

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2023.2.191-207>

EDN SAKYQU

УДК 622.276.66

## **Факторы снижения информативности тестовых закачек при проведении пропантных ГРП с использованием полимерных жидкостей на водной основе**

*Кочетков А.В.*

*ПАО «Татнефть», Альметьевск, Россия*

## **Factors of reducing the informativity of test injections during proppant fracturing with water-based polymer fluids**

*A.V. Kochetkov*

*PJSC Tatneft, Almeteyevsk, Russia*

**E-mail: KochetkovAV@tatneft.ru**

**Аннотация.** Цель работы – произвести оценку и классификацию неопределенностей, возникающих при проведении и анализе тестовых закачек перед ГРП. Анализ тестовой закачки перед ГРП производится повсеместно, но, как правило, полученные значения принимаются во внимание без привязки к неопределенностям. Существующие технологии ГРП позволяют идентифицировать множество источников неопределенностей, при этом ранее не была предложена система оценки и классификации, направленная на определение точности полученных данных. Неопределенности интерпретации могут быть оценены инженером, выполняющим анализ, но такая оценка носит субъективный характер и трудно поддается измерению. В ходе работы проведен статистический анализ, позволяющий численно оценить уровень неопределенности анализа. Предлагаемое решение включает оценку степени достоверности данных, полученных в результате анализа, что позволяет вносить в параметры основного ГРП уточненные корректировки.

Научная новизна работы заключается в проведении оценки и классификации неопределенностей, оказывающих влияние на результат анализа тестовых закачек перед ГРП. Впервые предложена классификация и применен статистический анализ, направленный непосредственно на оценку степени достоверности данных тестовой закачки, а также предложены метрики, характеризующие достоверность и отклонение

данных анализа. В результате предложенный подход позволяет дополнить получаемые при анализе численные значения параметров оценкой их достоверности, в том числе на основе статистических данных.

**Ключевые слова:** ГРП, тестовая закачка, МиниГРП, Minifrac, Datafrac, ГРП песчаников, оценка условий ГРП, контроль качества ГРП, метрики точности МиниГРП, достоверность МиниГРП, факторы снижения информативности МиниГРП, оценка рисков ГРП, прогноз параметров ГРП, корреляционный анализ

**Для цитирования:** Кочетков А.В. Факторы снижения информативности тестовых закачек при проведении пропантных ГРП с использованием полимерных жидкостей на водной основе // Нефтяная провинция.-2023.-№2(34).-С. 191-207. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.2.191-207>. - EDN SAKYQU

**Abstract.** The purpose of this study is to evaluate and classify the uncertainties arising from performing and analyzing test injections before fracturing. Pre-fracture test injection analysis is performed widely, but usually the values obtained are taken into account without reference to uncertainties. Existing hydraulic fracturing techniques identify multiple sources of uncertainty, and no evaluation and classification system has previously been proposed to determine the accuracy of the resulting data. Uncertainties of interpretation can be evaluated by the engineer performing the analysis, but such evaluation is subjective and difficult to measure. In the course of this study, a statistical analysis was performed to numerically estimate the level of uncertainty in the analysis. The proposed solution includes an assessment of the degree of reliability of the data obtained from the analysis, which allows for the introduction of refined adjustments to the parameters of the main stage of hydraulic fracturing.

The scientific novelty of the work lies in the evaluation and classification of uncertainties affecting the results of the analysis of test injections before hydraulic fracturing. For the first time, the classification is proposed and statistical analysis is applied, aimed directly at assessing the degree of reliability of test injection data, as well as proposed metrics that characterize the reliability and uncertainty of the analysis data. As a result, the proposed approach makes it possible to supplement the numerical values of the parameters obtained in the analysis with an assessment of their reliability, including those based on statistical data.

**Keywords:** *fracturing, test injection, Minifrac, Minifrac, Datafrac, sandstone fracturing, fracturing conditions evaluation, fracturing quality control, Minifrac accuracy metrics, Minifrac validity, Minifrac information reduction factors, fracturing risk assessment, fracture parameter forecast, correlation analysis*

**For citation:** A.V. Kochetkov Faktory snizheniya informativnosti testovykh zakachek pri provedenii propannykh GRP s ispol'zovaniyem polimernykh zhidkostey na vodnoy osnove [Factors of reducing the informativity of test injections during proppant fracturing with water-based polymer fluids]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(34), 2023. pp. 191-207. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.2.191-207>. EDN SAKYQU (in Russian)

