

УДК 550.3+622.276

Д.А. Шестаков<sup>1</sup>; М.М. Галиев<sup>1</sup>; К.Н. Овчинников<sup>2</sup>; Е.А. Малявко<sup>2</sup>, e-mail: info@geosplit.ru

<sup>1</sup> ТПП «Когалымнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» (Когалым, Россия).

<sup>2</sup> ООО «ГеоСплит» (Москва, Россия).

## Комплексный подход к эффективной разработке месторождений с применением интеллектуального мониторинга притока горизонтальных скважин

В статье предложен новый подход к решению задач по обеспечению эффективной и рациональной разработки нефтегазовых месторождений на основании мониторинга притока в горизонтальных добывающих скважинах. Предлагаемая технология маркерных исследований скважин Quantum PLT основана на применении квантовых маркеров-репортеров, являющихся высокоточными индикаторами притока нефти и воды. Разместить маркеры в скважине можно с помощью применения маркированного пропанта при многостадийном гидроразрыве пласта либо внутрискважинных маркерных кассет, устанавливаемых в компоновку нижнего заканчивания горизонтального ствола. К преимуществам технологии можно отнести отсутствие необходимости останавливать скважину или проводить внутрискважинные операции в ходе исследований, а также возможность получения неограниченного количества аналитических данных в течение длительного периода времени.

Технология была апробирована на Имилорском, Кочевском и Тевлино-Русскинском месторождениях, находящихся в эксплуатации Территориально-производственного предприятия «Когалымнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». В ходе исследований была оценена эффективность стимуляций с помощью многостадийного гидроразрыва пласта, выявлены характерные типы профилей притоков горизонтальных скважин для условий месторождений ТПП «Когалымнефтегаз», оценена степень влияния на профиль притока системы поддержания пластового давления.

Показано, что получение аналитических данных мониторинга работы горизонтальных скважин дает возможность на качественно новом уровне решать задачи по цифровизации месторождений, в том числе осуществлять визуализацию показателей выработки запасов, управлять выработкой запасов участков пласта, в том числе путем регулирования приемистости нагнетательных скважин, эффективно планировать геолого-технические мероприятия на исследуемых участках, осуществлять обоснование оптимальной длины горизонтальных стволов и количества фрак-портов, а также адаптировать существующие геологические и гидродинамические модели с учетом аналитических данных распределения притока.

**Ключевые слова:** горизонтальная скважина, многостадийный гидроразрыв пласта, маркер-репортер, трассер, индикатор притока, маркированный пропант, мониторинг, цифровизация.

.....

*D.A. Shestakov<sup>1</sup>; M.M. Galiyev<sup>1</sup>; K.N. Ovchinnikov<sup>2</sup>; E.A. Malyavko<sup>2</sup>, e-mail: info@geosplit.ru*

<sup>1</sup> Territorial manufacturing enterprise «Kogalymneftegas» LUKOIL-Western Siberia LLC (Kogalym, Russia).

<sup>2</sup> GeoSplit LLC (Moscow, Russia).

## An Integrated Approach to Efficient Development of Fields using Intelligent Horizontal Wells Production Logging Technology

The article proposes a new approach to solving problems of ensuring efficient and rational development of oil and gas fields on the basis of horizontal wells production logging.

The proposed technology of marker well monitoring Quantum PLT is based on the use of quantum marker-reporters being highly accurate indicators of the oil and water inflow. Markers can be placed in the well by using marked proppant for multi-stage hydraulic fracturing or downhole marker cassettes placed in the horizontal well lower completion. The major technology advantages are no necessity of well shut-in or downhole operations during the tests, as well as the possibility of obtaining an unlimited amount of analytical data for a long period of time.

The technology was tested at the Imilorskoye, Kochevskoye and Tevliно-Russkinskoye fields, which are operated by the Territorial manufacturing enterprise "Kogalymneftegas", LUKOIL-Western Siberia LLC. Following the test results the stimulations efficiency using multi-stage hydraulic fracturing and the degree of the reservoir pressure maintenance system influence on the inflow profile were assessed. In addition, the characteristic types of horizontal well inflow profiles were identified in conditions of the Territorial manufacturing enterprise "Kogalymneftegas".

It has been established that obtaining analytical data by horizontal wells production logging provides an opportunity to solve field digitalization problems at a qualitatively new level, including visualizing indicators of reserves development, managing the development of reservoir sections reserves by adjusting the well injection capacity, effective planning of geological and technical activities in the studied areas, justifying the optimal length of the horizontal well and the number of MFrac ports and adapting the existing geological and hydrodynamic models based on analytical inflow distribution data.

**Keywords:** horizontal well, multi-stage hydraulic fracturing, marker-reporters, tracer agent, inflow index, marked proppant, monitoring, digitalization.

