

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2023.3.94-105>

EDN: QUSQZI

УДК 622.245.78

## **Повышение эффективности применения компоновки струйного насоса при освоении нефтяных скважин**

*Шевченко Б.С., Акимов А.Г., Зиазев Р.Р.*

*ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия*

## **Improving the efficiency of using the jet pump layout in the development of oil wells**

*B.S. Shevchenko, A.G. Akimov, R.R. Ziazev*

*LLC «Tyumen Petroleum Research Center», Tyumen, Russia*

**E-mail: [bsshevchenko2@tnnc.rosneft.ru](mailto:bsshevchenko2@tnnc.rosneft.ru)**

**Аннотация.** В работе представлен новый подход освоения нефтяных скважин компоновкой струйного насоса с модифицированными узлами и оптимизированной последовательностью операций вызова притока и гидродинамического исследования скважин (ГДИС).

Предлагаемый подход позволяет: снизить непроизводительные затраты за счет исключения дополнительных спуско-подъемных операций (СПО) для считывания информации с манометра под пакером, принимать обоснованные решения в целесообразности проведения геолого-технических операций (ГТМ), выполнять оценку эффекта от проведенной обработки призабойной зоны пласта (ОПЗ), своевременно отбирать продукты реакции после кислотной обработки и подбирать оптимальные плотности раствора глушения в виду наличия предварительной информации об энергетике.

**Ключевые слова:** *струйный насос, освоение нефтяных скважин, ГТМ, разработка ТРИЗ, ГДИС, КВД, извлекаемый обратный клапан*

**Для цитирования:** Шевченко Б.С., Акимов А.Г., Зиазев Р.Р. Повышение эффективности применения компоновки струйного насоса при освоении нефтяных скважин // Нефтяная провинция.-2023.-№3(35).-С. 94-105. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.3.94-105>. - EDN QUSQZI

**Abstract.** The work presents a new approach to the development of oil wells by using a jet pump system with modified components and an optimized sequence of operations for inflow stimulation and well hydrodynamic research.

This approach allows for: reducing non-productive costs by eliminating additional wireline operations for retrieving information from a pressure gauge beneath the packer, making informed decisions on the feasibility of conducting geological and technical operations, evaluating the effects of reservoir treatment, promptly sampling reaction products after acid treatment, and selecting optimal kill fluid densities based on preliminary energy information.

**Key words:** *jet-type pump, oil well testing, well interventions, unconventional reserves development, pressure transient analysis, PBU curve, retrievable back-pressure valve*

**For citation:** B.S. Shevchenko, A.G. Akimov, R.R. Ziazev Povysheniye effektivnosti primeneniya komponovki struynogo nasosa pri osvoyenii neftyanykh skvazhin [Improving the efficiency of using the jet pump layout in the development of oil wells]. Neftyanaya Provintsiya, No. 3(35), 2023. pp. 94-105. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.3.94-105>. EDN QUSQZI (in Russian)

## Введение

Освоение - важный процесс подготовки скважин к последующей эксплуатации. Кольматация ПЗП при запуске скважины (после ГТМ) не позволяет реализовать геологический потенциал пласта, что приводит к значительным финансовым потерям [1]. Текущая практика проведения ГТМ предполагает спуск глубинно-насосного оборудования непосредственно после стимулирования призабойной зоны пласта (ПЗП). В этих условиях возможны ситуации, когда не достигается плановый скин за счет поглощения пластом технологической жидкости, не эффективности типа ГТМ и отсутствие отбора в необходимом объеме продуктов реакции после кислотной обработки [3]. Оптимальным решением, особенно при неопределённостях по пластовому давлению и скин-фактору, является переход на схему проведения ГТМ, представленную на рис. 1. Данная схема включает в себя проведение освоения с комплексом гидродинамического исследования (ГДИ) для последующей оценки состояния призабойной зоны непосредственно до и после мероприятий по интенсификации добычи.

