

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 25.00.17

DOI: 10.22213/2410-9304-2017-1-91-95

М. Н. Баранов, магистрант  
Удмуртский государственный университет  
Т. Н. Иванова, доктор технических наук, доцент  
Чайковский филиал ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Д. Н. Новокшионов, магистрант  
Удмуртский государственный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ  
ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

*Нефти Удмуртии характеризуются как трудноизвлекаемые, с повышенной вязкостью, высоким содержанием парафина и смол. Большинство разрабатываемых месторождений ОАО «Удмуртнефть» на сегодняшний день находятся на третьей и четвертой стадии разработок. Характерными особенностями данных стадий разработок является высокий темп снижения добычи углеводородов и значительный рост обводненности скважинной продукции. Для увеличения объемов добычи предложена технология одновременно-раздельной эксплуатации объектов добычи нефти (ОРЭ). Внедрение ОРЭ позволит: подключить другие объекты пластов за счет уплотнения сетки без бурения дополнительных скважин и повысить рентабельность добычи; вести раздельный учет добычи нефти по каждому пласту. В работе выявлены критерии эффективности применения технологий одновременно-раздельной добычи нефти глубинно-насосным оборудованием на месторождении ОАО «Удмуртнефть» с высоковязкими нефтями; предложена оценка технологической применимости ОРЭ на месторождении, проведены расчеты технологической эффективности внедрения технологии одновременно-раздельной эксплуатации объектов добычи нефти на месторождении. Доказана целесообразность ее внедрения.*

**Ключевые слова:** одновременно-раздельная эксплуатация, установки ЭЦН-ШГН с пакерами, объект, месторождение, технологическая эффективность.

ОАО «Удмуртнефть» по праву считается одним из отраслевых полигонов по испытанию и внедрению принципиально новых высокоэффективных методов разработки месторождений нефти с высокой и повышенной вязкостью, не имеющих аналогов в мировой практике.

Для увеличения объемов добычи предложена технология одновременно-раздельной эксплуатации объектов добычи нефти (ОРЭ). Практика внедрения ОРЭ на месторождениях страны показывает, что успешность и эффективность технологии во многом зависит от инженерного сопровождения [1–7]. Одним из условий формирования эксплуатационных объектов должно оставаться обеспечение максимального охвата нефтенасыщенных пластов процессом вытеснения при экономически рентабельных извлекаемых запасах нефти на скважину за весь срок ее эксплуатации. С точки зрения достижения наиболее высокой конечной нефтеотдачи нет альтернативы раздельной разработке неоднородных пластов.

Большинство разрабатываемых месторождений ОАО «Удмуртнефть» на сегодняшний день находятся на третьей и четвертой стадии разработок. Характерными особенностями данных стадий разработок является высокий темп снижения базовой добычи и значительный рост обводненности скважинной продукции.

Разрабатываемые на сегодняшний день основные объекты разработки при высоких значениях обводненности не достигают проектного коэффициента извлечения нефти КИН. С одной стороны, задачи эксплуатации низкорентабельных высокообводненных скважин для достижения проектных показате-

лей, или изоляция основного объекта и переход на возвратные объекты разработки, или бурение своей сетки на возвратный объект являются актуальными. С другой стороны, эксплуатация скважин с большим ресурсом работы, по выработке которой разрушается эксплуатационная колонна и нарушается целостность цементного камня, вводят дополнительные затраты на проведение капитального ремонта с заменой эксплуатационной колонны или ликвидации скважины. Поэтому задачи эксплуатации низкорентабельных скважин и с большим ресурсом работы приводят к одной цели – сокращение сроков выработки запасов углеводородов за счет внедрения технологии одновременно-раздельной эксплуатации двух и более объектов.