В последние годы в нефтегазовой отрасли отмечается устойчивый тренд роста доли горизонтального бурения. При этом наблюдается увеличение как общего числа вводимых из бурения горизонтальных скважин, так и средней длины горизонтального ствола, а также количества операций многостадийных гидроразрывов пласта (МГРП). Вместе с тем недропользователи зачастую не обладают достоверной аналитической информацией по фактическому распределению профиля притока пластового флюида в горизонтальных стволах. Традиционные методы исследований с использованием гибких насосно-компрессорных труб (ГНКТ) требуют применения внутрискважинных тракторов и разбуривания седел муфт компоновки МГРП, что сопряжено с техническими сложностями и рисками возникновения прихватов и потери инструментов в скважине.

Таким образом, наблюдается дефицит инструментов, позволяющих проводить обоснование оптимальной длины горизонтальных стволов и количества стадий МГРП. Кроме того, возникают сложности при оценке эффективности системы поддержания пластового давления (ППД) и т. д., что также не способствует эффективному решению задач добычи и разработки месторождений, эксплуатируемых с применением горизонтальных скважин.



Рис. 1. Зерно маркированного полимерно-покрытого пропанта с квантовыми маркерами-репортерами

Fig. 1. Grain of the marked polymer-coated proppant with quantum marker-reporters

Решить эту проблему можно за счет применения получающих все более широкое распространение в мировой нефтяной индустрии альтернативных методов, таких как технологии маркерных (трассерных) исследований скважин. К существенным преимуществам данных методов можно отнести отсутствие необходимости выполнения внутрискважинных операций в ходе исследований, возможность получения данных по селективному притоку воды и нефти каждого интервала в режиме мониторинга в течение длительного периода времени, отсутствие необходимости останавливать скважину и др.

### ТЕХНОЛОГИЯ МАРКЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН БЕЗ ПРОВЕДЕНИЯ ВНУТРИСКВАЖИННЫХ ОПЕРАЦИЙ

Технология маркерных исследований скважин основана на применении квантовых маркеров-репортеров, являющихся высокоточными индикаторами притока пластового флюида [1–3]. Технология подразумевает размещение маркеров в стволе скважины или в пласте:

- 1) с применением маркированного полимерно-покрытого пропанта, закачиваемого в ходе МГРП;
- 2) с размещением маркерных композиционных материалов в специальных внутрискважинных кассетах, инсталли-

Ссылка для цитирования (for citation):

Шестаков Д.А., Галиев М.М., Овчинников К.Н., Малявко Е.А. Комплексный подход к эффективной разработке месторождений с применением интеллектуального мониторинга притока горизонтальных скважин // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019. №6. С. 64–71.

Shestakov D.A., Galiyev M.M., Ovchinnikov K.N., Malyavko E.A. An Integrated Approach to Efficient Development of Fields using Intelligent Horizontal Wells Production Logging Technology. Territorija «NEFTEGAS» [Oil and Gas Territory]. 2019;6:64–71. (In Russ.)

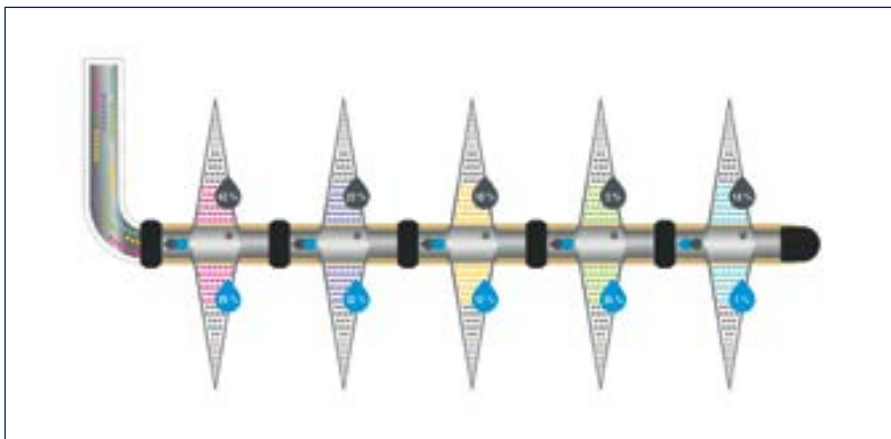


Рис. 2. Схема проведения мультистадийного гидроразрыва пласта с закачкой маркированного пропант последней пропантной пачкой

Fig. 2. Scheme of the multi-stage hydraulic fracturing with the injection of marked proppant using the last proppant pack