### Текущая практика проведения ГТМ



### Оптимальная схема проведения ГТМ

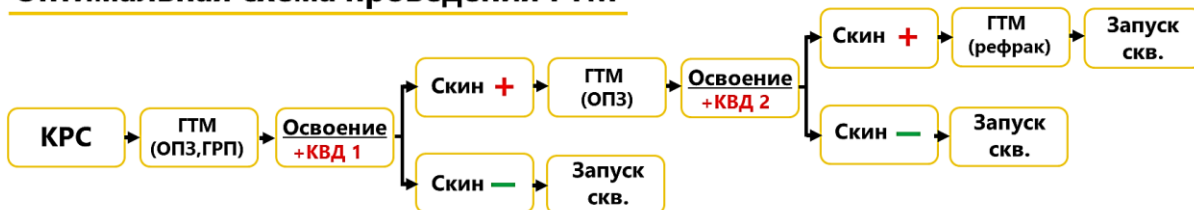


Рис. 1. Текущая и оптимальная схемы проведения ГТМ

### Обзор распространенных способов освоения скважин

На сегодняшний день можно выделить 5 основных способов освоения: компрессирование, свабирование, колтюбинг, байпасные системы и струйный насос, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Компрессирование и свабирование имеют низкую стоимость работ, при этом основными недостатками компрессирования является негативное воздействие на ПЗП из-за фильтрации части жидкости в пласт, а свабирование является одним из самых продолжительных способов освоения. При этом и компрессирование, и свабирование позволяют, в большинстве случаев, сделать лишь экспресс-оценку фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) [4].

Колтюбинг и байпасные системы надежны в плане определения ФЕС, однако такие подходы освоения имеют высокую стоимость проведения работ и оборудования, что также является их ограничением. Освоение с использованием струйного насоса позволяет получить достоверные данные о ФЕС, скин-факторе и энергетическом состоянии пласта, при сжатых сроках работ ввиду возможности закрытия скважины на забое [2]. Однако для эффективной реализации такого подхода требуется дополнительные СПО с КРС для проведения исследований.

	Компрессирование	Свабирование	Колтубинг (ГНКТ)	Байпасные системы (УЭЦН + Y-Tool)	Струйный насос
Оценка ФЕС	Экспресс оценка Рпл и кпрод ●	Возможна оценка ФЕС ННС и ННС+ГРП. ●	Качественная оценка ФЕС ●	Качественная оценка ФЕС ●	Качественная оценка ФЕС ●
Стоимость проведения работ, оборудования	Низкая стоимость ●	Низкая стоимость ●	Высокая стоимость проведения работ и оборудования ●	Высокая стоимость проведения работ и оборудования ●	Умеренная стоимость ●
Негативные факторы	Негативное воздействие на ПЗП (поглощение части жидкости заполняющий ствол в пласт)	Невозможно добиться стабильного отбора низкопродуктивных объектах	Высокое гидравлическое сопротивление, низкая изгибная жесткость гибких труб. Сложность ремонта в полевых усл.	Сложность извлечения геофиз. пробки. Нет гарантий отсутствия перетоков через негерметичность пробки при проведении ПГИ	Требуются доп. СПО с КРС для извлечение манометра под пакером
Продолжительность освоения	Освоение 1-2 суток ●	Один из самых длительных способов ●	Освоение 2-5 суток ●	Освоение 3-6 суток и более ●	Освоение 2-3 суток ●
Проведение комплекса ПГИ	Возможен, но результат сомнителен, необходима тех. депрессия ●	Да ●	Да ●	Да ●	Да ●

