УДК 622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА ПРОСТОЯ/РАБОТЫ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ В НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОГО РАЗГАЗИРОВАНИЯ

THE STUDY OF THE EFFECT OF TIME OF STOPPING/OPERATING PERIOD OF INJECTION WELLS ON THE EFFECTIVENESS OF NON-STATIONARY FLOODING IN PARTIALLY DEGASSED DEPOSITS

Циклис Игорь Михайлович
магистрант кафедры «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
igorciklis@mail.ru

Моисеева Елена Флоридовна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
elena.f.moiseeva@gmail.com

Tsiklis Igor Mikhaylovich
Master student of the Chair of Development and exploitation of Gas and Gas condensate Fields,
Ufa State Petroleum Technological University
igorciklis@mail.ru

Moiseyeva Elena Floridovna
Candidate of physics and math sciences,
Assistant Professor of the Chair of Development and exploitation of Gas and Gas condensate Fields,
Ufa State Petroleum Technological University
elena.f.moiseeva@gmail.com

Аннотация. В статье приведены результаты оценки путем гидродинамического моделирования условий эффективного применения нестационарного заводнения (НЗ) в частично разгазированных залежах. Приводятся количественные показатели увеличения дебита нефти и снижения обводненности при применении НЗ.

Ключевые слова: нестационарное заводнение, циклическое воздействие, разгазирование нефти, гидродинамическое моделирование.

Annotation. The article presents the results of the evaluation by the hydrodynamic modeling of conditions for effective application of non-stationary flooding in partially degassed deposits. This report leads quantitative targets to increase oil production and reduce water cut in the application of non-stationary flooding.

Keywords: non-stationary flooding, cyclic effect, de-gassing of oil, hydrodynamic modeling.

При решении задач стабилизации уровней добычи нефти особая роль отводится методам повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации разработки с применением наиболее рентабельных и успешных технологий.

Существует способ вытеснения разгазированной нефти водой, который осуществляется неоднократным изменением соотношения объемов закачки воды и отбора жидкости из залежи с тем, чтобы последовательно сначала снижать пластовое давление в залежи ниже давления насыщения до достижения равновесной газонасыщенности, а затем повышать пластовое давление с целью полного растворения выделившегося газа в оставшейся в пласте нефти и замещения объема растворенного газа водой [1].

Ниже приводятся результаты исследований влияния продолжительности периода работы (остановки) нагнетательных скважин при циклической закачке воды на эффективность нестационарной технологии на участках интенсивного разгазирования нефти.

Применение нестационарного заводнения в неоднородном по проницаемости коллекторе. Описание модели.

Исследование выработки запасов нефти из продуктивного пласта при нестационарном заводнении изучим на математической модели трехфазной фильтрации [2]. В качестве инструмента исследований будем использовать пакет гидродинамического моделирования «Tempest-More» (производитель Roxar) [3].

Рассмотрим участок залежи размером 1000 × 1000 × 10 м (рис. 1). Начальная нефтенасыщенность коллектора S0 = 0,84 д.ед. Начальные пластовые давление и температура – P_0 = 15,6 МПа и T_0 = 61 °С. Плотность и вязкость воды в пластовых условиях составили 1,04 г/см^3 и 0,496 мПа·с, соответственно. Плотность нефти в поверхностных условиях 0,8 г/см^3. В пластовых условиях газосодержание равно 62 м^3/м^3. Давление насыщения нефти газом – 6,1 МПа.