Согласно стандартной практике пропантных ГРП, проведение успешного процесса в условиях неоднородности свойств пласта возможно при помощи анализа тестовой закачки [1]. Подходы к технологии проведения и анализа информационного ГРП, принятые в тех или иных нефтяных компаниях-операторах, несколько отличаются, но общепринятым является понимание, что увеличение степени неоднородности геологического строения разрабатываемого пласта повышает необходимость проведения информационного ГРП на каждой стадии и требует большего внимания к деталям как при планировании и дизайне тестовой закачки, так и при её анализе [2]. При планировании и анализе важно помнить, что информационный ГРП – это в первую очередь инструмент, позволяющий снизить неопределенности представлений об условиях закачки. Под неопределенностью информационного ГРП подразумевается расхождение между ожидаемыми параметрами на стадии проведения анализа и полученными параметрами проведенной основной стадии ГРП. В данной статье предпринята попытка оценить, классифицировать источники таких неопределенностей [3], а также предложить методы увеличения точности тестовых закачек в той мере, в какой это возможно, и методы работы с искаженными данными тестовой закачки для случаев, когда снижения информативности добиться не представляется возможным [4].

На схеме (Рис. 1) приведена цепочка процессов, по которой пластовые условия оказывают влияние на результат интерпретации информационного ГРП. Источник данных интерпретации – реакция на воздействие пласта, при этом параметры воздействия и реакция в виде изменения давления измеряются приборами, устройство которых включает преобразование физически измеренного давления в пропорциональные электрические сигналы [5]. На каждом из этих этапов могут возникнуть искажения по тем

или иным причинам [6]. На схеме также приведена обобщённая классификация возможных причин искажения данных.



\*Проведение информационного ГРП

**Рис. 1. Обобщённая схема передачи данных при оценке условий проведения ГРП**

Пластовые условия проведения ГРП не могут быть измерены прямыми методами. Один из основных ключей к оценке пластовых условий – проведение информационного ГРП [7], что подразумевает физическое воздействие на пласт и анализ реакций на произведенное воздействие. Как обозначено на схеме, пластовые условия и физическое воздействие на пласт взаимосвязаны – воздействие происходит в пластовых условиях и в то же время оказывает некоторое влияние на условия [8].

Планирование информационного ГРП включает определение его типа, жидкости разрыва, наличия, фракционного состава и количества пробных пропантных пачек, а также режимов закачки. При планировании необходимо учитывать ожидаемые условия, в том числе с учётом ранее проведенных работ по участку [9]. При условии корректного планирования, любое отклонение от закачки по техническим причинам приводит к снижению информативности. Наиболее критичное снижение информативности возникает при грубом нарушении технологии информационного ГРП и в таком случае рекомендуется проведение

повторной закачки. В других случаях, при отклонении количественных показателей, необходимо принятие решения на основе оценки рисков.

Все технические факторы являются контролируруемыми и могут быть устранены соответствующими мероприятиями. Применяются такие подходы, как дублирующие датчики, бакет-тест, калибровка датчиков по материальному балансу, а длительность записи замера давления согласовывается со специалистами по моделированию ГРП [10].

Перечисленные факторы можно классифицировать по возможности измерения степени влияния, исключения и проведения мероприятий по снижению влияния. Ниже в таблице 1 представлена классификация факторов.

Факторы, отмеченные как возможные для исключения, контролируются при помощи контроля качества проведения ГРП, а также при проведении предварительных замеров [11]. Наиболее сложной, но при этом технически возможной, является оценка неопределенностей интерпретации данных (4 группа). Исключить неопределенности не представляется возможным, но статистический анализ позволяет провести оценку степени влияния неопределенности и выявить параметры, влияющие на неопределенность [12].

Таблица 1

***Факторы снижения информативности***

Группа	Фактор	Возможность численного измерения влияния	Возможность исключения фактора	Мероприятия по снижению влияния
1	Планирование	–	+	Наполнение и применение БД проведенных работ ГРП и исследований свойств пласта.

	Проведение	–	+	Контроль качества ГРП.
2	Показания аналоговых датчиков	+	+	Контроль качества ГРП.
	Время записи данных	+	+	Согласование остановки записи с аналитической службой ГРП.
	Дополнительные каналы	+	+	Применение дополнительного оборудования.
3	Настройка системы сбора данных	–	+	Контроль качества ГРП.
	Верификация и пересчет данных	–	+	Контроль применяемых методов получения расчетных данных.
4	Неопределенности	+	–	Статистический анализ. Разработка новых методов. Многовариантное моделирование и сверка с исследованиями фактической геометрии трещины.
	Ограничения методов	–	–	Разработка новых методов.
	Предварительные замеры	+	+	Контроль качества лаборатории.