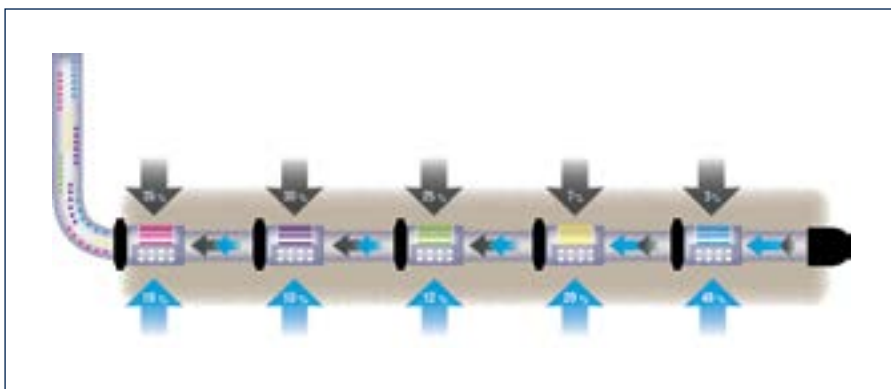


Рис. 3. Размещение маркеров в компоновке заканчивания

Fig. 3. Placement of markers in the completion layout



Рис. 4. Внутрискважинная кассета с маркированным композиционным материалом

Fig. 4. Downhole cassette with marked composite material

руемых в компоновку нижнего заканчивания горизонтального ствола.

Рассмотрим более подробно каждый из вариантов.

На рис. 1 представлено зерно маркированного пропант, в полимерное покрытие которого вшиты квантовые маркеры.

Толщина полимерного покрытия составляет несколько десятков микрон, так что фракционный состав пропант не нарушается. При контакте с целевым пластовым флюидом (вода или нефть) полимерная оболочка пропант деградирует и высвобождает маркеры,

которые за счет малого размера и химической инертности не могут преодолеть границу раздела фаз и, будучи захваченными какой-либо из фаз, остаются в ней навсегда.

При проведении МГРП в каждую из стадий закачивается маркированный пропант определенного кода, который формируется при производстве маркеров путем комбинирования различного типа квантовых точек. Маркированный пропант закачивается последней пропантной пачкой в целях обеспечения максимального контакта при омывании пластового флюида, поступающего из пласта в скважину (рис. 2).

На рис. 3 представлена альтернативная версия технологии с размещением маркеров в кассетах в составе компоновок нижнего заканчивания.

Полимерные композиции с маркерами-репортерами в данном случае размещаются в кассетах специальной конструкции. Внешний вид кассеты представлен на рис. 4.

Маркированный материал представляет собой неомогенный микронаполненный композит – полимерный гранулят, выполняющий различные функции (рис. 5), в числе которых:

- 1) каркас – обеспечение прочностных свойств, препятствующих разрушению или изменению геометрических размеров частиц полимера;
- 2) наполнитель – создание путем растворения при контакте с водой или нефтью гидрофильных и олеофильных диффузионных каналов, через которые происходит миграция маркеров-репортеров из внутреннего объема полимера на его поверхность;
- 3) квантовые маркеры-репортеры, являющиеся высокоточными индикаторами притока нефти и воды.

Таким образом, маркированный гранулят представляет собой шитую полимерную матрицу, обеспечивающую высвобождение квантовых маркеров-репортеров в пластовый флюид с устойчивой концентрацией и длительностью. Принцип работы технологии аналогичен описанному ранее: полимерное покрытие реагирует с пластовым флюидом, маркеры-репортеры вымываются водой и нефтью. В результате водная и нефтяная фазы флюида автоматически

Скважины, исследованные с применением технологии ООО «ГеоСплит»

Wells studied using the technology of GeoSplit LLC

Номер скважины Well number	Месторождение Field	Количество интервалов (портов МГРП) Number of intervals (ports of multi-stage hydraulic fracturing)	Тип трассерной системы Type of the tracer system
1820г	Имилорское Imilorskoe	5	Маркированный пропант Marked proppant
6303г	Кочевское Kochevskoe		Внутрискважинные кассеты Interhole loaders
9442г			Маркированный пропант Marked proppant
2432г	Тевлинско-Русскинское Tevlinsko-Russkinskoe		Маркированный пропант Marked proppant

обеспечиваются своими индикаторами притока. Скважинные кассеты подбираются исходя из геолого-технических характеристик скважины и комплектации компоновки нижнего заканчивания.

### ПРИНЦИП ИДЕНТИФИКАЦИИ МАРКЕРОВ В ПРОБАХ ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА

После завершения полевой операции по размещению маркеров и в ходе дальнейшей эксплуатации скважины проводятся исследования притока путем отбора проб пластовой жидкости с устья скважины и их анализа с применением аппаратно-программного комплекса методом проточной цитометрии. Данный метод основан на исследовании сред в режиме поштучного анализа элементов дисперсной фазы по сигналам светорассеяния и позволяет с высокой точностью определить количественное распределение «водных» и «нефтяных» маркеров каждого кода.