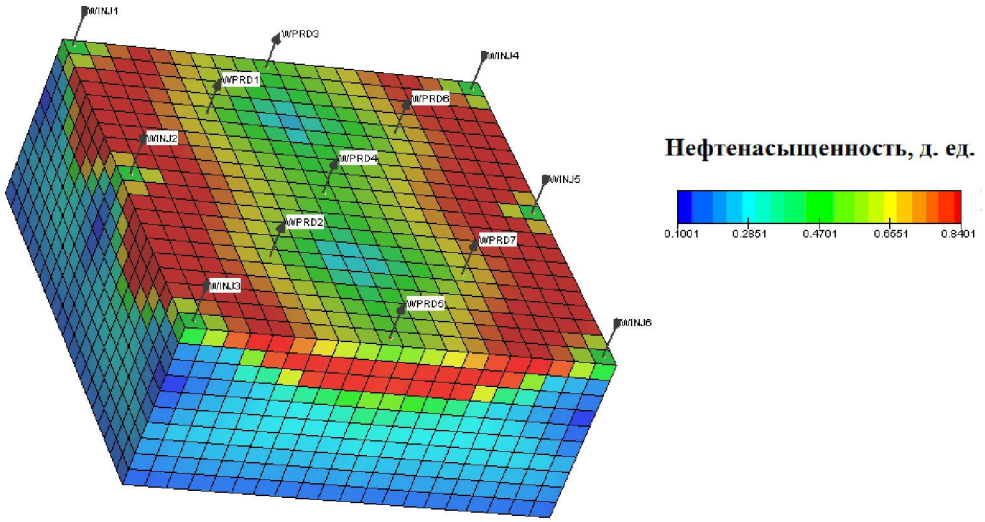


Рисунок 1 – Куб текущей нефтенасыщенности неоднородного коллектора с расположением скважин

Участок залежи разбурен сеткой скважин с рядной схемой расположения нагнетательных и добывающих скважин. Всего в модели используются 6 нагнетательных и 7 добывающих скважин.

Технологические условия разработки участка залежи следующие. Все добывающие и нагнетательные скважины запускаются в работу одновременно. В скважинах перфорирована вся толща пласта.

Исследование эффективности нестационарного воздействия проводится на примере послойно неоднородного по проницаемости коллектора, состоящего из трех гидродинамически связанных слоев. В середине пласта расположен высокопроницаемый слой с проницаемостью $K_{вп}$ = 2000 мД. Сверху и снизу по разрезу расположены низкопроницаемые слои, проницаемость которых равна 100 мД. Модель такого послойно неоднородного по проницаемости пласта изображена на рисунке 2.

Для сопоставления результатов предполагается, что пористость коллектора одинакова для всех рассматриваемых ниже задач (m = 0,18 д.ед.).

Сравнение эффективности стационарной и циклической закачек в нефтяных залежах в условиях частичного разгазирования.

Со времени первых публикаций в конце 50 – начале 60-х годов был выполнен значительный объем теоретических, экспериментальных и промысловых исследований, позволивших раскрыть физическую сущность нестационарных процессов фильтрации в пласте и разработать разнообразные модификации циклического заводнения для применения их в промышленных масштабах [4, 5, 6, 7].

