

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2023.2.137-149>

EDN NHZLJU

УДК 622.276.1/4:622.243.24

**Планирование размещения проектного фонда
горизонтальных скважин в программном комплексе
«Epsilon»**

*¹Маннапов М.И., ¹Емельянов В.В., ²Саттаров Рам.З., ²Шарифуллина М.А.,
²Латифуллин Ф.Ф.*

¹СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть», Альметьевск, Россия

²Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть», Бузульма, Россия

**Method of placement of project horizontal wells realized
by Epsilon program package**

*¹M.I. Mannapov, ¹V.V. Yemelyanov, ²Ram.Z. Sattarov, ²M.A. Sharifullina,
²F.F. Latifullin*

¹TATNEFT-Dobycha – PJSC TATNEFT, Almeteyevsk, Russia

²TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT, Bugulma, Russia

E-mail: ramsat@tatnipi.ru

Аннотация. В статье описана методика генерации проектных горизонтальных скважин (ГС), реализованная в программном комплексе «Epsilon» (ПК «Epsilon»).

Расстановка горизонтальных скважин осуществляется последовательно для каждого объекта разработки сверху вниз после генерация «ковра бурения». Условно за траекторию горизонтальной скважины принимается отрезок, соединяющий пару точек, указывающих на расположение ранее сгенерированных вертикальных проектных скважин. Методика генерации проектных ГС включает следующие этапы:

- генерация ГС с учетом допустимости траектории;
- проверка ГС-кандидатов по геолого-физическим критериям;
- проверка экономической рентабельности бурения ГС-кандидатов и сравнение экономических показателей с вариантом бурения только вертикальных скважин;

- возможность расстановки проектных ГС в зонах, где экономически нерентабельно бурить только вертикальные скважины (ВС).

Одной из задач, решаемой в ПК «Epsilon», является генерация «ковра бурения» – поэтапная расстановка на-основе прокси-модели месторождения проектных добывающих точек для бурения по неравномерной сетке, удовлетворяющей технологическим и экономическим ограничениям и имеющей максимально возможную плотность.

Целью данной работы является создание методик и алгоритмов, позволяющих оперативно в автоматизированном режиме выполнять расстановку горизонтальных скважин по объектам Компании, включающим более 240 продуктивных горизонтов 85 месторождений.

Ключевые слова: программный комплекс «Epsilon», прокси-модель, горизонтальная скважина, вертикальная скважина, поэтапное размещение скважин, дебит горизонтальной скважины, удельная площадь, формула Джоши, траектория горизонтального ствола, чистый дисконтированный доход, рентабельность

Для цитирования: Маннапов М.И., Емельянов В.В., Саттаров Рам.З., Шарифуллина М.А., Латифуллин Ф.Ф. Планирование размещения проектного фонда горизонтальных скважин в программном комплексе «Epsilon» // Нефтяная провинция.-2023.-№2(34).-С. 137-149. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.2.137-149>. - EDN NHZLJU

Abstract. The paper describes a method of computer-aided generation of project horizontal wells realized by the in-house Epsilon program package.

For each development target, the horizontal wells are placed downwards, once the “drilling carpet” has been generated. Conventionally, as a horizontal wellbore trajectory, a segment connecting a couple of points representing positions of the previously generated project vertical wells is taken. The horizontal wells’ generation method includes the following stages:

- generation of the project horizontal wells considering the trajectory acceptability,
- checking of well candidates to ensure they meet geological criteria,
- analysis of economic performance and comparison with the only-vertical-wells drilling scenario,
- checking of advisability of placement of horizontal wells in zones where vertical wells alone do not make economic sense.

Based on a field’s proxy models, the Epsilon generates a “drilling carpet”, that is, a stage-wise placement of project wells by an irregular maximum-density drilling pattern that satisfies the geological, operational, and economical restrictions.

The aim of the study was to develop methods and algorithms to place automatically horizontal wells in all Company’s assets that to-date include 240 productive formations of 85 fields.