*Рис. 2. Сравнение распространенных способов освоения скважин*

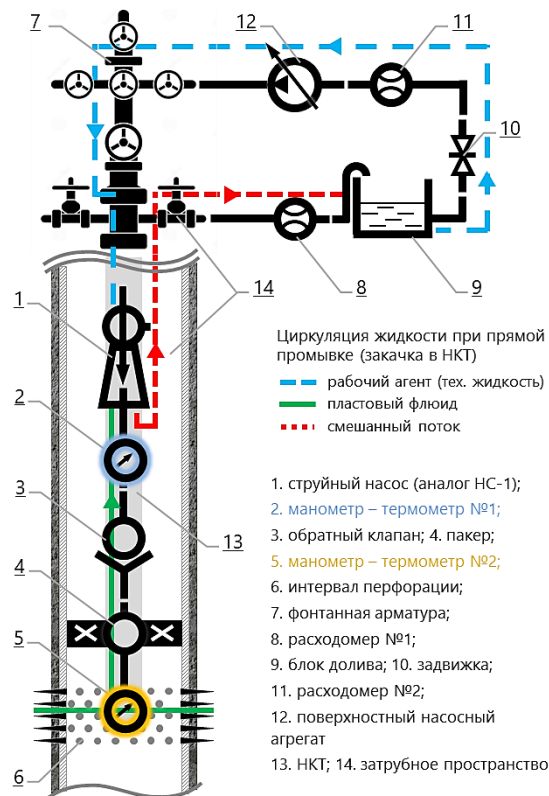
### Освоение струйным насосом

На рис. 3 представлена концептуальная схема размещения основных узлов поверхностного и глубинного оборудования для рядового (повсеместного) освоения компоновкой струйного насоса (СН). Отражена схема прямой промывки, т.е. закачка рабочей жидкости ведется через насосно-компрессорные трубы (НКТ) в эжектор, где происходит разряжение и смешивание с пластовым флюидом, далее смешанный поток поднимается по затрубному пространству с последующим замером расхода и переливом в блок долива. Для проведения исследований в компоновку устанавливается два манометра. Первый манометр монтируется над обратным клапаном на приёме струйного насоса, второй в интервале продуктивного пласта под пакером.

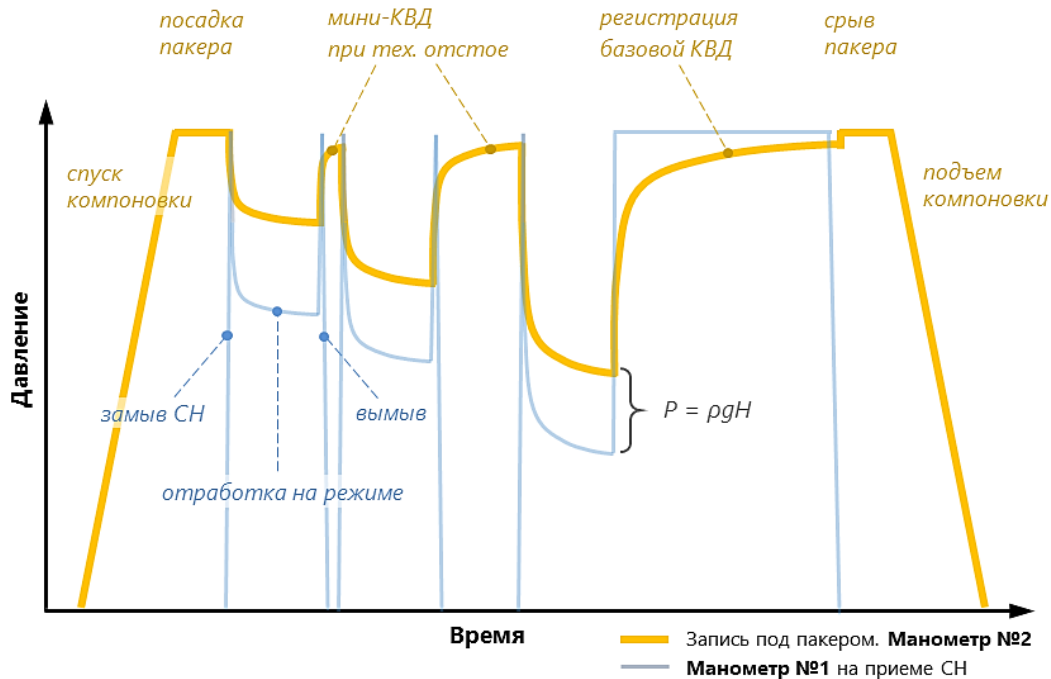
На рис. 4 представлен типовой обзорный график освоения струйным насосом и указаны основные действия, регистрируемые первым и вторым манометром. Манометр №1 вымывается совместно с эжектором на протяжении цикла освоения – для оперативного контроля над развиваемой депрессией на пласт и подбора оптимальных характеристик струйного насоса к скважинным условиям (при смене соотношений диаметров сопла и камеры смешения депрессионной вставки). Манометр №2 статичен, данные замеров считываются по окончанию работ – регистрируется забойное давле-