Чтобы оценить степень неопределенности необходимо подготовить выборку проведенных процессов, включающую параметры тестовых и основных закачек [13], а также определить соответствующие метрики. Выборка для анализа включает 672 процесса ГРП, для которых был

проведен анализ тестовой закачки, а также моделирование ГРП. Определены метрики на основе эффективности жидкости и на основе МДОЗ. Ниже представлены формулы расчета метрик:

$$Ef_A = \frac{\max(Ef_m; Ef_{hf}) - |Ef_m - Ef_{hf}|}{\max(Ef_m; Ef_{hf})} \quad (1)$$

$$Ef_B = \frac{Ef_{hf}}{Ef_m} \quad (2)$$

$$ISIP_A = \frac{ISIP_{hf} - |ISIP_r - ISIP_{hf}|}{ISIP_{hf}} \quad (3)$$

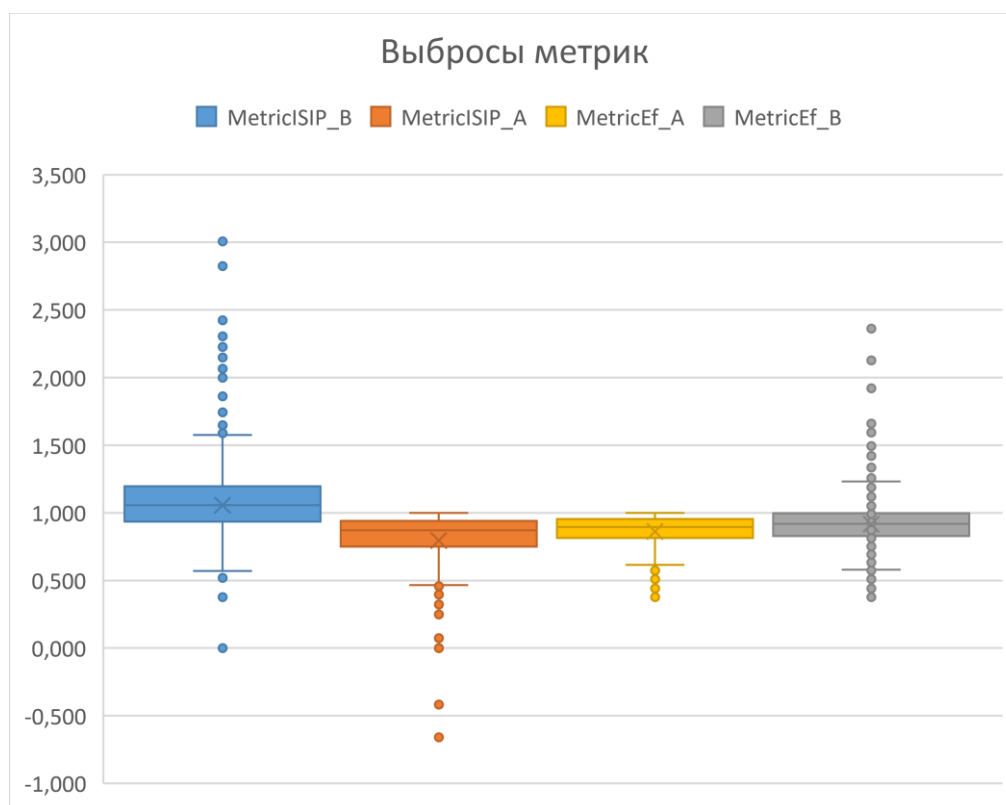
$$ISIP_B = \frac{ISIP_{hf}}{ISIP_r} \quad (4)$$

Где  $Ef_A$  – метрика «А» по эффективности жидкости,  $Ef_m$  – эффективность жидкости, определённая по анализу тестовой закачки,  $Ef_{hf}$  – эффективность жидкости в откалиброванной модели основного ГРП,  $Ef_B$  – метрика «В» по эффективности жидкости,  $ISIP_A$  – метрика «А» по МДОЗ,  $ISIP_r$  – планируемый МДОЗ основного ГРП на стадии редизайна по результатам анализа тестовой закачки,  $ISIP_{hf}$  – фактический МДОЗ основного ГРП,  $ISIP_B$  – метрика «В» по МДОЗ.

Метрики «А» составлены таким образом, чтобы значение 1 соответствовало полному совпадению прогнозных и фактических показателей и являлась максимально возможным значением, в то время как величина отклонения от 1 соответствовала характеристике неопределенности для данного случая. Метрики «В» также показывают 1 при полном совпадении, но отклонения могут быть как в большую, так и в меньшую сторону от 1, показывая соответственно завышение или занижение прогноза. Для метрик на основе ISIP производится сравнение значения, ожидаемого по результатам анализа и моделирования, с фактически измеренным значением. Для метрик на основе эффективности жидкости производится сравнение ожидаемого по анализу спада давления информационного ГРП и фактически полученного значения по

откалиброванной модели после проведения основного ГРП. На рис. 2 показаны полученные значения метрик, в том числе выбросы данных по каждой из метрик. По качеству выборки наиболее плотной оказалась метрика  $Ef_A$ .