В аппаратно-программном комплексе формируется струя жидкости диаметром несколько микрон, и все маркеры выстраиваются в ряд. Поток облучается лазером и по сигналу светорассеяния – прямого или бокового – поштучно идентифицируется маркер каждого кода. Таким образом, анализ концентрации маркеров каждого кода позволяет выявить процентное соотношение фаз (воды и нефти) каждого исследуемого интервала в общем дебите скважины. Процесс идентификации маркеров полностью автоматизирован и основан на применении алгоритмов машинного обучения, что позволяет идентифицировать маркеры с высокой точностью и оперативностью.

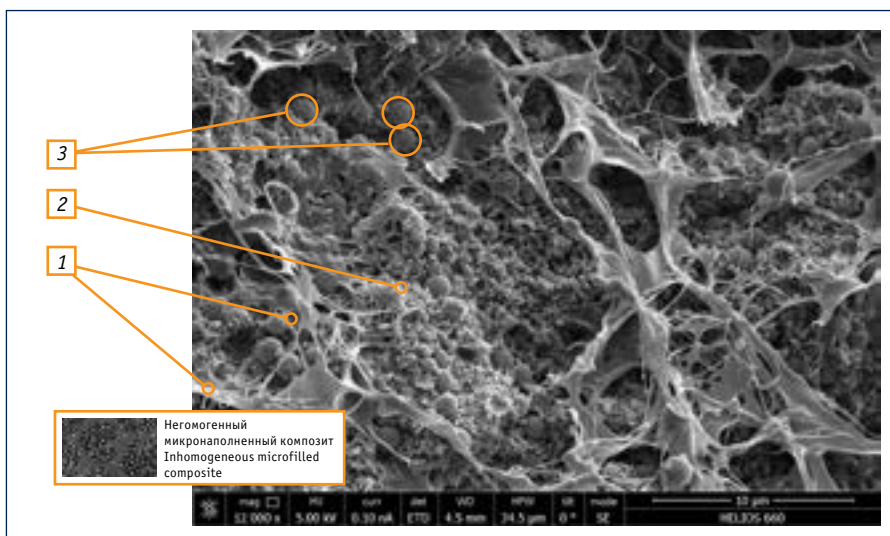


Рис. 5. Фотография маркированного композита с квантовыми маркерами-репортерами в сканирующем электронном микроскопе: 1 – каркас; 2 – наполнитель; 3 – квантовые маркеры-репортеры

Fig. 5. Picture of the marked composite material with quantum marker-reporters in the scanning electronic microscope: 1 – frame; 2 – filler; 3 – quantum marker-reporters