ние + кривая восстановления давления (КВД). В период основного (базового) КВД струйный насос не извлечен ввиду записи давления по контролю герметичности обратного клапана. Манометр №2 в подпакерной области (в хвостовике на уровне перфорационных отверстий) статичен и извлекается по окончании работ по освоению. Уровень снижения давления на приеме насоса зависит от геометрии проточной части СН, скважинных условий (глубина, диаметр колоны/НКТ), ФЕС и развиваемого давления насосом на устье скважины. Разница по давлению между двумя манометрами (на приеме и под пакером) в циклах добычи зависит, преимущественно, от гидростатической составляющей.

Одним из основных элементов компоновки СН, обеспечивающий качественное проведение ГДИС, является обратный клапан. От его своевременного закрытия и последующего сдерживания столба жидкости над клапаном в процессе регистрации КВД зависит однозначность результатов/выводов о модели фильтрационной системы (скважина-пласт), ФЕС, состояния ПЗП и пр.



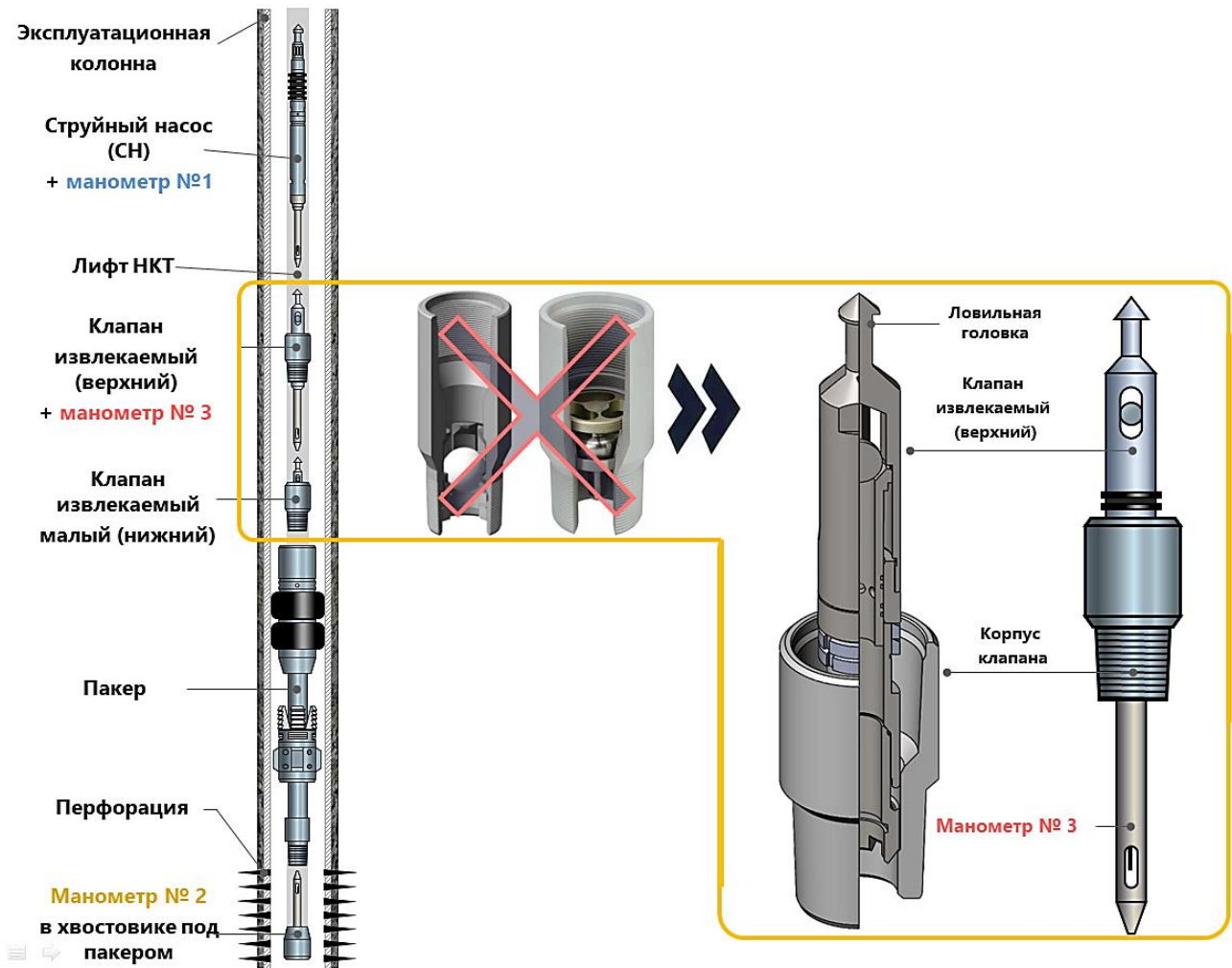
**Рис. 3. Схема расстановки узлов струйного насоса**