Для анализа были отобраны 43 типа данных, которые включали как вещественные, так и категориальные переменные. В них представлены такие данные как принадлежность к участку и объекту разработки, тип скважины, наличие ранее проведенных ГРП, конструкцию скважины, кривизну, характеристики перфорации, мощности пласта, ФЕС, характеристики закачиваемых жидкостей, режимы, объемы закачки, полученные параметры тестовой закачки, технологическая успешность процесса и параметры основного ГРП, определенные при помощи моделирования [14].



**Рис. 2. Массив метрик точности тестовой закачки**

По всему объёму данных был проведен корреляционный анализ, который выявил влияние 7 вещественных переменных на метрики. Как показано в табл. 2 на примере метрики  $Ef_A$ , в корреляционном анализе



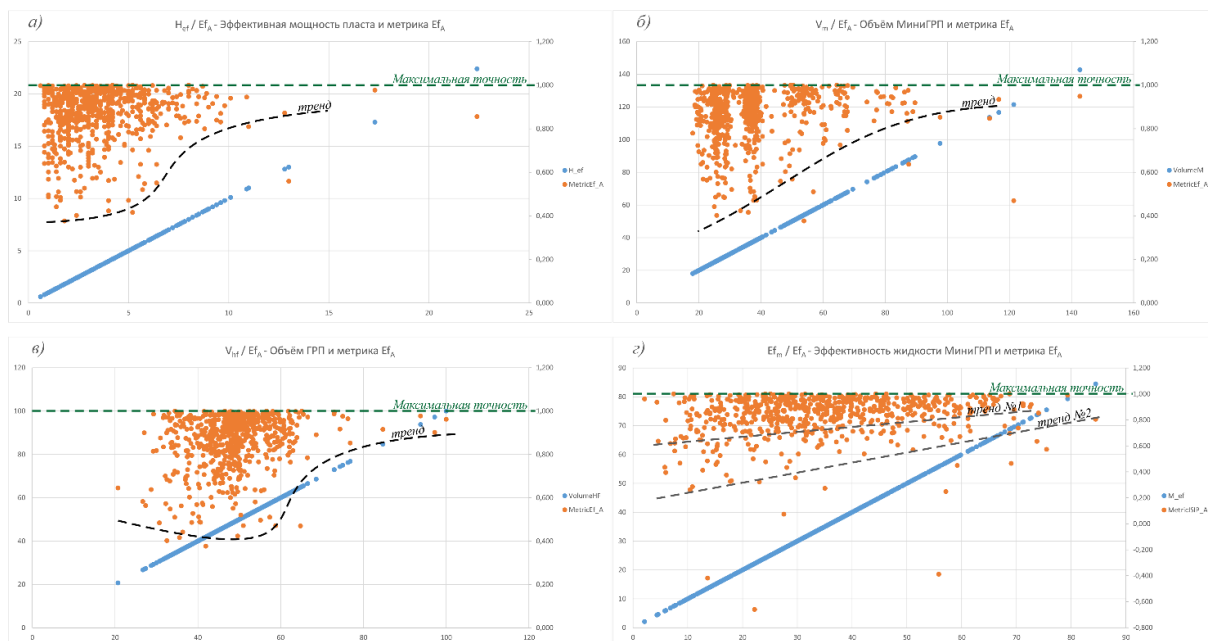
оставлены только переменные с p-value менее 0,05, за исключением переменной  $M_{ef}$ , для которой p-value составил 0,069 и было принято решение рассмотреть эту переменную как близкую к влиянию.

Таблица 2

**Корреляционный анализ вещественных переменных**

Variable		MetricEf_A	H_ef	VolumeM	M_Pfinal	M_ISIP	M_ef	Shmin	VolumeHF
1. MetricEf_A	Pearson's r	—							
	p-value	—							
2. H_ef	Pearson's r	0.138	—						
	p-value	< .001	—						
3. VolumeM	Pearson's r	0.138	0.185	—					
	p-value	< .001	< .001	—					
4. M_Pfinal	Pearson's r	-0.137	-0.088	0.127	—				
	p-value	< .001	0.022	< .001	—				
5. M_ISIP	Pearson's r	-0.118	-0.097	0.158	0.862	—			
	p-value	0.002	0.012	< .001	< .001	—			
6. M_ef	Pearson's r	0.070	-0.030	-0.069	-0.121	-0.068	—		
	p-value	0.069	0.434	0.073	0.002	0.078	—		
7. Shmin	Pearson's r	-0.149	-0.097	0.110	0.733	0.884	-0.105	—	
	p-value	< .001	0.012	0.004	< .001	< .001	0.006	—	
8. VolumeHF	Pearson's r	0.232	0.349	0.327	0.206	0.204	0.006	0.091	—
	p-value	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.876	0.018	—

Для последующего анализа были отобраны 5 переменных. Анализ показал наличие зависимостей точности тестовой закачки. Для 4 переменных эта зависимость наиболее ярко определяется по метрике  $Ef_A$ , что ожидаемо в связи с наименьшим количеством выбросов полученной метрики. На рис. 3 показаны полученные тренды. Далее каждый из трендов рассмотрен подробнее.