Рис. 6. Аналитический аппаратно-программный комплекс

Fig. 6. Analytical hardware-software complex



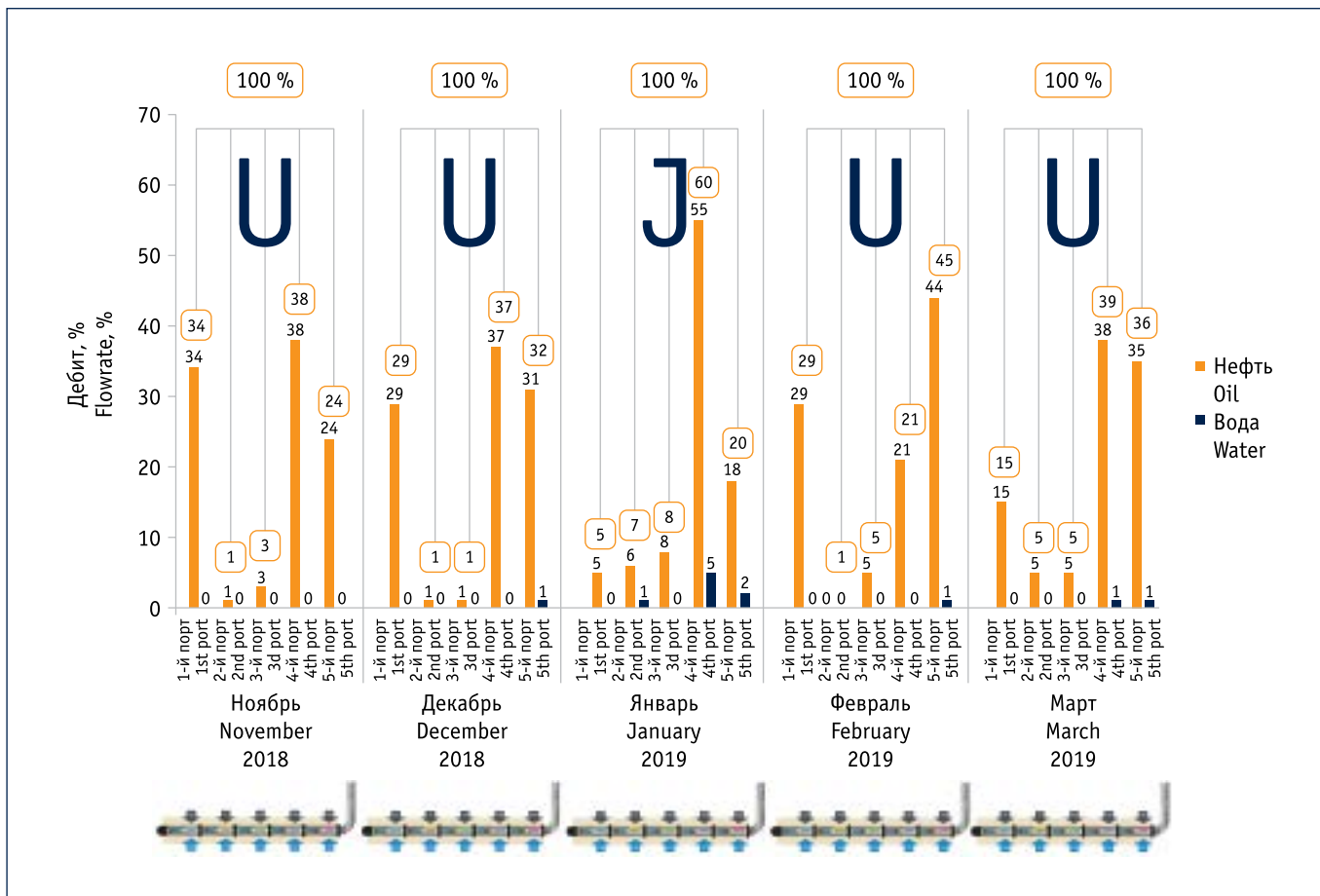


Рис. 7. Динамика работы продуктивных интервалов по нефти и воде скважины 1820г Имилорского месторождения  
Fig. 7. Dynamics of well 1820g oil and water productive intervals on the Imilorskoe field

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

Маркерная технология диагностики профилей притока была применена в нескольких горизонтальных скважинах ТПП «Когалымнефтегаз» (таб.). В режиме мониторинга ежемесячно были получены профили притоков, по результатам анализа которых установлено следующее:

- 1) профили притоков горизонтальных стволов (ГС), как правило, меняются с течением времени;
- 2) наиболее характерные профили притоков исследованных скважин:
  - J-образный (работает преимущественно «пятка» ГС);
  - L-образный (работает преимущественно «носок» ГС);
  - U-образный (работают преимущественно и «пятка», и «носок» ГС).

При анализе режима работы системы ППД было установлено, что тип профиля притока горизонтальных скважин

коррелирует с расположением нагнетательных скважин в районе окружения. Например, для скв. 1820г Имилорского месторождения (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, Ханты-Мансийский автономный округ) результаты мониторинга следующие (рис. 7):

- 1) наблюдается U-образный профиль притока по горизонтальному стволу, переходящий в J-образный и обратно;
- 2) отмечена преимущественная работа портов № 1, 4 и 5;
- 3) в районе окружения возможно влияние нагнетательных скважин (рис. 8):
  - скв. 1864, 1867 – на работу «носочной» части ГС (порты № 1, 2);
  - скв. 1865 – на работу «пяточной» части ГС (порты № 4, 5).

Для скв. 9442г Кочевского месторождения результаты мониторинга следующие (рис. 9):

- 1) преимущественно наблюдается J-образный профиль притока. Приток нефти и воды наиболее выражен по порту № 4;

2) порт № 5 практически не вовлечен в работу;

3) в районе окружения возможно влияние нагнетательных скважин (рис. 10):

- скв. 6308 – на работу «пяточной» части ГС;
- скв. 6285 – на работу «носочной» части ГС.

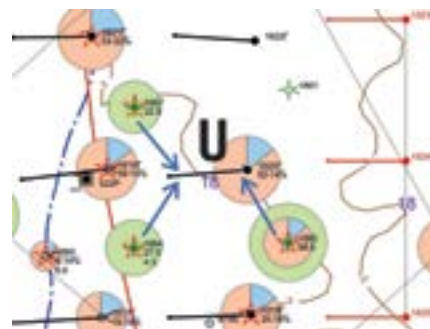


Рис. 8. Район скважины 1820г Имилорского месторождения  
Fig. 8. Area of the well 1820 of the Imilorskoe field