Key words: *Epsilon program package, proxi model, horizontal well, vertical well, stage-wise placement of project wells, horizontal well production rate, specific area, Joshi productivity equation, horizontal wellbore trajectory, NPV, profitability*

For citation: M.I. Mannapov, V.V. Yemelyanov, Ram.Z. Sattarov, M.A. Sharifullina, F.F. Latifullin *Planirovaniye razmeshcheniya proyektного fonda gorizontal'nykh skvazhin v programmnom komplekse «Epsilon» [Method of placement of project horizontal wells realized by Epsilon program package]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(34), 2023. pp. 137-149. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.2.137-149>. EDN NHZLJU (in Russian)*

Разработка месторождений с помощью ГС позволяет наиболее эффективно выработать запасы за счет повышения охвата пласта дренированием в сравнении с вертикальными и наклонно-направленными скважинами. Это является наиболее актуальным в условиях ухудшения качества запасов (ухудшенные фильтрационно-емкостные свойства), где ГС в совокупности с ГРП становятся одними из основополагающих методов выработки подобных запасов.

Целью данной работы является создание методик и алгоритмов, позволяющих оперативно в автоматизированном режиме выполнять расстановку горизонтальных проектных скважин.

Горизонтальный ствол, пробуренный вдоль низкопроницаемого направления развития пласта, позволяет повысить объемы добычи нефти, в отличие от вертикальных и наклонно-направленных скважин. Поэтому, планирование применения горизонтальных технологий, во много раз увеличивающих эффективность разработки запасов, имеет большое значение.

Одной из задач, решаемой в ПК «Epsilon», является генерация «ковра бурения» – поэтапная расстановка на основе прокси-модели месторождения проектных добывающих точек для бурения по неравномерной сетке, удовлетворяющей геолого-технологическим и экономическим ограничениям и имеющей максимально возможную плотность.

После выполнения поэтапной расстановки вертикальных проектных точек производится генерация проектных горизонтальных скважин. Методика генерации проектных ГС включает следующие этапы:

- генерация ГС с учетом допустимости траектории;
- проверка ГС-кандидатов по геолого-физическим критериям;
- расчет прогнозных технико-экономических показателей ГС-кандидатов;
- проверка экономической рентабельности бурения ГС-кандидатов и сравнение экономических показателей с вариантом бурения только вертикальных скважин;
- возможность расстановки проектных ГС в зонах, где экономически нерентабельно бурить только вертикальные скважины.

Условно за траекторию горизонтальной скважины принимается отрезок, соединяющий пару точек, указывающих на расположение ранее сгенерированных вертикальных проектных скважин. При этом возможны следующие ситуации:

- в окрестности условной траектории на определенном недопустимом расстоянии находятся скважины пробуренного фонда;
- в окрестности условной траектории на определенном недопустимом расстоянии находятся вертикальные проектные скважины, сгенерированные ранее;
- длина условной траектории горизонтальной скважины меньше минимально-допустимой длины и больше максимально-допустимой длины (длина определяется расстоянием между парой вертикальных проектных скважин);
- пересечение траекторий горизонтальных скважин (проектных и пробуренных).

По мере обнаружения перечисленных проблем разработаны и реализованы алгоритмы, исключающие ошибки при размещении проектных горизонтальных скважин:

- проверка нахождения в окрестности данного отрезка на определенном расстоянии скважин пробуренного фонда. При обнаружении таких скважин создание горизонтальной проектной скважины отменяется. В случае

отсутствия пробуренных скважин создается горизонтальная скважина взамен двух вертикальных (Рис. 1).