Однако любая одновременно-раздельная разработка нефтяного месторождения запрещена государственными органами Российской Федерации без обеспечения надежного раздельного контроля динамики технологических параметров вырабатываемых пластов и без обеспечения управления выработкой отдельных пластов. При этом должен быть обеспечен учет отборов добываемой жидкости и объемов закачиваемой воды для каждого объекта, а также гидродинамический мониторинг энергетики каждого совместно разрабатываемого пласта. Основные требования изложены в Постановлении Госгортехнадзора в области охраны недр № 71 от 06.06.2003 г. п. 113: «Одновременно-раздельная эксплуатация нескольких эксплуатационных объектов одной скважины допускается при наличии сменного внутрискважинного оборудования, обеспечивающего возможность реализации

раздельного учета добываемой продукции, промысловых исследований каждого пласта раздельно и проведения безопасного ремонта скважин с учетом различия давлений и свойств пластовых флюидов.

В результате исследований выявлены задачи, стоящие перед ОПЭ:

- повысить нефтеотдачу и дебит скважины за счет дополнительного вовлечения в разработку низкопроницаемых прослоев;
- увеличить степень охвата и интенсивность освоения многопластового месторождения путем раздельного вовлечения в разработку отдельных тонких разнопроницаемых пластов-прослоев;
- сократить капитальные вложения на бурение скважин;
- интенсифицировать процесс регулирования отборов и закачки во времени и по разрезу скважины;
- увеличить рентабельный срок разработки месторождения;
- снизить эксплуатационные затраты;
- обеспечить учет добываемой продукции из каждого пласта и закачиваемого в него рабочего агента;
- оперативно управлять пластовым давлением, регулировать направление и скорость фильтрации пластовых флюидов;
- предотвратить вредное воздействие растворов глушения на ПЗП, отсекав пласты (изолировать скважинную установку от пласта) без отрицательного техногенного воздействия на них;
- уменьшить вероятность осложнений гидратообразования, отложения асфальтенов, смол и парафинов, высоких значений температуры, газового фак-

тора, обводненности и вязкости добываемой продукции, повышенного содержания в ней механических примесей, солей, серы и коррозионно-активных компонентов;

- эксплуатировать скважину с негерметичной эксплуатационной колонной;
- использовать газ из газовой шапки или газовых пластов для организации бескомпрессорного или внутрискважинного газлифта проводить совместную разработку нефтяной оторочки газовой шапки без образования газовых конусов;
- разрабатывать водоплавающие залежи, предупреждая образование водяных конусов.

Применительно к ОАО «Удмуртнефть» внедрение ОПЭ позволит:

1. Оставить в эксплуатации малопродуктивные скважины за счет подключения других объектов, тем самым повысить рентабельность добычи.
2. Вести раздельный учет добычи нефти по каждому пласту.
3. Ускорить вовлечение в разработку недренируемых запасов с других горизонтов за счет уплотнения сетки без бурения дополнительных скважин.
4. Сократить капитальные вложения на бурение на вновь открытых месторождениях.
5. Проводить бурение новых скважин на объекты, продуктивность которых по отдельности невысокая.
6. Ускорить ввод в разработку возвратных объектов.

Динамика внедрения ОПЭ в ОАО «Удмуртнефть» с дополнительной добычи нефти представлены на рис. 1 [8].