**Рис. 4. Типовой обзорный график освоения струйным насосом**

### **Предлагаемый новый подход освоения струйным насосом**

С целью оптимизации текущей компоновки предлагается перейти с повсеместно используемых обратных клапанов в стационарном исполнении на извлекаемые клапаны с монтируемым в нижней части манометром – термометром (Рис. 5). Использование клапана позволит исключить дополнительное СПО с привлечением бригады капитального ремонта скважин (КРС) для считывания информации с манометра №2 для корректировки плана последующих работ и принятия обоснованных решений по проведению ОПЗ/ГРП. Предлагаемый подход позволит снизить непроизводительные затраты на проведение неэффективных ГТМ.



*Рис. 5. Схема рекомендуемой модификации компоновки струйного насоса*

Актуальность перехода на извлекаемые клапана:

- Снижение непроизводительных затрат. Исключение СПО для считывания информации с манометра № 2 под пакером с целью корректировки плана последующих работ;
- Принятие обоснованных решений в целесообразности проведения ОПЗ, ГРП (оценка возможных причин снижения производительности скважины: кольматация ПЗП или пониженная энергетика объекта);
- Количественная оценка эффекта от проведенного мероприятия (на основании анализа циклов КВД до/после ГТМ, либо изменения  $k_{\text{прод}}$  в режимах освоения);
- Своевременный отбор продуктов реакции после проведения кислотной обработки;

- Обоснованный подбор плотности раствора глушения ввиду наличия предварительной информации об энергетике объекта;
- Отбор представительных глубинных проб.

На рис. 6 представлен обзорный график регистрации давления (манометры №1-3) и дебитов на режимах освоения в модифицированной компоновке СН. Первый манометр (синяя линия) вымывается несколько раз в процессе освоения совместно с эжектором для оперативного контроля над развиваемой депрессией. Вторым манометром (желтая линия) под пакером остается статичным на протяжении всего цикла, и данные с него считываются после срыва пакера в конце освоения и последующего подъема. Основным изменением является включение в предлагаемую компоновку извлекаемого обратного клапана с третьим манометром (красная пунктирная линия). Принципиальным отличием использования данного манометра является наличие гидродинамической связи с ПЗП и возможность извлечения манометра на протяжении всего цикла освоения без срыва пакера, что позволяет проводить исследования и принимать решения о целесообразности ГТМ без значительных финансовых издержек.

К примеру, на обзорном графике (Рис. 6) в точке «а» после извлечения третьего манометра по графику КВД (Рис. 7) отмечается кольматация ПЗП, далее делается вывод о необходимости проведения кислотной обработки, а также определяется оптимальная продолжительность КВД для выхода на радиальный режим. В точке «b» при извлечении третьего манометра оценивается эффект от проведенного ОПЗ, после чего принимается решение либо о завершении процесса освоения и подъеме всей компоновки, либо о проведении повторных ГТМ и продолжении освоения.