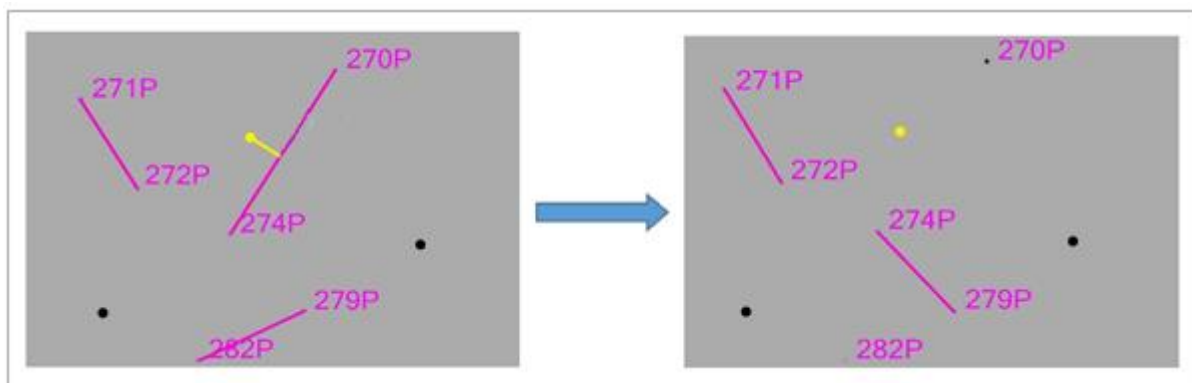


Рис. 1. Нахождение скважины пробуренного фонда (горизонтальная скважина не формируется)

- проверка нахождения вертикальных проектных скважин в окрестности траектории намеченных горизонтальных скважин на определенном расстоянии. При обнаружении таких скважин они удаляются из списка (Рис. 2).



Рис. 2. Нахождение близко расположенной скважины проектного фонда вертикальных скважин (вертикальная проектная скважина удаляется из списка)

- проверка возможности генерации горизонтальных скважин, исходя из максимально-допустимого расстояния между парой вертикальных проектных скважин. При этом достигается оптимальное размещение горизонтальных скважин и уменьшение их количества (Рис. 3).

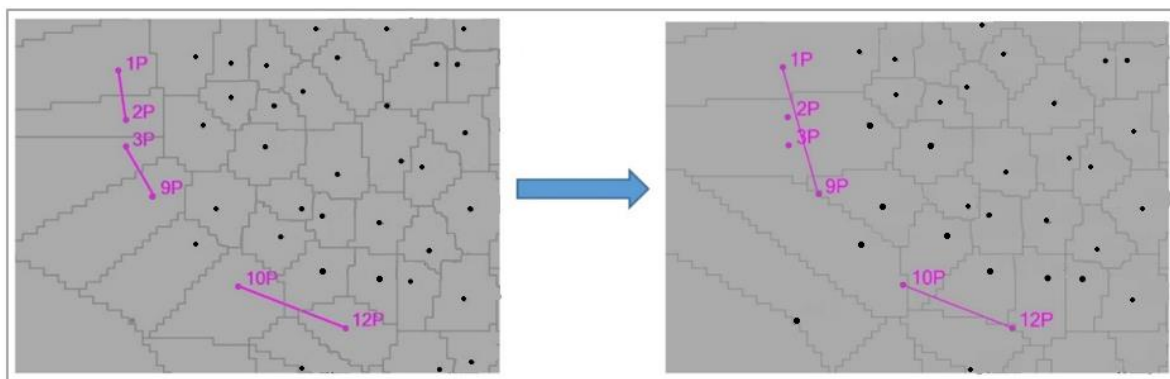


Рис.3. Оптимальное размещение горизонтальных скважин исходя из максимально-допустимого расстояния

– проверка пересечения траекторий горизонтальных скважин. При этом за приоритетную принимается траектория ранее созданной скважины (Рис. 4).