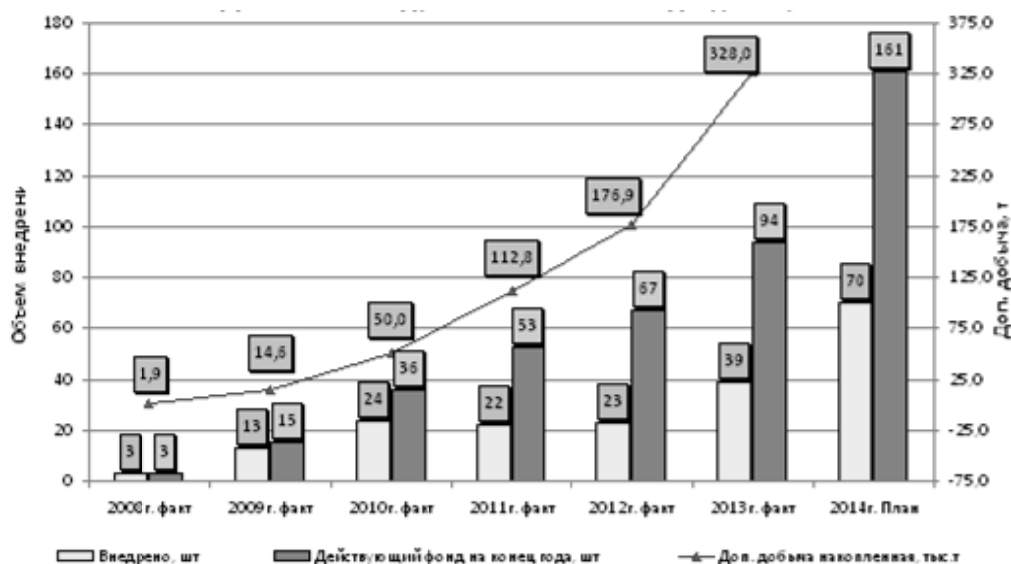


Рис. 1. Динамика внедрения ОПЭ в ОАО «Удмуртнефть»

Компоновки глубинно-насосного оборудования ОПЭ, применяемые в ОАО «Удмуртнефть», – 78 шт. ЭЦН САПК «Спрут», 42 шт. ЭВН-ШГН с пакером П-ЭГМ, 41 шт. ЭЦН-ШГН с пакером П-ЭГМ, 32 шт. ЭЦН-ШГН ПЭД в кожухе.

Одновременно-раздельная эксплуатация двух пластов целесообразна и для одной залежи, в разре-

зе которой встречаются пропластки разной проницаемости, и поэтому возникает необходимость в эксплуатации их с различными депрессиями и регулированием равномерного движения пластовой воды для повышения нефтеотдачи. Для этого пласты выбирают таким образом, чтобы они были разделены пачкой непроницаемых пород достаточной

толщины и чтобы в процессе эксплуатации не получить переток жидкости из нижнего пласта в верхний с более низким давлением.

Для ОРЭ предложены компоновки ЭЦН – ШГН с применением пакера с кабельными водами расположением установки электроцентробежного насоса УЭЦН над/под пакерами с погружными приборами [9–15]. Данное оборудование позволяет изолированно эксплуатировать два объекта разработки, причем для каждого объекта устанавливается необходимое забойное давление, и осуществлять отдельный отбор проб добываемой жидкости по каждому из объектов, контролировать необходимые при эксплуатации объекта параметры, определять дебиты жидкости и нефти по каждому объекту разработки, необходимое забойное давление. Внедрение данных компоновок ОРЭ позволит не только производить отдельный мониторинг пластовых свойств, но и осуществлять индивидуальное управление разработкой путем изменения профилей приемистости и отбора для каждого из совместно эксплуатируемых продуктивных пластов, включать в разработку дополнительные горизонты.

Технологический эффект от проведенной технологии ОРЭ верейского – башкирского объектов месторождений Удмуртии оценивается объемом дополнительной добычи нефти от приобщения к скважине подключаемого объекта эксплуатации относительно текущего режима работы скважины. Исходные данные для определения технологической эффективности ОРЭ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Данные определения технологической эффективности ОРЭ

Параметр	Верейский объект
Абсолютная проницаемость пласта, мкм <sup>2</sup>	$K = 0,029$
Толщина пласта, м	От $h_{\text{свб1}} = 17,3$ до $h_{\text{свб10}} = 15,8$
Давление на контуре, МПа	$P_k = 9,4$
Давление на забое, МПа	$P_c = 5,3$
Вязкость жидкости, МПа*с	От $\mu_{\text{свб1}} = 6,63$ до $\mu_{\text{свб10}} = 7,60$
Радиус контура питания, м	$R_k = 200$
Радиус скважины, м	$r_c = 0,1$
Плотность нефти, г/см <sup>3</sup>	$\rho = 0,877$
Планируемая обводненность, %	От $w_{\text{свб1}} = 75$ до $w_{\text{свб10}} = 60$
Коэффициент фильтрационного сопротивления	$C = 2,0$

Приток жидкости, газа, воды или их смесей к скважинам происходит в результате установления на забое скважин давления меньшего, чем в продуктивном пласте. Вблизи каждой скважины в однородном пласте течение жидкости становится близким к радиальному.