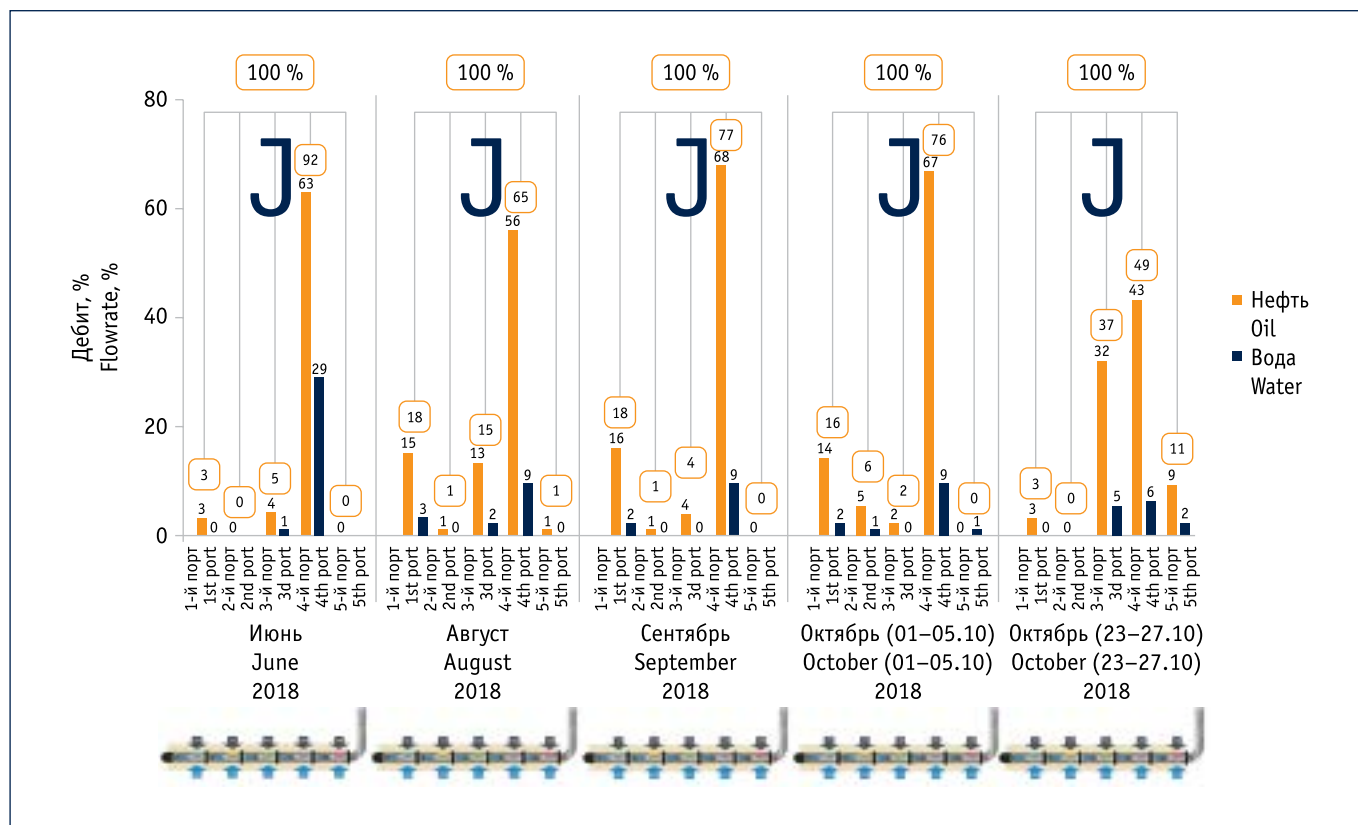


Рис. 9. Динамика работы продуктивных интервалов по нефти и воде скважины 9442г Кочевского месторождения

Fig. 9. Dynamics of well 9442g oil and water productive intervals operation on the Kochevskoe field



## III МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ РЫНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ РОССИИ И СНГ

29 НОЯБРЯ 2019, МОСКВА, ОТЕЛЬ «ГАЛЛАРИ КЕМПИОКС»



---

ОРГАНИЗАТОР:  RPI

WWW.RPI-CONFERENCES.COM

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР: 

---

БОЛЕЕ  
**>20**  
СПИКЕРОВ

БОЛЕЕ  
**>130**  
УЧАСТНИКОВ

БОЛЕЕ  
**>80**  
КОМПАНИЙ

---

ФОРМАТ КОНФЕРЕНЦИИ



ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ  
ДИНАМИКА  
И КЛЮЧЕВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ  
НА ТОПЛИВНОМ РЫНКЕ РФ



СТРАТЕГИЧЕСКАЯ СЕССИЯ  
МЕЛКОПОТОВЫЙ /  
БИРЖЕВОЙ РЫНОК  
МОТОРНОГО ТОПЛИВА



СТРАТЕГИЧЕСКАЯ СЕССИЯ  
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ  
РАЗВИТИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ  
ТОПЛИВНОГО БИЗНЕСА



СТРАТЕГИЧЕСКАЯ СЕССИЯ  
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ПУТИ  
ОПТИМИЗАЦИИ ВТОРИЧНОЙ  
ЛОГИСТИКИ НА ТОПЛИВНОМ РЫНКЕ РФ