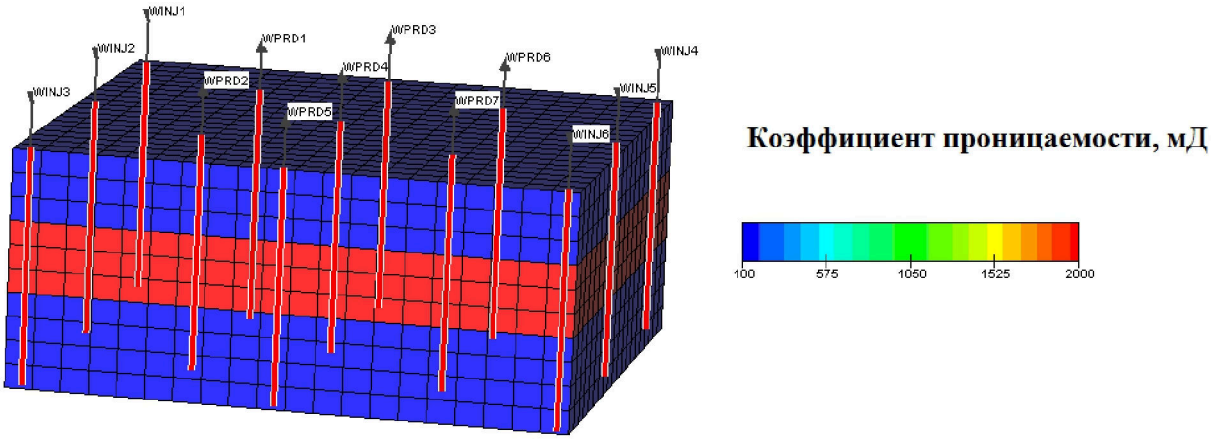


Рисунок 2 – Куб проницаемости послойно неоднородного по проницаемости коллектора

В данной группе задач сравнивались два варианта – базовый со стационарной закачкой и нестационарная закачка воды с полупериодом простоя/работы нагнетательных скважин, равным 30 суткам.

В начале разработки, для выполнения условия частичного разгазирования, снизим пластовое давление в залежи путем недокомпенсации отбора закачкой воды до давления, равного давлению насыщения нефти газом (рис. 3). При этом газосодержание нефти равно 88 м^3/м^3, обводненность – 90,2 %.

Примем данное состояние пластовой системы за стартовое для применения технологий по увеличению нефтеотдачи пласта.

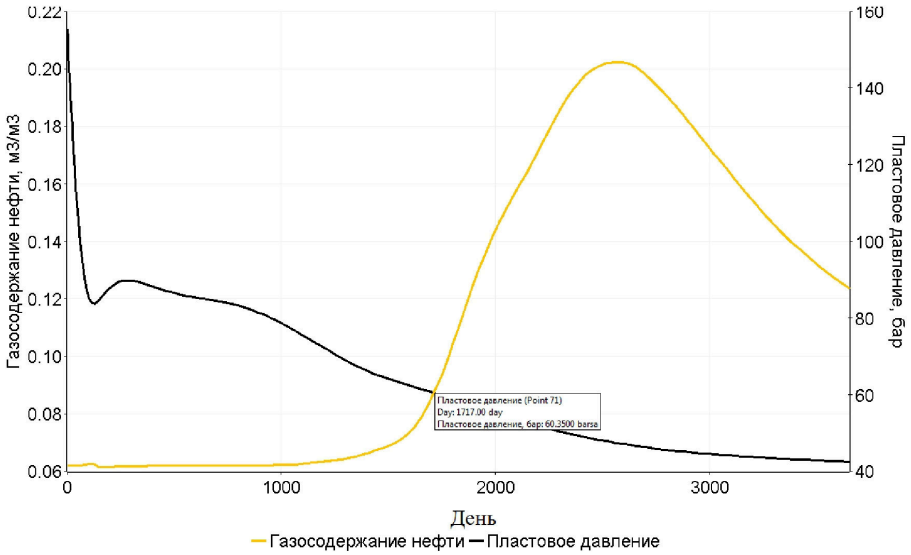


Рисунок 3 – Динамика изменения пластового давления и газосодержания нефти

С этого момента для нагнетательных скважин при стационарной закачке установим максимальный порог приемистости в 1000 м^3/сут. при максимально возможном забойном давлении 20,0 МПа, при циклической – 2000 м^3/сут., время полупериода работы/остановки нагнетательных скважин – 30 суток.

На рисунке 4 представлена динамика накопленных отборов нефти за счет стационарной и циклической закачек воды. Видно, что нестационарная закачка оказывается эффективней стационарной. Прирост накопленной добычи составляет 11 %.