Скорость фильтрации, согласно закону Дарси, записанному в дифференциальной форме, определяется следующим образом:

$$v = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dr} \quad (1)$$

где  $k$  – проницаемость пласта;  $\mu$  – динамическая вязкость;  $dp/dr$  – градиент давления вдоль радиуса.

По всем линиям тока течение будет одинаковое. При площади сечения цилиндра  $2\pi rh$  с произвольным радиусом  $r$ , проведенного из центра скважины с действительной толщиной пласта  $h$ , через который происходит фильтрация, и приток  $q$  составит

$$q = 2\pi rhv = -2\pi rh \cdot \frac{k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dr} \quad (2)$$

Обозначая  $\frac{kh}{\mu} = \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – гидропроводность, ко-

торая изменяется вдоль радиуса  $r$ . На одинаковых расстояниях от оси скважины вдоль любого радиуса величины  $\varepsilon$  одинаковые. Это случай кольцевой неоднородности. Если  $\varepsilon$  задано в виде известной функции радиуса

$$\frac{kh}{\mu} = \varepsilon(r), \quad (3)$$

то, вводя формулу (3) в (2) и разделяя переменные, получим

$$\frac{dr}{r\varepsilon(r)} = -\frac{2\pi}{q} \cdot dp \quad (4)$$

После интегрирования дифференциального уравнения (4) выражение притока  $q$  к центральной скважине в круговом однородном пласте будет:

$$q = \frac{2\pi\varepsilon \cdot (P_k - P_c)}{\ln\left(\frac{R_k}{r_c}\right)} \quad (5)$$

Или подставляя (5) в (3):

$$q = \frac{2\pi kh \cdot (P_k - P_c)}{\mu \ln\left(\frac{R_k}{r_c}\right)} \quad (6)$$

Формула Дюпюи (6) используется для гидродинамически совершенной скважины, т. е. когда скважина вскрывает пласт на всю толщину, вскрытая область в зоне пласта не крепится обсадной колонной (пласт открытый) и проницаемость зоны пласта не ухудшилась при его вскрытии. При ОРЭ скважины несовершенны по характеру вскрытия, так как пласты верхнего горизонта крепятся обсадной колонной, которая перфорируется. Следовательно, к формуле (6) необходимо добавить коэффициент фильтрационного сопротивления  $C$ :

$$q = \frac{2\pi kh \cdot (P_k - P_c)}{\mu \left( \ln \frac{R_k}{r_c} + C \right)} \quad (7)$$

Рассчитывая технологическую эффективность при реализации технологии ОРЭ, например, по скважине 1 и используя данные табл. 1, получим:

$$q_{\text{ж}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 17,3 \cdot (9,4 - 5,3) \cdot 10^6 \cdot 3600 \cdot 24}{6,63 \cdot 10^{-3} \cdot (\ln 200/0,1 + 2,0)} = 17,5 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

дебит нефти

$$q_n = q_{ж} (1 - w/100) \cdot \rho, \quad (8)$$

$$q_n = 17,5 \cdot (1 - 75/100) \cdot 0,877 = 3,8 \text{ т/сут.}$$

Остальные результаты расчетов сведены в табл. 2.

Анализируя текущие параметры работы скважины (табл. 1), рекомендуется внедрить компоновку ЭЦН – ШГН (ЭЦН над пакером) на 2 скважинах, ЭЦН – ШГН (ЭЦН под пакером) на 2 скважинах.