---



+7 (495) 502 54 33; +7 (495) 778 93 32



Elena.Konstantinova@rpi-inc.ru



www.rpi-conferences.com

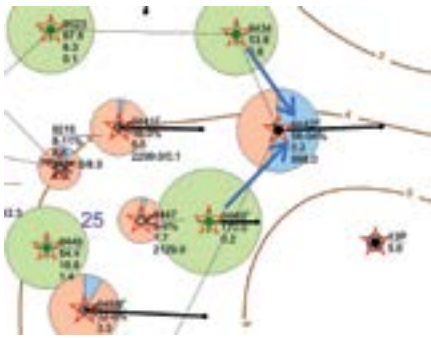


Рис. 10. Район скважины 9442г Кочевского месторождения  
Fig. 10. Area of the well 9442g of the Kochevskoe field

Для скв. 2432г Тевлинско-Русскинского месторождения отмечен U-образный профиль притока по горизонтальному стволу, переходящий в L-образный и обратно (рис. 11). На рисунке приток нефти и воды наиболее выражен по порту №1. Порты №2, 3, 4 вовлечены в работу в меньшей степени.

В районе окружения возможно влияние нагнетательных скважин (рис. 12):

- скв. 5425, 5426 – на работу пяточной части ГС (порты №4, 5);
- скв. 1240, 2583 – на работу носочной части ГС (порты №1, 2).

Таким образом, для каждой из скважин отмечена зависимость влияния расположенных вблизи нагнетательных скважин на профиль притока по горизонтальному стволу, что дает возможность управлять выработкой запасов участков пласта путем регулирования приемистости нагнетательных скважин, осуществлять визуализацию показателей выработки запасов с комплексным количественным и качественным анализом влияния проведенного МГРП [4].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен мониторинг работы в горизонтальных стволах с использованием двух технологических решений размещения маркеров – маркированного

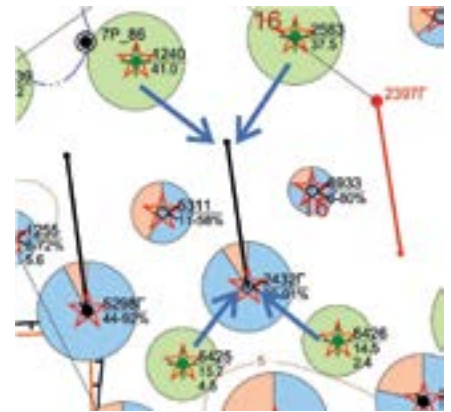


Рис. 12. Район скважины 2432г/16 Тевлинско-Русскинского месторождения  
Fig. 12. Area of the well 2432g/16 of the Tavlinsko-Russkinskoe field

пропанта, закачиваемого в ходе МГРП, и внутрискважинных кассет, размещаемых в компоновках нижнего заканчивания.