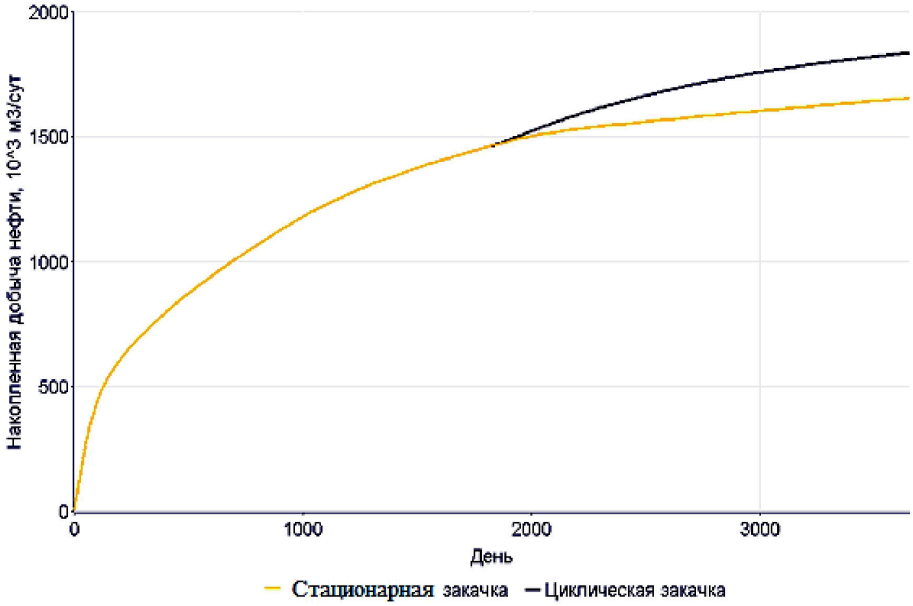


Рисунок 4 – Динамика накопленных отборов нефти за счет стационарной и циклической закачек

Представленные на рисунках 5–6 данные показывают, что в сравнении со стационарной закачкой, при нестационарном заводнении наблюдается снижение обводненности, а также незначительное уменьшение накопленного объема закачанной воды, что говорит об экономичности нестационарной технологии.

Итак, нестационарное заводнение в нефтяных залежах в условиях частичного разгазирования позволяет существенно повысить нефтеотдачу пласта (до 14 %), при этом эффект достаточно быстро нарастает. Стоит отметить, что при данной технологии удается незначительно уменьшить объемы закачиваемой воды, что является немаловажным экономическим фактором. Также за счет применения подобной технологии можно существенно увеличить время разработки за счет снижения обводненности добываемой продукции участка.

Зависимость эффективности технологии нестационарного заводнения от продолжительности периода работы (остановки) нагнетательных скважин в частично разгазированных залежах.

