими бинарными смесями / В. Е. Вершинин, А. И. Варавва, А. В. Татосов, А. Н. Лищук // Нефтяное хозяйство. 2018. № 6. С. 122-126.
7. Соколюк Л. Н. Применение аналитической модели для определения оптимальных технологических параметров при пароциклическом воздействии на залежи высоковязкой нефти / Л. Н. Соколюк, Л. Н. Филимонова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2013. № 7. С. 64-70.
8. Термогазохимический состав и способ применения для обработки призабойной и удаленной зоны продуктивного пласта: пат. 2525386 Рос. Федерация / В. Б. Заволжский, В. А. Бурко, А. Р. Идиятуллин, Б. Н. Басюк и др. № 2012150375/03; заявл. 26.11.2012; опубл. 10.08.2014.
9. Федоров К. М. Методика расчета и оптимизация парогазоциклического воздействия на призабойную зону пласта / К. М. Федоров, А. П. Шевелёв, В. Е. Андреев, Ю. А. Котенев, С. С. Бадретдинов, А. И. Шакиров, О. З. Исмагилов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2005. № 3. С. 42-50.

Artem I. VARAVVA¹

Alexey V. TATOSOV²

UDC 662.5

THE ANALYTICAL SOLUTIONS OF WELL TREATMENT EFFICIENCY BY THE HEAT-PRODUCED BINARY AQUEOUS MIXTURE*

¹ Postgraduate Student, University of Tyumen
artevar@yandex.ru

² Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor,
Department of Fundamental Mathematics and Mechanics,
University of Tyumen
atatosov@utmn.ru

Abstract

The development simulation method for high viscosity oil production is an actual problem of the contemporary oil industry. Steam well treatments are widely used for heavy hydrocarbons production. However, they require an essential CAPEX for a steam injection; in addition, there is an essential heat loss in a downhole and surface equipment. Using heat-producing binary mixtures as a heat agent solves these problems. The heat loss is negligible due to direct bottomhole heating by binary mixture. The treatments can be conducted by mobile equipment wherefore building of steam-generators and steam-pipes does not require.

Disadvantage of binary mixture method is high cost of used reagents. Therefore, efficiency calculations are required before well treatment. The analytical model of binary mixture well stimulation was developed. The analytical model supports treatment radius, reservoir temperature after stimulation, incremental oil production due to reservoir heating calculation.

* This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the project of the Government Decree No 218 of 9 April 2010, and under the contract No 02. G 25.31.0180 of 1 December 2015 by Sibneftemash jointly with the University of Tyumen.

Citation: Varavva A. I., Tatosov A. V. 2018. "The Analytical Solutions of Well Treatment Efficiency by the Heat-Produced Binary Aqueous Mixture". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 4, no 4, pp. 21-32.
DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-21-32

The developed model can be used to approximate estimation of binary mixture treatment effect and screening suitable wells for treatments.

Keywords

Thermos-gas-chemical well treatment, binary aqueous mixture, stimulating production methods, multiphase filtration in a porous media, cleaning the bottomhole zone.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-21-32

REFERENCES

1. Varavva A. I., Vershinin V. E., Idiyatullin R. A. 2017. "Issledovanie kinetiki razlozheniya binarnoy smesi primenitelno k vozdeystviyu na neftyanoy plast" [Study of the Kinetics of Decomposition of a Binary Mixture in Relation to the Effect on the Oil Reservoir]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft i gaz*, no 6, pp. 67-72.
2. Varavva A. I., Tatosov A. V. 2017. "Model podachi reagiruyushchey binarnoy smesi v plast" [Model of Supplying a Reacting Binary Mixture to a Reservoir]. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik povolzhya*, no 4, pp. 195-200.
3. Varavva A. I., Tatosov A. V., Vershinin V. E. 2018. "Estimating the Efficiency of the Wellbore Zone Treatment by a Heat-Produced Binary Mixture". *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, vol. 4, no 2, pp. 8-21. DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-8-21
4. Varavva A. I., Vershinin V. E. 2017. "Chislennoe modelirovanie teplovykh effektov pri obrabotke skvazhin rastvorami binarnykh smesey" [Numerical Modeling of Thermal Effects in Well Treatment with Solutions of Binary Mixtures]. *Neftegazovoe delo*, no 6, pp. 20-34.
5. Vershinin V., Fedorov K., Lishchuk A. 2016. "Mekhanizmy termogazokhimicheskogo vozdeystviya pri obrabotke skvazhin binarnymi smesyami" [Mechanisms of Thermal-Pressure Induced Impact of Binary Mixture Reaction Near Wellbore]. Paper presented at SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition (24-26 October, Moscow, Russia). SPE 182048-RU.
6. Vershinin V. E., Varavva A. I., Tatosov A. V., Lishchuk A. N. 2018. "Otsenka teplovogo effekta obrabotki prizaboynoy zony plasta energovydeleyayushchimi binarnymi smesyami" [The Thermal Effect Estimation of the Bottom-Hole Formation Zone Treatment by Heat-Producing Binary Mixtures]. *Oil Industry*, no 6, pp. 122-126.
7. Sokolyuk L. N., Filimonova L. N. 2013. "Analytical Cyclic Steam Simulation Model for Heavy Oil Reservoirs". *Tyumen State University Herald*, no 7, pp. 57-62.
8. Zavolzhskiy V. B., Burko V. A., Idiyatullin A. R., Basyuk B. N. et al. 2014. RF patent 2525386 "Termogazokhimicheskiiy sostav i sposob primeneniya dlya obrabotki prizaboynoy i udalennoy zony produktivnogo plasta" [Thermogasochemical Composition and Method of Application for the Treatment of the Bottomhole and Remote Zone of the Reservoir]. No 2012150375/03. Applied 26 November 2012. Published 10 August 2014.
9. Fedorov K. M., Shevelyov A. P., Andreev V. E., Kotenev Yu. A., Badretdinov S. S., Shakirov A. I., Ismagilov O. Z. 2005. "Metodika rascheta i optimizatsiya parogazociklicheseskogo vozdeystviya na prizaboynuyu zonu plasta" [The Method of Calculation and Optimization of the Vapor-Gas-Cyclic Effect on the Bottomhole Formation Zone]. *Izvestiya vysshikh-uchebnykh zavedeniy. Neft i gaz*, no 3, pp. 42-50.