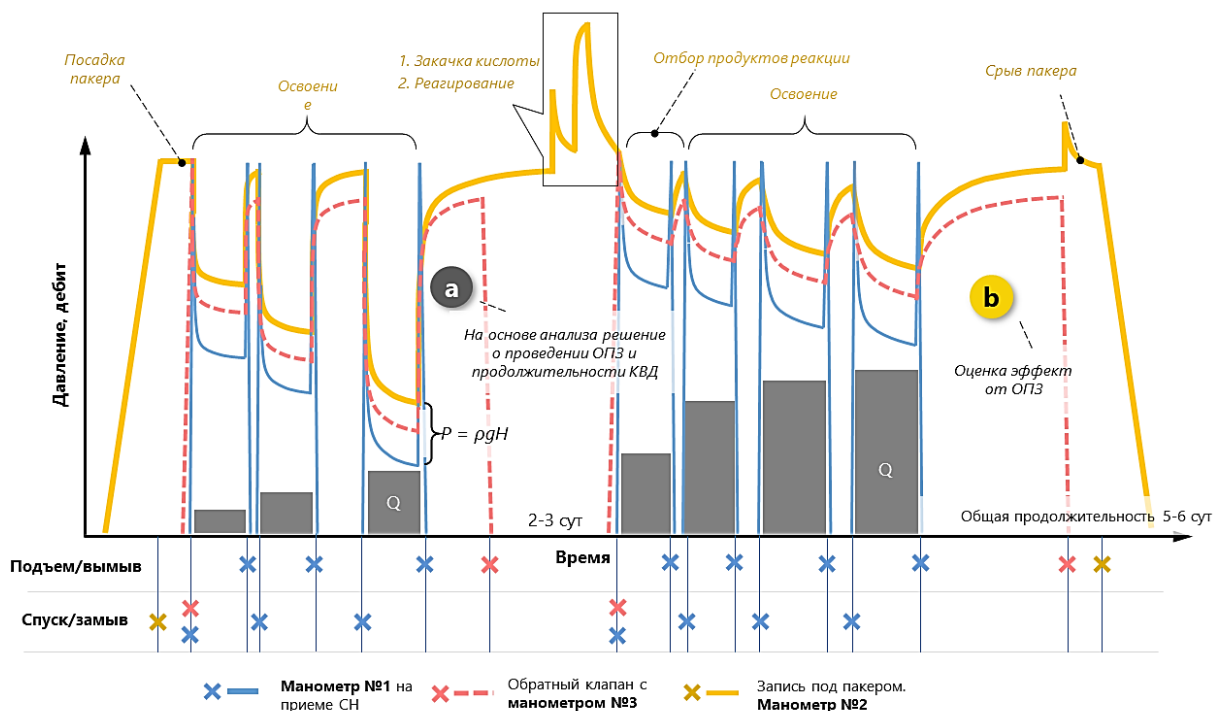


Рис.6. Типовой обзорный график освоения с применением извлекаемых клапанов

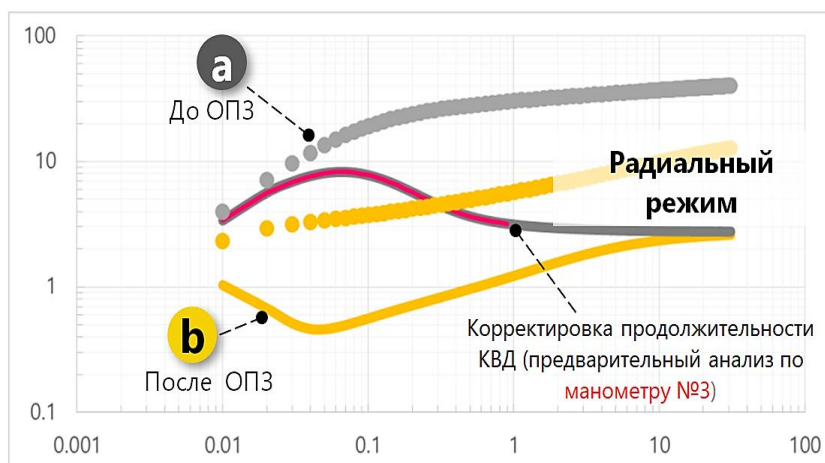


Рис. 7. Диагностический график КВД

### Примеры полевых работ и результат анализа

Предлагаемая модификация протестирована на нескольких месторождениях Западной Сибири. Полученные результаты подтвердили эффективность и надежность предлагаемой компоновки при освоении скважин. На рис. 8 представлен пример полевых работ и результаты интерпретации КВД до и после ГТМ. В ходе анализа цикла КВД (а), обращает на себя внимание следующий момент: фильтрационные потоки, характерные