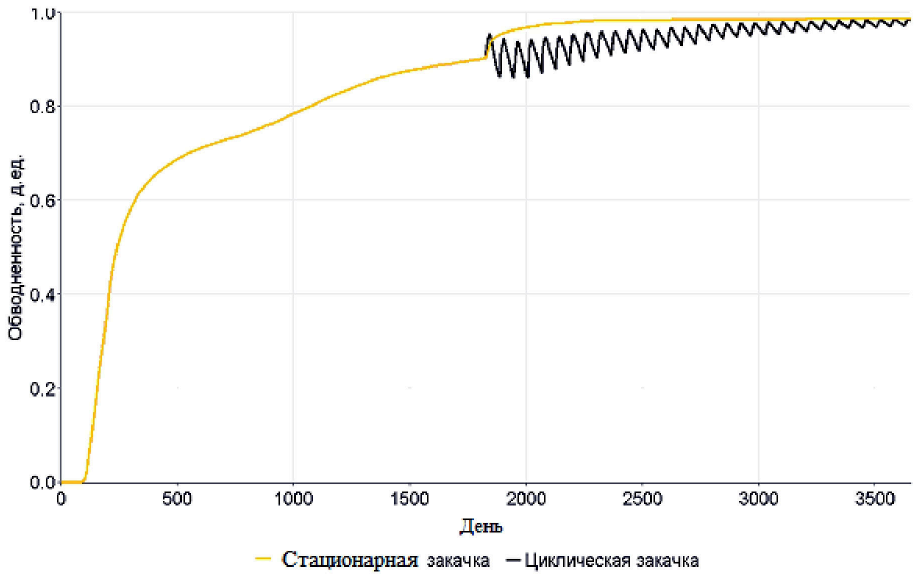


Рисунок 5 – Динамика обводненности при стационарной и циклической закачках

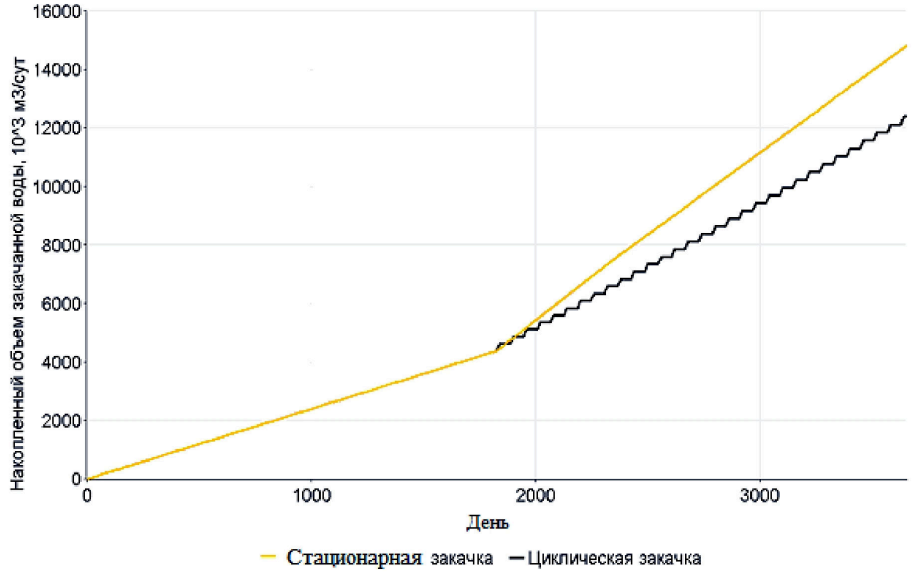


Рисунок 6 – Динамика накопленного объема закачанной воды при стационарной и циклической закачках

В данной группе задач исследуем зависимость эффективности нестационарного заводнения от соотношения полупериодов работы (остановки) нагнетательных скважин.

Расчеты ведутся 10 лет, после чего моделирование разработки участка прекращается.

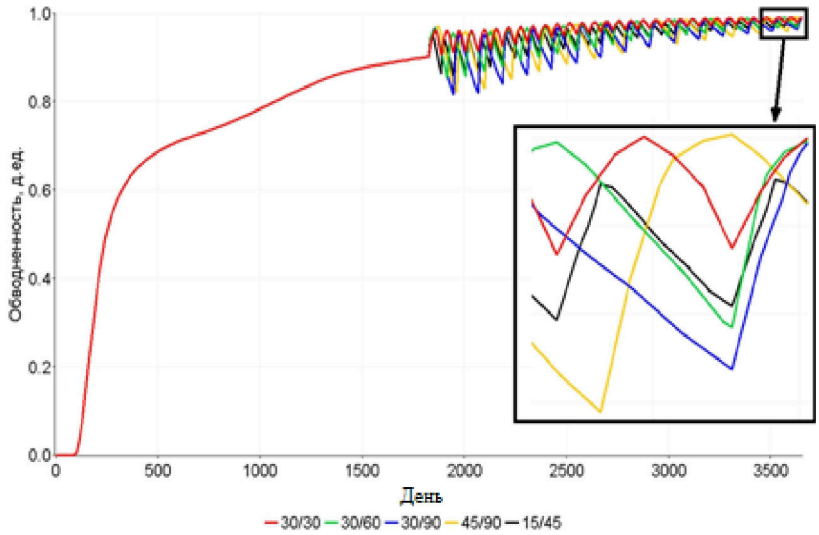
Рассмотрим следующие варианты полупериодов: 30/30 сут., 30/60 сут., 30/90 сут., 45/90 сут., 15/45 сут. (табл. 1).

Таблица 1 – Входные данные для определения наиболее эффективной продолжительности работы/простоя нагнетательных скважин

№ варианта	Продолжительность работы/простоя нагнетательной скважины, сут.
1	30/30
2	30/60
3	30/90
4	45/90
5	15/45

На рисунке 7 показана динамика обводненности для различных вариантов полупериодов НЗ.

Представленные зависимости показывают, что для вариантов 2–4 к концу разработки при нестационарном заводнении обводненность ниже, чем в случае базового варианта. Также можно отметить, что наименьшая обводненность достигается в 4 варианте, когда полупериоды работы/простоя нагнетательных скважин равны соответственно 45/90 суток.