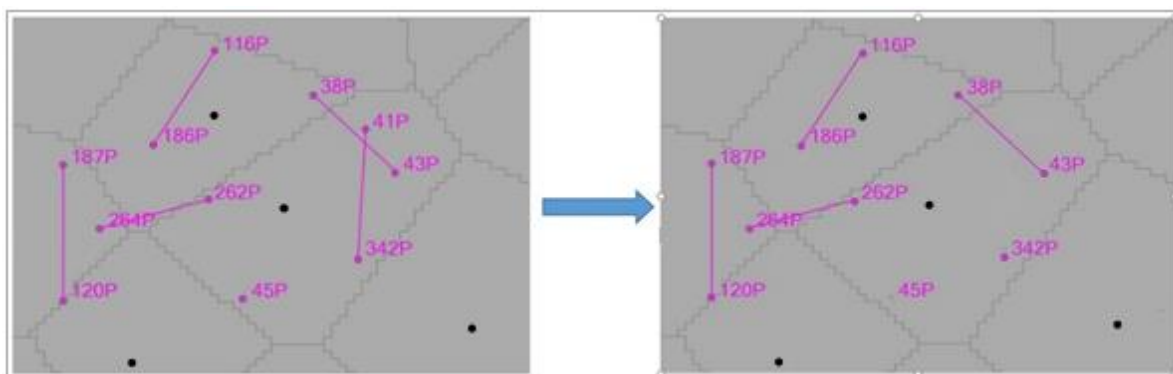


Рис.4. Исключение пересечения траекторий горизонтальных скважин

Для корректного распределения остаточных запасов и расчета технико-экономических показателей реализован алгоритм формирования удельных площадей проектных горизонтальных скважин с учетом их траекторий (Рис. 5).

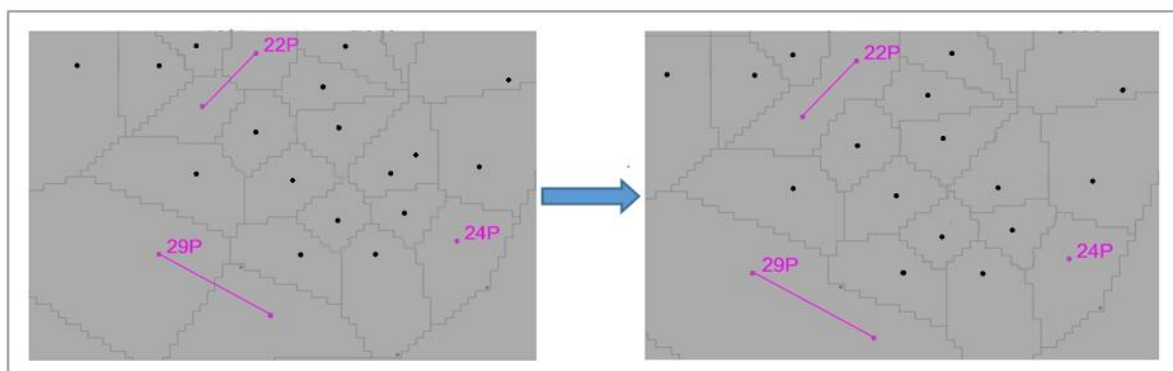


Рис. 5. Формирование удельных площадей проектных горизонтальных скважин с учетом их траекторий

Как известно, основным целевым назначением проектирования разработки месторождений независимо от применяемых методов повышения нефтеотдачи является обеспечение запланированных уровней добычи нефти, а также наибольшего коэффициента извлечения нефти при максимальной прибыли. С учетом перечисленных требований становится вполне понятным, насколько важным является правильное размещение любых скважин на месторождении и особенно горизонтальных, преследующих цель наибольшего доизвлечения нефти на уже разрабатываемом месторождении. При неправильном выборе размещения горизонтальных скважин и направлении горизонтального участка его ствола все последующие выполненные технологические работы не дадут желаемого эффекта. Поэтому основным критерием размещения горизонтальных стволов скважин является предварительное тщательное изучение геологических условий залегания продуктивного пласта, нефтенасыщенности и степени выработанности запасов. Конечно же, целесообразность бурения горизонтальных скважин не определяется лишь этим изучением. Во внимание принимается целый ряд других обстоятельств, в том числе близость водонефтяного контакта (ВНК), наличие верхних вод, коллекторские свойства продуктивного пласта, градиента давления внутри залежи, текущая обводненность продукции близлежащих скважин, проницаемость и трещиноватость разобщающих пропластков.