для трещины ГРП, имеют крайне низкую проводимость, при этом длина крыла трещины соизмерима с результатом анализа КВД (б). После проведения соляно-кислотной обработки (СКО), общий скин-фактор снизился с +1 до значения -3,6. Коэффициент продуктивности увеличился в 4 раза. Прирост дебита нефти составил +17 т/сут.

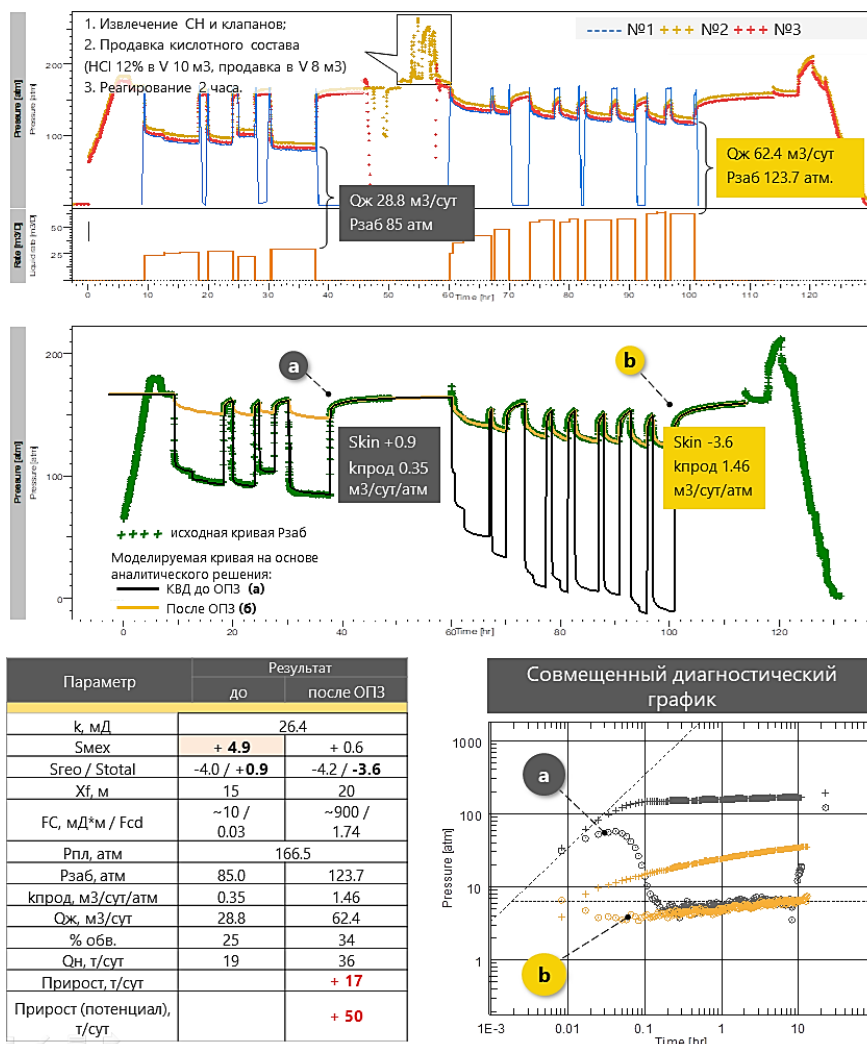


Рис. 8. Пример полевых работ и результат анализа

Возможными причинами отсутствия эффекта от ГРП могут быть: наличие неразложившегося геля в трещине при нарушении технологического процесса ГРП или повреждение ПЗП в процессе КРС после ГРП. Таким образом, за счет проведения процесса освоения, с регистрацией КВД при закрытии на забое, компоновкой СН в модифицированном исполнении