№ варианта	Обводненность к концу разработки, д. ед.
1	0.97747
2	0.96855
3	0.96381
4	0.95897
5	0.97096

Рисунок 7 – Динамика изменения обводненности для каждого варианта

Представленные на рисунке 8 кривые характеризуют накопленное количество закачанной воды в нагнетательные скважины. Интересно, что в 1 варианте расходуется наибольшее количество воды, тогда как самым экономичным является технология нестационарного заводнения с продолжительностью работы (остановки) скважин 30/90 суток.

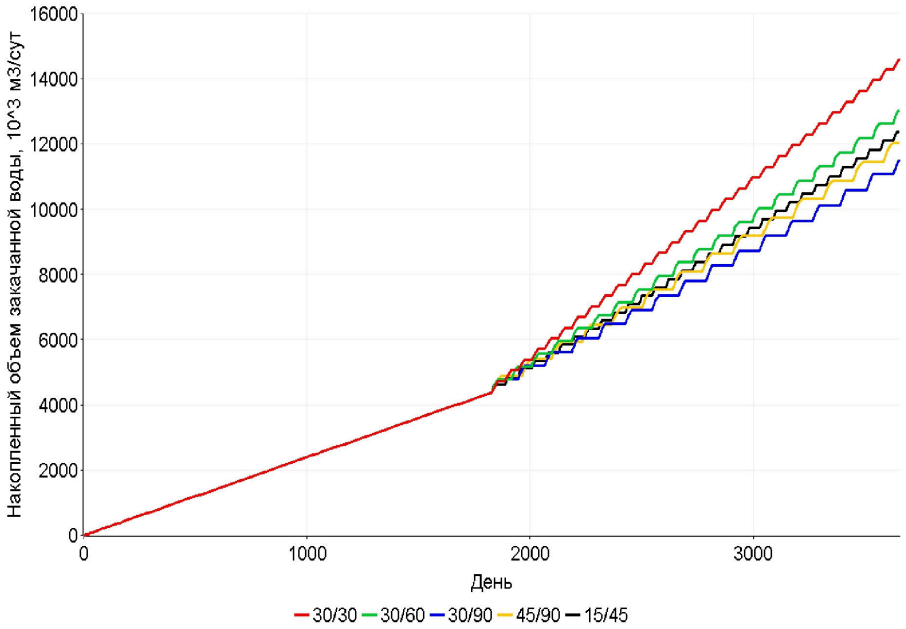


Рисунок 8 – Накопленная закачка воды для каждого варианта

На рисунке 9 показаны зависимости накопленной добычи нефти и ее прироста относительно базового варианта для различных вариантов НЗ.

Эффект проявляется сразу же после начала применения НЗ. Максимальный прирост за счет применения метода наблюдается при соотношении полупериодов 15/45 суток. Величина максимального прироста добычи нефти достигает 11 % по сравнению с базовым вариантом.

В таблице 2 представлены результаты модельных расчетов технологических показателей разработки участка.

Таким образом, представленные в работе результаты гидродинамических расчетов показали, что применение нестационарного воздействия в нефтяных залежах в условиях частичного разгазирования наиболее эффективно при соотношении работы (остановки) нагнетательных скважин 15/45 суток. При этом наблюдается снижение обводненности, кроме того сокращается объем закачанной воды на 16,5 % по сравнению с базовым вариантом, что говорит об экономической эффективности 5 варианта. Также использование нестационарного заводнения в послойно неоднородном по проницаемости коллекторе с частично разгазированной нефтью позволяет увеличить нефтеотдачу пласта до 14 %.