По результатам анализа месторождения подобраны 4 нагнетательные скважины для применения технологии одновременно-раздельной эксплуатации.

Динамика добычи нефти представлена на рис. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

№ скважины	Ожидаемый прирост от приобщаемого объекта		
	$q_n$ , т/сут.	$q_{ж}$ , м <sup>3</sup> /сут.	Обводненность, %
1	3,8	17,5	75
2	3,8	10,7	60
3	6,5	13,6	45
4	3,2	6,0	40
5	2,9	6,5	50
6	3,1	7,0	50
7	5,8	11,0	40
8	7,9	12,9	30
9	4,2	8,0	40
10	4,9	14,0	60
Прирост в сут.	46,1	107,2	51
Прирост в год	16 826,5	39128	51

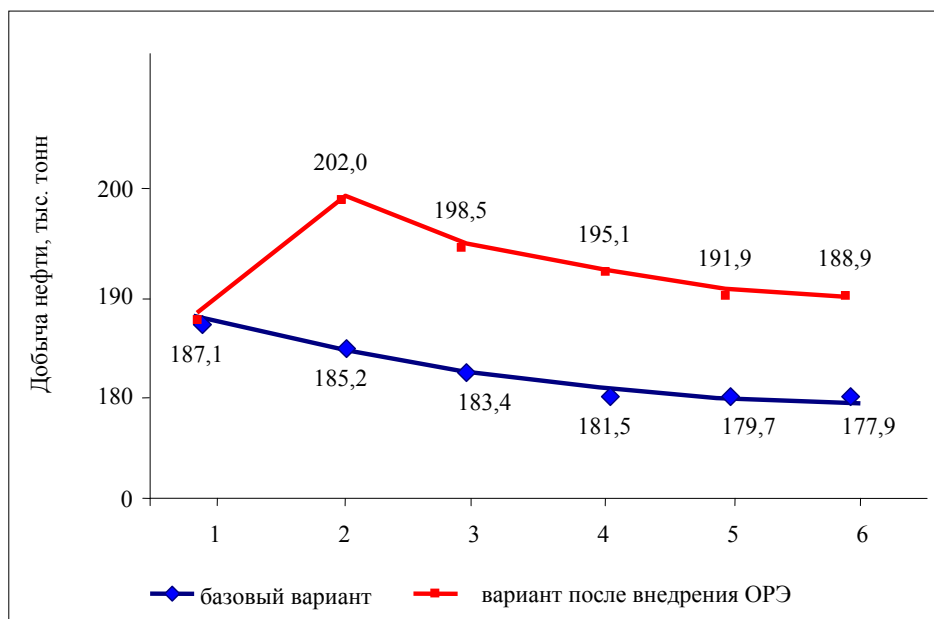


Рис. 2. Динамика добычи нефти после внедрения ОРЭ

Необходимо отметить, что предлагаемый вариант внедрения ОРЭ с технологической точки зрения является более эффективным методом интенсификации добычи нефти: из-за повышения охвата пласта воздействием за счет увеличения плотности сетки без бурения дополнительных скважин, выработки недраенированных целиков нефти в сложно построенных коллекторах и увеличения конечного коэффициента извлечения нефти.

Таким образом, реализация технологии ОРЭ актуальна и перспективна для решения задач разработки и эксплуатации многопластовых месторождений. Эффективное и надежное оборудование, различные схемы и компоновки для конкретных условий разработки позволят снизить капитальные вложения на бурение новых скважин, ускорить темпы разработки месторождений.

#### Библиографические ссылки

1. Баранов М. Н., Иванова Т. Н. Применение технологии и компоновок одновременно-раздельной эксплуатации

на месторождениях Удмуртии // Естественные и технические науки. – 2016. – № 9 (99). – С. 32–37.