Применение на месторождениях Татарстана системы разработки с горизонтальными скважинами принципиально отличается от таковых в других регионах России. Данные промысловых и геофизических исследований в добывающих и нагнетательных скважинах указывают на неравномерность выработки по разрезу скважин с высокой послойной неоднородностью. Охватываются выработкой в основном высокопроницаемые пропластки коллекторов.

В основу выбора критериев при формировании проектных ГС в ПК «Epsilon» легла применяемая в ПАО «Татнефть» методика по геолого-технологическому обоснованию выбора объектов бурения горизонтальных скважин, боковых и боковых горизонтальных стволов.

Геолого-технологические критерии (наличие остаточных запасов нефти, нефтенасыщенная толщина пласта, расчлененность коллектора, пластовое давление) при планировании бурения ГС задаются пользователем программы и могут существенно отличаться в зависимости от условий залегания продуктивных пластов и системы разработки объекта.

Расстановка ГС осуществляется последовательно для каждого объекта сверху вниз после выполнения поэтапной расстановки вертикальных проектных точек по следующему алгоритму.

Шаг 1. В цикле по проектным скважинам поиск подходящей пары для формирования ГС с учетом минимальной и максимальной допустимой длины ствола.

Шаг 2. Проверка пары скважин по геолого-физическим критериям.

Шаг 3. Проверка допустимости траектории ГС-кандидата.

Шаг 4. Расчет прогнозных технико-экономических показателей ГС-кандидата.

Шаг 5. Проверка по экономическим критериям. Сравнение чистого дисконтированного дохода (ЧДД) ГС-кандидата с суммарным ЧДД пары ВС. Превышение ЧДД варианта с ГС над ЧДД варианта с вертикальными скважинами является экономическим критерием при выборе горизонтальных скважин.

Шаг 6. Формирование горизонтальной скважины – запись в массив проектных ГС. Обновление списка проектных вертикальных скважин.

Шаг 7. Формирование удельных площадей проектных горизонтальных скважин с учетом их траекторий.

Шаг 8. Запись всех результатов в прокси-модель.

Входной дебит жидкости $Q_{ж}$ для проектных горизонтальных скважин определяется по формуле Джоши:

$$Q_{ж} = \frac{2\pi k \left(\frac{k_n}{\mu_n} + \frac{k_v}{\mu_v} \right) h \Delta p}{\ln \left(\frac{a + \sqrt{a^2 - \left(\frac{L}{2} \right)^2}}{L/2} \right) + \frac{h}{L} \ln \left(\frac{h}{2r_c \pi} \right)}, \quad (1)$$

где $Q_{ж}$ – дебит горизонтальной скважины, м³/с;

k – абсолютная проницаемость пласта, мкм²;

k_n – относительная фазовая проницаемость пласта по нефти, д.ед.;

k_v – относительная фазовая проницаемость пласта по воде, д.ед.;

μ_n – вязкость нефти, Па·с;

μ_v – вязкость воды, Па·с;

h – толщина пласта, м;

Δp – разность пластового и забойного давлений, Па;