подтверждена кольматация ПЗП после ГРП и выполнен эффективный ГТМ (ОПЗ) на скважине без проведения дополнительных СПО.

### Выводы

1. Повышена эффективность компоновки струйного насоса при освоении нефтяных скважин путем модификации узлов и их размещения в составе подземного оборудования. Предложенная компоновка СН позволяет нивелировать непроизводительные затраты за счет обоснованных решений выбора ГТМ и исключения дополнительных СПО с КРС для считывания информации с манометра №2.

2. Предлагаемый подход опробован в полевых условиях на скважинах одного из месторождений Западной Сибири. В результате освоения своевременно выявлены не эффективно проведенные ГТМ и реализованы повторные мероприятия, которые позволили достичь плановый  $k_{\text{прод}}$  на скважинах.

### Список литературы

1. Дроздов А.Н., Мохов М.А., Алияров Э.Г. Освоение бездействующих скважин на Покамасовском месторождении. – Нефтяное хозяйство, 1997, №8, с. 44 – 47
2. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003.
3. Деева Т.А., Камартдинов М.Р., Кулагина Т.Е., Мангазеев П.В. Гидродинамические исследования скважин: анализ и интерпретация данных. – 2009 г.
4. Кременецкий М.И., Ипатов А.И., Гуляев Д.Н. Информационное обеспечение и технологии гидродинамического моделирования нефтяных и газовых залежей. –М. – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 896 с.

### References

1. Drozdov A.N., Mohov M.A., Aliyarov E.G., Development of inactive wells at the Pokamassovskoye field. (In Russ.), Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry, 1997, no. 8, pp. 44–47. (in Russian)
2. Mishenko I.T., Borehole oil production: A textbook for universities. – M.: FSUE Publishing House "Oil and Gas" Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2003. (in Russian)
3. Deeva T.A., Kamartdinov M.R., Kulagina T.E., Mangazeev P.V., Hydrodynamic studies of wells: data analysis and interpretation. – 2009. (in Russian)

4. Kremenetsky M.I., Ipatov A.I., Gulyaev D.N. Information support and technologies of hydrodynamic modeling of oil and gas deposits. –Moscow – Izhevsk: Izhevsk Institute of Computer Research, 2011. – 896 p. (in Russian)

#### **Сведения об авторах**

*Шевченко Богдан Сергеевич*, ведущий специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625002, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1

E-mail: bsshevchenko2@tnnc.rosneft.ru

*Акимов Андрей Геннадьевич*, менеджер, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625002, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1

E-mail: agakimov@tnnc.rosneft.ru

*Зязев Рамиль Ришатович*, заместитель начальника управления, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

Россия, 625002, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1

E-mail: rrziazev@tnnc.rosneft.ru

#### **Authors**

*B.S. Shevchenko*, lead specialist, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»

79/1, Osipenko st., Tyumen, 625002, Russian Federation

E-mail: bsshevchenko2@tnnc.rosneft.ru

*A.G. Akimov*, manager, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»

79/1, Osipenko st., Tyumen, 625002, Russian Federation

E-mail: agakimov@tnnc.rosneft.ru

*R.R. Ziazev*, Deputy Head of Department, LLC «Tyumen Petroleum Research Center»

79/1, Osipenko st., Tyumen, 625002, Russian Federation

E-mail: rrziazev@tnnc.rosneft.ru

*Статья поступила в редакцию 11.08.2023*

*Принята к публикации 22.09.2023*

*Опубликована 30.09.2023*