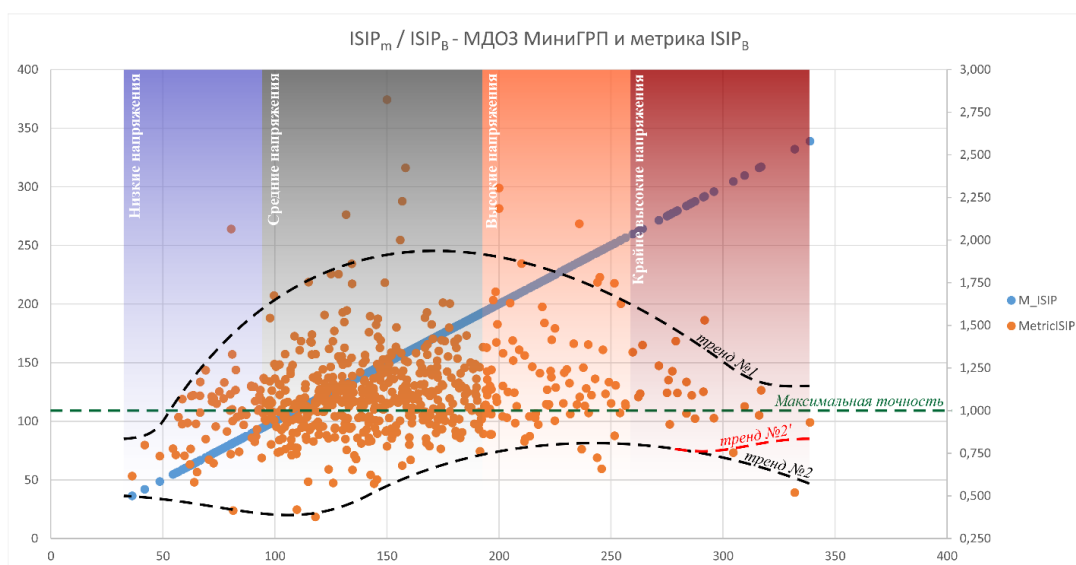


**Рис. 3. Тренды по метрике  $E_{f_A}$**

Эффективная мощность пласта (Рис. 3.а) показывает нелинейный, но монотонно направленный тренд на увеличение точности с увеличением мощности пласта. На граничном значении 7 м отмечается резкий переход к более точному анализу, что в целом соответствует ожидаемому формированию «стандартной» трещины ГРП в пласте, ограниченном перемычками [15]. Объем тестовой закачки (Рис. 3.б) характеризуется почти линейным трендом увеличения точности при увеличении объема. Важный вывод по данному тренду заключается в том, что процесс продолжающегося насыщения пласта во время проведения тестовой закачки приводит к значительному искажению результатов анализа в сравнении с тестовой закачкой, проведенной на достаточно насыщенном пласте [16]. Объем ГРП (Рис. 3.в) показывает нелинейный тренд. Наименее предсказуемые процессы – малообъемные ГРП менее  $65 \text{ м}^3$ . После точки  $65 \text{ м}^3$  отмечается перелом тренда в сторону значительного увеличения точности, что может быть связано в том числе с насыщением пласта [17]. Эффективность жидкости тестовой закачки (Рис. 3.г) отмечалась значением p-value 0,069, что при строгом подходе к анализу должно было исключить данный параметр, но близкое к 0,05 значение указывает на вероятность наличия

слабой связи [18]. В действительности, по данным можно отметить тренд №1 по наибольшему скоплению точек и тренд №2 по всем точкам, исключая выбросы. [19]

Отдельно на рис. 4 показаны тренды, связанные с МДОЗ тестовой закачки. Для данного параметра была выбрана другая метрика -  $ISIP_B$ , т.к. тренды отличались для случаев завышения и занижения параметра (тренд №1 и тренд №2 на рис. 4). Условно, тренды делят поведение точности в зависимости от МДОЗ на 4 группы. Группа №1 – «Низкие напряжения» при МДОЗ ниже 90 атм характеризуется увеличением точности при снижении МДОЗ, а также занижению прогнозных значений при сниженных напряжениях [20]. Группа №2 – «Средние напряжения», наиболее трудно предсказуемая группа, при этом в диапазоне МДОЗ 90-180 атм. более высокое значение связано с большей вероятностью завышения прогнозного значения [21]. Группа №3 – «Высокие напряжения» характеризуется переломом тренда и после 180 атм. дальнейшее увеличение МДОЗ приводило к увеличению точности по верхней границе и относительно неизменной точности по нижней границе. Группа №4 – «Крайне высокие напряжения» характеризуется продолжением тренда уточнения верхней границы, но при этом нижняя граница показывает ухудшение точности [22]. В группу №4 входит относительно мало скважин и выводы по ней необходимо делать с осторожностью [23].