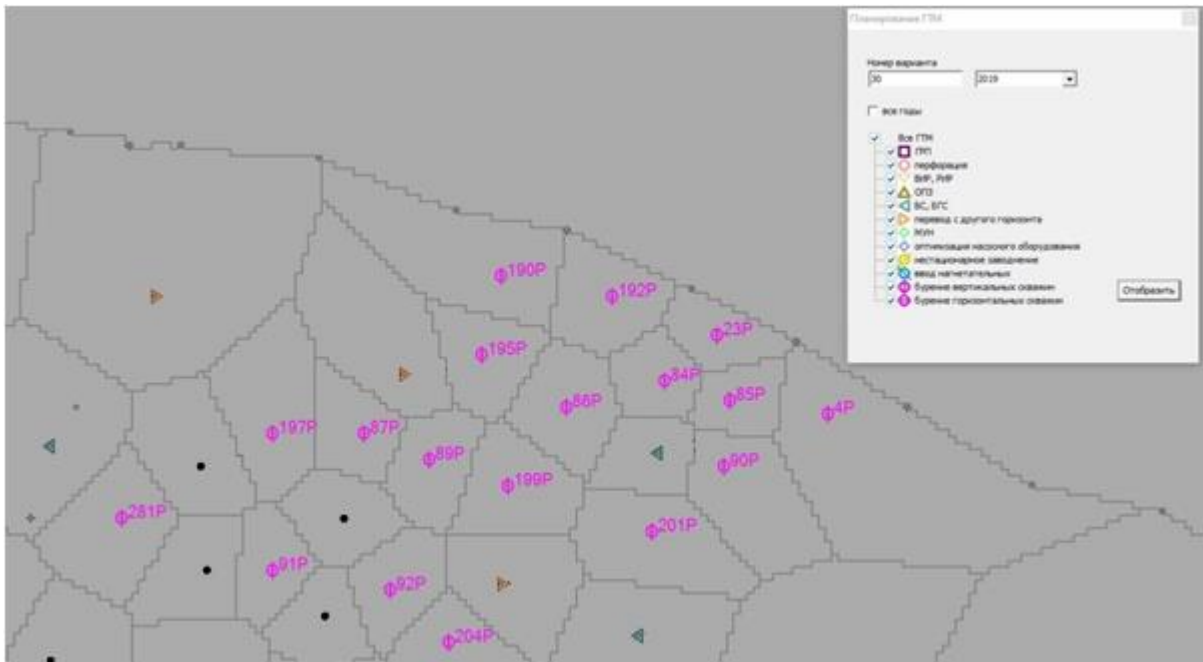
a – большая полуось эллипса контура питания, м;

L – длина горизонтального участка ствола, м;

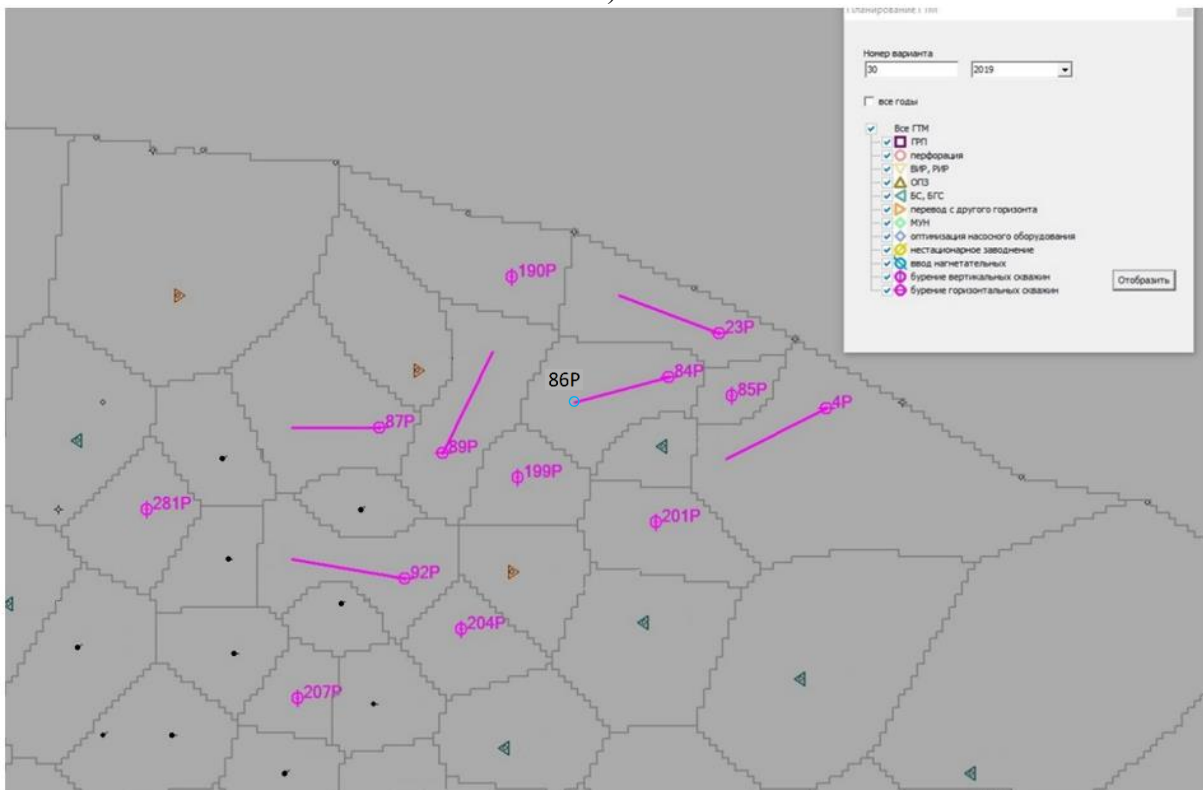
r_c – радиус скважины, м.