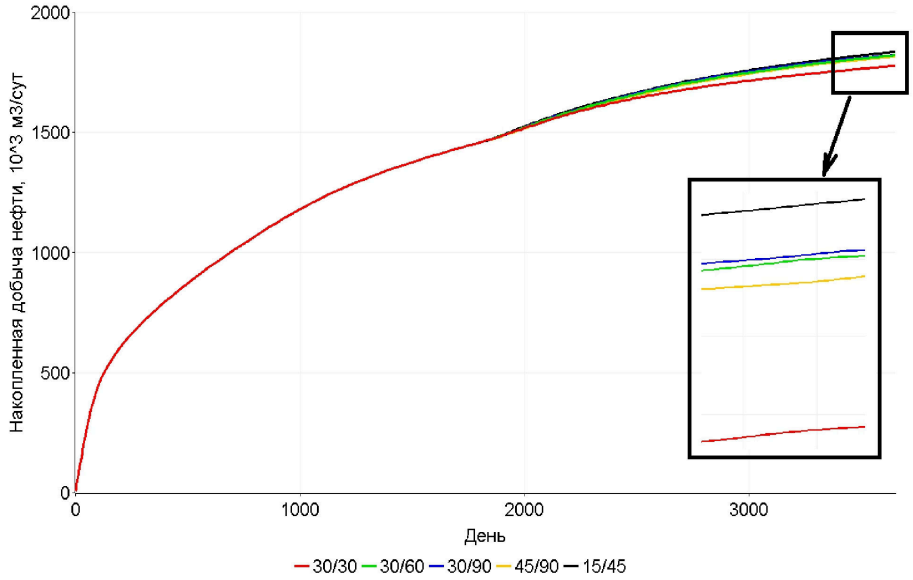


Рисунок 9 – Накопленная добыча нефти для каждого варианта

Таблица 2 – Результаты модельных расчетов

№ варианта	Обводненность, д.ед.	Накопленная закачка воды, 10^3 м^3	Накопленная добыча нефти, 10^3 м^3	КИН, д.ед
1	0,97747	14594,2	1776,85	0,236
2	0,96855	13037,2	1820,92	0,278
3	0,96381	11513,1	1822,41	0,269
4	0,95897	12034,9	1815,56	0,263
5	0,96940	12366,5	1835,47	0,281

Литература:

1. http://www.findpatent.ru/patent/211/2114986.html (10.03.2017).
2. Шарбатова И.Н. Циклическое воздействие на неоднородные нефтяные пласты / И.Н. Шарбатова, М.Л. Сургучев. – М. : Недра, 1998. – 121 с.
3. MORE 6.7 Technical Reference. ROXAR, 2011, 152 p.
4. Владимиров И.В. Нестационарные технологии нефтедобычи (этапы развития, современное состояние и перспективы). – М. : ОАО ВНИИОЭНГ, 2004. – 216 с.
5. Токарев М.А. Анализ эффективности применения методов повышения нефтеотдачи на крупных объектах разработки : учебное пособие / М.А. Токарев, И.З. Денисламов. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2001. – 115 с.
6. Муслимов Р.Х. Современные методы управления разработкой нефтяных месторождений с применением заводнения : учебное пособие. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2002 – 596 с.
7. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов / М.Л. Сургучев. – М. : Недра, 1985. – 308 с.

References:

1. http://www.findpatent.ru/patent/211/2114986.html (3/10/2017).
2. Sharbatova I.N. Cyclic impact on non-uniform oil layers / I.N. Sharbatova, M.L. Surguchev. – M. : Nedra, 1998. – 121 p.
3. MORE 6.7 Technical Reference. ROXAR, 2011, 152 p.
4. Vladimirov I.V. Non-stationary technologies of oil production (development stages, current state and prospects). – M. : JSC VNIIOENG, 2004. – 216 p.
5. Tokarev M.A. The analysis of efficiency of application of methods of increase in oil recovery on large subjects to development : manual / M.A. Tokarev, I.Z. Denislamov. – Ufa : UGNTU publishing house, 2001. – 115 p.
6. Muslimov R.H. Modern methods of management of development of oil fields with flooding application : manual. – Kazan : Publishing house Kazan un., 2002 – 596 p.
7. Surguchev M.L. Secondary and tertiary methods of increase in oil recovery of layers / M.L. Surguchev. – M. : Nedra, 1985. – 308 p.