**Рис. 4. Влияние МДОЗ тестовой закачки на точность анализа**

По данной выборке был также проведен категориальный анализ, по которому не было выявлено значимых зависимостей. Большая часть категориальных переменных была распределена неравномерно по выборке, что исключало их из анализа. В других случаях, выявленное влияние не превышало 2-3%, что не позволяло сформулировать значимые выводы и также приводило к исключению параметра из анализа.

### **Выводы и рекомендации**

1. В условиях повышения рисков, связанных с подбором скважин-кандидатов на поздней стадии разработки, точность планирования параметров ГРП становится более критичной и требует комплексного подхода, для обеспечения которого впервые проведена оценка и предложена классификация неопределенностей, возникающих при проведении и анализе тестовых закачек перед ГРП;

2. Факторы, снижающие информативность тестовой закачки, необходимо по возможности исключать. Такие факторы, как некорректное планирование, некорректное техническое проведение тестовой закачки, показания приборов, время записи и полнота каналов данных, корректная настройка и верификация, а также предварительные замеры данных могут

быть полностью исключены при условии проведения соответствующих мероприятий;

3. При анализе тестовых закачек, проведенных на маломощных пластах менее 7 м необходимо учитывать сниженную информативность полученных параметров, связанную с риском несоответствия пластов, охваченных тестовой и основной закачкой ГРП;

4. Тестовая закачка, проведенная на насыщенном жидкостью пласте, показывает более точные данные при анализе, в сравнении с малообъемной тестовой закачкой, а особенно в сравнении с анализом по стадии замещения;

5. Малообъемные ГРП менее предсказуемы по анализу тестовой закачки, при этом в диапазоне 20-60 м<sup>3</sup> увеличение объема приводит к незначительному снижению информативности;

6. Тестовые закачки, интерпретированные с более высокой эффективностью жидкости с большей вероятностью оказываются высокоточными, чем при низкой эффективности.

7. Напряжения оказывают достаточно сложное влияние на точность анализа, при этом необходимо учитывать неопределенность средних напряжений, риск снижения МДОЗ при низких напряжениях и в целом тренд на повышение точности в условиях высоких напряжений.

8. Одним из направлений дальнейшего повышения точности анализа является разработка новых методов анализа, имеющих менее строгие допущения и связанные с ними искажения при анализе.

#### Список литературы

1. OGCI/PetroSkills Hydraulic Fracturing Applications, Alfred R. Jennings, Jr. PE Enhanced Well Stimulation, Inc. 2003. - 168 с.
2. Мартюшев И.Г., Внедрение единой системы контроля и управления производством ГРП на этапах планирование-добыча, как фактор повышения качества разработки месторождений, Мартюшев И.Г., Ситдииков М.Р., Шарифуллин А.Р., Кашапов Д.В. Нефть. Газ. Новации. 2022. № 8 (261). С. 83-87.
3. Вотчель В.А., График закачки проппанта, исходя из эффективности жидкости по анализу падения давления, Вотчель В.А., Наука, образование и культура. 2020. №6 (50). С. 22-26.