Средняя депрессия составляет 3,04 МПа. Значения по проницаемости, нефтенасыщенной толщине, давлению принимаются для каждой скважины. Значения вязкости нефти принимаются как средние по объекту. Начальный дебит нефти определяется по текущей обводненности окружающих скважин. Далее дебиты по годам рассчитываются исходя из коэффициента падения добычи нефти, определяемого по промысловым данным пробуренных ГС.

На рис. 6 на примере одного из объектов разработки ПАО «Татнефть» представлены два варианта размещения проектных точек: планирование только вертикальных, планирование вертикальных и горизонтальных.



а)



б)

Рис. 6. Участок с расстановкой проектных точек
 а) только вертикальных, б) вертикальных и горизонтальных

Экономические показатели рассчитываются исходя из затрат на бурение горизонтальных скважин. Для оценки их рентабельности определяются ЧДД, индекс доходности дисконтированных затрат (ИДДЗ) и другие

показатели. Несмотря на существенное увеличение затрат на бурение горизонтальных скважин по сравнению с вертикальными, прогнозные технологические и экономические показатели варианта с применением горизонтальных скважин в ряде случаев значительно выше аналогичных показателей варианта с применением только вертикальных скважин. Повышение прогнозной рентабельности ГС по сравнению с парой вертикальных скважин, является экономическим критерием при планировании бурения горизонтальных скважин.

Несмотря на то, что строительство горизонтальных скважин более затратное, чем вертикальных, их применение имеет немало преимуществ, таких как уменьшение суммарного количества скважин на месторождениях, рост уровня извлечения нефти, привлечение в разработку новых залежей нефтяных пластов и высоковязкой нефти.

Таким образом, планирование бурения горизонтальных скважин, при котором учитываются геолого-технологические и экономические критерии их применимости, увеличивает эффективность разработки нефтяных месторождений.

Список литературы

1. Насыбуллин А.В., Разживин Д.А., Латифуллин Ф.М., Саттаров Рам.З., Смирнов С.В., Хафизов Р.Р., Шарифуллина М.А. Оптимизация размещения проектных скважин с использованием программного модуля для технико-экономической оценки запасов нефтяных месторождений [Электронный ресурс] // Нефтяная провинция: сетевое науч. изд. – 2018. – № 4. – С. 163-174. - URL: http://docs.wix-static.com/ugd/2e67f9_4cc6391aa88d4ba18effd2bcc96e0481.pdf (дата обращения 10.03.2023).
2. Звездин, Е.Ю. Поэтапная оптимизация расстановки проектных скважин по неравномерной сетке с использованием программного модуля технико-экономической оценки запасов месторождений / Е.Ю. Звездин, М.И. Маннапов, А.В. Насыбуллин, Рам.З. Саттаров, М.А. Шарифуллина, Р.Р. Хафизов // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 7. – С. 28-31.
3. Латифуллин, Ф.М. Поиск оптимальных решений по расстановке проектных точек бурения для повышения рентабельности разработки нефтяных месторождений / Ф.М. Латифуллин, А.Ф. Яртиева, Рам.З. Саттаров, М.А. Шарифуллина, Р.Р. Хафизов, Е.В. Бутусов // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ПАО «Татнефть». – 2019. – Вып. 87. – С. 44-51.