В ходе мониторинга выявлены три наиболее характерных профиля притоков

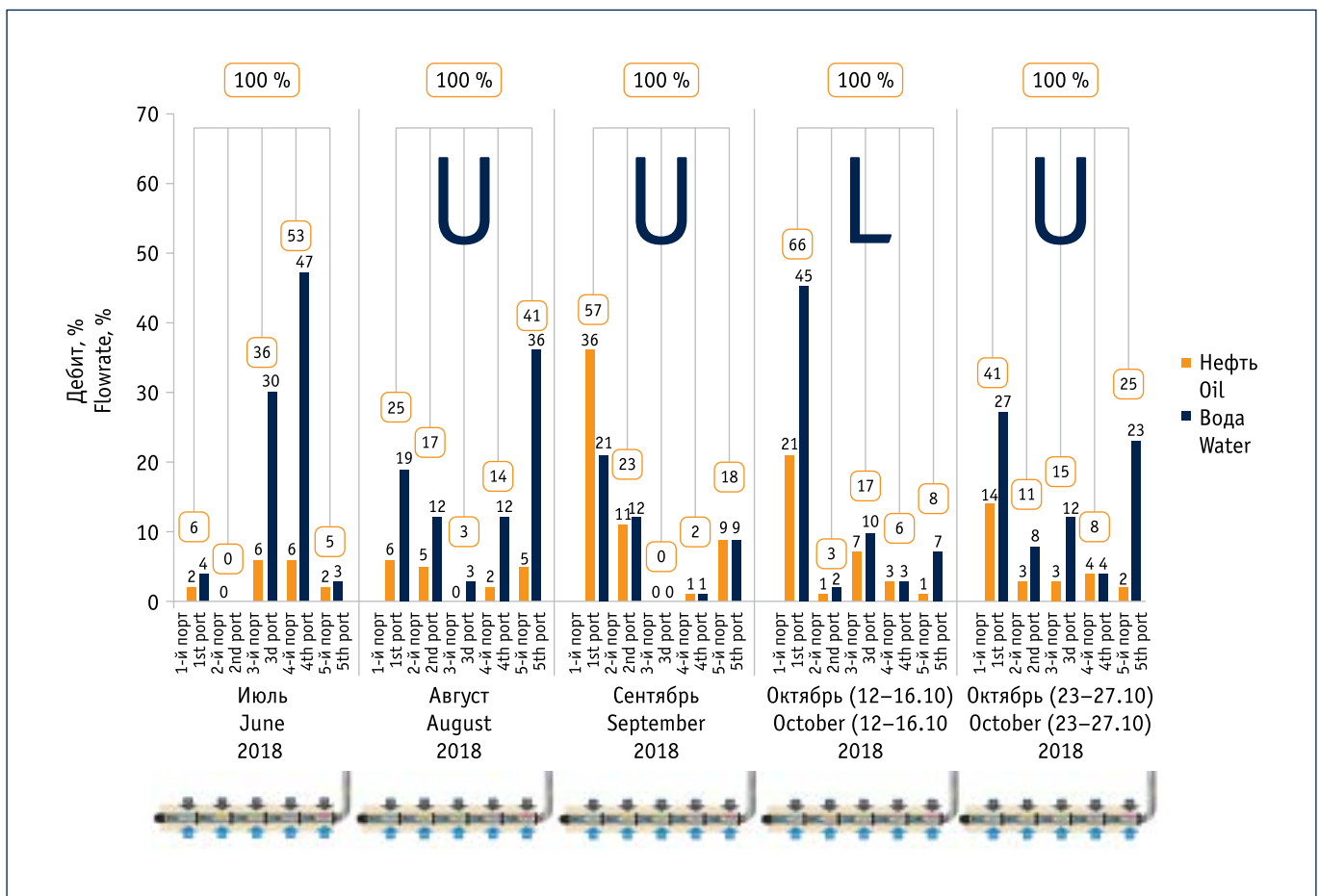


Рис. 11. Динамика работы продуктивных интервалов по нефти и воде скважины 2432г Тевлинско-Русскинского месторождения

Fig. 11. Dynamics of well 2432g oil and water productive intervals operation on the Tavlinsko-Russkinskoe field



горизонтальных скважин (U-, J-, L-), установлена зависимость влияния на профиль притока расположенных вблизи нагнетательных скважин.

По результатам исследования сделан вывод, что перспективными направлениями применения маркерных технологий могут являться:

1) закачка маркеров в нагнетательные скважины с совместным размещением маркированного материала в горизонтальных добывающих скважинах в целях комплексной оценки эффективности системы ППД, определения фильтрационных потоков в пласте и их взаимосвязи с работой ГС;

2) адаптация существующих геологических и гидродинамических моделей на основании аналитических данных мониторинга с прогнозированием и подбором наиболее оптимальных параметров добычи и разработки. Реализация данных проектов запланирована на 2019–2020 гг.

#### Литература:

1. Kawasaki E.S., Player A. Nanotechnology, Nanomedicine, and the Development of New, Effective Therapies for Cancer. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. 2005;1 (2):101–109.
2. Alivisatos A.P., Gu W., Larabell C. Quantum Dots as Cellular Probes. *Annu.Rev. Biomed. Eng.* 2005;7:55–76.
3. Гурьянов А.В., Каташов А.Ю., Овчинников К.Н. Диагностика и мониторинг притоков скважин с помощью трассеров на квантовых точках // *Время колтюбинга*. 2017. №2 (60). С. 42–51.
4. Овчинников К.Н. Задачи разработки месторождений и бурения, решаемые с помощью технологии маркерной диагностики профилей притоков скважин // *Нефть. Газ. Новации*. 2019. №2. С. 71–77.

#### References:

1. Kawasaki E.S., Player A. Nanotechnology, Nanomedicine, and the Development of New, Effective Therapies for Cancer. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. 2005;1 (2):101–109.
2. Alivisatos A.P., Gu W., Larabell C. Quantum Dots as Cellular Probes. *Annu.Rev. Biomed. Eng.* 2005;7:55–76.
3. Gurianov A.V., Katashov A.Yu., Ovchinnikov K.N. Production Logging using Quantum Dots Tracers. *Vremya koltyubinga [Coiled Tubing Times Journal]*. 2017;2 (60):42–51. (In Russ.)
4. Ovchinnikov K.N. Challenges in Field Development and Drilling Resolved by the Use of Tracer Diagnostic Procedures in Well Inflow Profiles. *Neft». Gaz. Novatsii [Oil.Gas. Innovations]*. 2019;2:71–77. (In Russ.)



# СУРГУТ. НЕФТЬ И ГАЗ

XXIV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

## 25-27 СЕНТЯБРЯ 2019

Организатор: • ЮГОРСКИЕ КОНТРАКТЫ •

MEMBER  
OF THE EUROPEAN  
ASSOCIATION OF EXHIBITION  
AND TRADE



Член  
Европейского  
Ассоциация  
Выставочной  
и Торговли



📍 г. СУРГУТ,  
СОК «ЭНЕРГЕТИК»  
ул. ЭНЕРГЕТИКОВ, 47

☎ +7 (3462) 94-34-54

✉ SALES@YUGCONT.RU

🌐 WWW.SNGEXPO.RU

📷 SNGEXPO