4. Юсифов Т.Ю., Необходимость нового подхода при проведении геолого-технических мероприятий на завершающей стадии разработки месторождений Юсифов Т.Ю., Фаттахов И.Г., Маркова Р.Г., В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле - 2014. Сборник трудов международной научно-технической конференции. 2014. С. 234-238.
5. Салихов Р.Р., Анализ рассчитанного пластового давления при замещении и мини грп как альтернатива гидродинамическому исследованию КВД, Салихов Р.Р., Фархутдинов Р.Р., Вестник науки и образования. 2020. № 9-3 (87). С. 6-8.
6. Фаттахов И.Г., Применение современной технологии гидравлического разрыва пласта в залежах с подошвенной водой, Фаттахов И.Г., Юсифов Т.Ю., Байбулатова З.Х., Юсифова М.Ю.Г., Акимов А.В., Калинина С.В., Научное обозрение. 2016. № 17. С. 204-208.
7. Mark D. Zoback, Reservoir Geomechanics, Cambridge University Press (2007) ISBN 978-0-521-77069-9, 2007 - 449 с
8. Юсифов Т.Ю., Влияние фронта нагнетаемых вод на эффективность гидроразрыва пласта, Юсифов Т.Ю., Фаттахов И.Г., Юсифов Э.Ю., Каримова Н.Г., Петрова Л.В., Сафиуллина А.Р., Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 319.
9. Гирич Н.А., Геологическая обусловленность ГРП в продуктивных пластах верхнеюрского и нижнемелового комплексов тевлинско-русскинского нефтяного месторождения и его последующий анализ, Гирич Н.А., Бурдин А.В., В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. 2020. С. 65-66.
10. Фаттахов И.Г., Анализ результатов опытно-промысловых работ по интенсификации притока нефти из карбонатов с применением комплексного воздействия, Фаттахов И.Г., Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. Т. 25. № 4 (88). С. 67
11. Тарасенко К.Л., Использование результатов лабораторных исследований керн и расклинивающих агентов при супервайзинге работ ГРП на объектах АО «Томскгазпром», Тарасенко К.Л., Парначев С.В., Воронков А.А., Дубов Е.С., В книге: Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем (SPRS-2020). тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 50.
12. Юсифов Т.Ю., Гидроразрыв пласта и его эффективное применение, Юсифов Т.Ю., Попов В.Г., Фаттахов И.Г., Сафиуллина А.Р., Исмаилов Ф.С., Научное обозрение. 2015. № 8. С. 23-28.
13. Economides, M.J.; Nolte, K.G. Reservoir Stimulation, 3rd ed.; Wiley: New York, NY, USA, 2000; ISBN 978-0471491927
14. С.Г. Черный. Методы моделирования зарождения и распространения трещин / С.Г. Черный, В.Н. Лапин, Д.В. Есипов, Д.С. Куранаков; Ин-т вычислительных технологий СО РАН. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 312 с
15. Фаттахов И.Г., Диагностический анализ вопроса эффективности проведения гидравлического разрыва пласта, Фаттахов И.Г., Малышев П.М., Шакурова А.Ф., Шакурова Ал.Ф., Сафиуллина А.Р., Фундаментальные исследования. 2015. № 2-27. С. 6023-6029.
16. Газдиев А.И. исследование существующих особенностей реализации ГРП на объекте Уренгойского месторождения, Газдиев А.И., В сборнике: Парадигмальные установки естественных и гуманитарных наук: междисциплинарный аспект. Материалы XVI Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2021. С. 233-238.

17. Юсифов Т.Ю., Повторный гидроразрыв с уменьшением массы проппанта, Юсифов Т.Ю., Фаттахов И.Г., Юсифов Э.Ю., Грезина О.А., Хаертдинова Л.И., Научное обозрение. 2014. № 11-1. С. 139-142.
18. Юсифов Т.Ю., Влияние напряженного состояния пласта на формирование трещины гидравлического разрыва, Юсифов Т.Ю., Фаттахов И.Г., Зиятдинов А.М., Ахметшина Д.И., Сафиуллина А.Р., Научное обозрение. 2015. № 19. С. 97-102.
19. Фаттахов И.Г., Об эффективности применения технологии многостадийного гидроразрыва пласта, Фаттахов И.Г., Степанова Р.Р., Адонкин В.В., В сборнике: Материалы Всероссийской 41-й научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. в 2-х томах. Министерство образования и науки РФ; ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в Октябрьском. 2014. С. 6-9.
20. Фаттахов И.Г., Повышение эффективности гидроразрыва пласта при подаче в поток жидкого деструктора, Фаттахов И.Г., Гарифуллина З.А., Гизатуллин И.Р., В сборнике: Проблемы разработки нефтяных и газовых месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. 2020. С. 151-155.
21. Салимов В.Г., Проектирование гидравлического разрыва пласта в системе Майера, В.Г. Салимов, А.В. Насыбуллин, О.В. Салимов. – М.: ВНИИОЭНГ, 2008. - 156 с.
22. Насыбуллин А.В., Анализ результатов гидроразрыва по кривой спада давления, Насыбуллин А.В., Салимов В.Г., Салимов О.В. Известия ВУЗов. Нефть и газ. 2008. - № 3. - С.42-48.
23. Ибатуллин Р.Р. Гидравлический разрыв пластов с низким пластовым давлением, Р.Р. Ибатуллин, О.В. Салимов, В.Г. Салимов, А.В. Насыбуллин (ТатНИПИнефть), Нефтяное Хозяйство. 2011. - № 8. - С. – 108-110.