References

1. Nasybullin A.V., Razzhivin D.A., Latifullin F.M., Sattarov Ram.Z., Smirnov S.V. Optimization of project wells' placement using software module for oil production and economic analysis. Neftyanaya Provintsiya [Oil Province]. 2018, No. 4, pp. 163-174. (in Russian) URL: http://docs.wixstatic.com/ugd/2e67f9_4cc6391aa88d4ba18effd2bcc96e0481.pdf
2. Zvezdin E.Yu., Mannapov M.I., Nasybullin A.V., Sattarov Rav.Z., Sharifullina M.A., Khafizov R.R. Stage-wise optimization of project well pattern using oil reserves evaluation program module. Neftyanoe Khozaistvo [Oil Industry]. 2019, No. 7, pp. 28-31. (in Russian)
3. Latifullin F.M., Yartiev A.F., Sattarov Ram. Z., Sharifullina M.A., Khafizov R.R., Butusov E.V. Poisk optimalnykh resheniy po rasstanovke proektnykh toчек bureniya dlya povysheniya rentabelnosti razrabotki neftnykh mestorozhdeniy [Optimal project well placement solutions to increase profitability of oil field development]. Collection of Research Papers of TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT, 2019, Issue 87, pp. 44-51. (in Russian)

Сведения об авторах

Маннапов Марат Илгизарович, начальник отдела перспективного планирования разработки месторождений-заместитель начальника управления разработки месторождений по перспективному планированию, СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть»
Россия, 423450, г. Альметьевск, ул. Ленина, 75
E-mail: mannapovmi@tatneft.ru

Емельянов Виталий Владимирович, кандидат технических наук, руководитель группы по перспективному планированию разработки месторождений, СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть»
Россия, 423450, г. Альметьевск, ул. Ленина, 75
E-mail: zgeo_pn@tatneft.ru

Саттаров Рамиль Зайтунович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть»
Россия, 423236, г. Бугульма, ул. Джалиля, 32
E-mail: ramsat@tatnipi.ru

Шарифуллина Мария Александровна, заведующий лабораторией, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть»
Россия, 423236, г. Бугульма, ул. Джалиля, 32
E-mail: chernovama@tatnipi.ru

Латифуллин Фанис Фаритович, инженер 2 категории, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть»
Россия, 423236, г. Бугульма, ул. Джалиля, 32
E-mail: LatifullinFF@tatnipi.ru

Authors

M.I. Mannapov, Head of Department for Long-Term Planning of Field Development, Deputy Head of Field Development Administration for Long-Term Planning, JV Tatneft-Dobycha - PJSC TATNEFT

75, Lenin st., Almetьевsk, 423450, Russian Federation

E-mail: mannapovmi@tatneft.ru

V.V. Yemelyanov, PhD, Head of Group for Long-Term Field Development Planning, JV Tatneft-Dobycha - PJSC TATNEFT

75, Lenin st., Almetьевsk, 423450, Russian Federation

E-mail: zgeo_pn@tatneft.ru

Ram.Z. Sattarov, PhD, Leading Research Associate, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT

32, M. Djalil st., Bugulma, 423236, Russian Federation

E-mail: ramsat@tatnipi.ru

M.A. Sharifullina, Head of Laboratory, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT

32, M. Djalil st., Bugulma, 423236, Russian Federation

E-mail: chernovama@tatnipi.ru

F.F. Latifullin, Engineer, TatNIPIneft Institute – PJSC TATNEFT

32, M. Djalil st., Bugulma, 423236, Russian Federation

E-mail: LatifullinFF@tatnipi.ru

Статья поступила в редакцию 11.05.2023

Принята к публикации 15.06.2023

Опубликована 30.06.2023