2. Оптимизация моделей разработки месторождений / М. Н. Баранов, Н. Г. Истомина, А. Л. Гавриков, Т. Н. Иванова // Естественные и технические науки. – 2016. – № 10 (100). – С. 48–54.

3. О совершенствовании технологии ОРЭ на поздней стадии разработки месторождений нефти с трудноизвлекаемыми запасами / Т. Н. Иванова, А. М. Губанов, В. Р. Драчук [и др.] // Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (Российский и мировой опыт) : Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию д-ра техн. наук, проф., акад. РАЕН В. И. Кудинова, 26–27 мая 2016 г. : сб. материалов конф. – Ижевск : Удмурт. ун-т, 2016. – С. 195–204.

4. Баранов М. Н., Чикишева О. А., Иванова Т. Н. Расчет экономической эффективности технологии одновременно-раздельной эксплуатации пластов // Актуальные социально-экономические проблемы современности : материалы X Региональной научно-практической конференции. – Сарпул : Картон Плюс, 2016. – С. 30–34.

5. Богомольный Е. И. Интенсификация добычи высоковязких нефтей из карбонатных коллекторов месторожде-

ний Удмуртии. – М. : Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 272 с.

6. Желтов Ю. В., Кудинов В. И., Малофеев Г. Е. Разработка сложно построенных месторождений вязкой нефти в карбонатных коллекторах. – М. : Ижевск : Институт компьютерных исследований ; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 328 с.

7. Ивановский В. Н. Одновременно-раздельная эксплуатация и «интеллектуализация» скважин: вчера, сегодня, завтра // Инженерная практика. – 2010. – № 1. – С. 6–15.

8. Там же.

9. Баранов М. Н., Иванова Т. Н. Применение технологии и компоновок одновременно-раздельной эксплуатации на месторождениях Удмуртии. С. 32–37.

10. Оптимизация моделей разработки месторождений / М. Н. Баранов, Н. Г. Истомина, А. Л. Гавриков, Т. Н. Иванова. С. 48–54.

11. О совершенствовании технологии ОРЭ на поздней стадии разработки месторождений нефти с трудноизвлекаемыми запасами / Т. Н. Иванова, А. М. Губанов, В. Р. Драчук [и др.]. С. 195–204.

12. Баранов М. Н., Чикишева О. А., Иванова Т. Н. Расчет экономической эффективности технологии одновременно-раздельной эксплуатации пластов. С. 30–34.

13. Богомольный Е. И. Интенсификация добычи высоковязких нефтей из карбонатных коллекторов месторождений Удмуртии. 272 с.

\*\*\*

*M. N. Baranov*, Master's Degree Student, Udmurt State University

*T. N. Ivanova*, DSc in Engineering, Associate Professor, Tchaikovsky branch of Perm National Research Polytechnic University

*D. N. Novokshonov*, Master's Degree Student, Udmurt State University

### Technological Efficiency of Implementation of Dual Completion of Objects

*Oil in the Udmurt Republic is characterized as difficult to extract, with high-viscosity and high content of paraffin and resins. Most of the fields developed by the OJSC "Udmurtneft" are nowadays at the third or fourth stages of development. The specific features of these stages are the high rate of reducing the oil-product extraction and the considerable increase in the water content of the well product. In order to increase the extraction volume, the technique of dual completion of oil extraction objects (WEM) is proposed. Implementation of WEM will allow for involving other objects of shelves due to infilling without drilling the additional wells and increasing the effectiveness of extraction: to account for the oil extraction for each shelf separately.*

*The paper identified the criteria for the effectiveness of technologies of dual completion of oil extraction by downhole pumping equipment in the field owned by OJSC "Udmurtneft" with high-viscosity oil; the assessment of the technological applicability of the WEM in the field is proposed. The technological efficiency of implementing the technology of dual completion of oil extraction objects in the field is calculated. The feasibility of its implementation is proved.*

**Keywords:** dual completion, installation of ESP, SRP with packers, object, field, technological efficiency.

Получено: 06.03.17