### References

1. OGCI/PetroSkills Hydraulic Fracturing Applications, Alfred R. Jennings, Jr. PE Enhanced Well Stimulation, Inc. 2003. 168 P. (in English)
2. Martyushev I.G., Sitdikov M.R., Sharifullin A.R., Kashapov D.V. Implementation of a unified control and management system for hydraulic fracturing at the planning-production stages as a factor to improve the quality of field development. Neft. Gas. Novatsii [Oil. Gas. Innovations]. 2022, No. 8 (261), pp. 83-87. (in Russian)
3. Votchel V.A. Grafik zakachki proppanta, iskhodya iz effektivnosti zhidkosti po analizu padeniya davleniya [Proppant injection schedule based on fluid efficiency according to pressure drawdown data]. Nauka, Obrazovanie i Kultura [Science, Education and Culture]. 2020, No. 6 (50), pp. 22-26. (in Russian)
4. Yusifov T.Yu., Fattakhov I.G., Markova R.G. Neobkhodimost novogo podkhoda pri provedenii geologo-tekhnicheskikh meropriyatiy na zavershayushchey stadii razrabotki mestorozhdeniy [New approach required to conduct production enhancement operations at the final stage of development]. Collected papers of International Research Conference, State-of-the-Art Technologies in Petroleum Engineering. 2014, pp. 234-238. (in Russian)
5. Salikhov R.R., Farkhutdinov R.R. Analiz rasschitannogo plastovogo davleniya pri zameshchenii i mini grp kak alternativa gidrodinamicheskomu issledovaniyu KVD [Analysis of estimated reservoir pressure during replacement and mini-frac as an alternative to pressure buildup curves]. Vestnik Nauki i Obrazovaniya [Journal of Science and Education]. 2020, No. 9-3 (87), pp. 6-8. (in Russian)
6. Fattakhov I.G., Yusifov T.Yu., Baibulatova Z.Kh., Yusifova M.G. Akimov A.V. Kalinina S.V. Primenenie sovremennoy tekhnologii gidravlichesкого razryva plasta v



- zalezkhakh s podoshvennoy vodoy [Application of state-of-the-art hydraulic fracturing technology in pools with bottom water]. Nauchnoye Obozreniye [Science Review]. 2016, No. 17, pp. 204-208. (in Russian)
7. Mark D. Zoback, Reservoir Geomechanics, Cambridge University Press (2007) ISBN 978-0-521-77069-9, 2007. 449 P. (in English)
  8. Yusifov T.Yu., Fattakhov I.G., Yusifov E.Yu., Karimova N.G., Petrova L.V., Safiullina A.R. Front impact on the efficiency of injection water fracturing. Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education]. 2015, No. 1-1, pp. 319. (in Russian)
  9. Girich N.A., Burdin A.V. Geologicheskaya obuslovlennost GRP v produktivnykh plastakh verkhneyurskogo i nizhnemelovogo kompleksov tevlinsko-russkinskogo neftyanogo mestorozhdeniya i ego posleduyushchiy analiz [Geological aspects affecting hydraulic fracturing in Upper Jurassic and Lower Cretaceous sequences of Tevlinsko-Russkinskoye oil field and post-frac analysis]. Proceedings of XXIV International Symposium in honor of Academician M.A. Usov Problems of Geology and Subsurface Development. 2020, pp. 65-66. (in Russian)
  10. Fattakhov I.G. Analysis of the results of pilot tests to intensify oil inflow from carbonates using integrated technology. Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2017, Vol. 25, No. 4 (88), p. 67. (in Russian)
  11. Tarasenko K.L., Parnachev S.V., Voronkov A.A., Dubov E.S., Ispolzovanie rezultatov laboratornykh issledovaniy kerna i rasklinivayushchikh agentov pri supervayzinge rabot GRP na obektakh AO Tomskgazprom [Applying the results of laboratory core and proppant studies during supervision of fracture treatments at Tomskgazprom's production sites]. Abstracts of International Scientific Research Conference Topical Research Aspects of Petroleum Reservoirs (SPRS-2020), Moscow, 2020, p.50. (in Russian)
  12. Yusifov T.Yu., Popov V.G., Fattakhov I.G., Safiullina A.R., Ismailov F.S. Gidrorazryv plasta i ego effektivnoe primeneniye [Hydraulic fracturing and its efficient use]. Nauchnoye Obozreniye [Science Review]. 2015, No. 8, pp. 23-28. (in Russian)
  13. Economides, M.J.; Nolte, K.G. Reservoir Stimulation, 3rd ed.; Wiley: New York, NY, USA, 2000; ISBN 978-0471491927 (in English)
  14. Cherny S.G., Lapin V.N., Esipov D.V., Kuranakov D.S. Metody modelirovaniya zarozhdeniya i rasprostraneniya treshchin [Modeling of fracture initiation and propagation]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2016. 312 P. (in Russian)
  15. Fattakhov I.G., Malyshev P.M., Shakurova A.F., Shakurova A.I., Safiullina A.R. Diagnostic analysis of the question of the effectiveness of hydraulic fracturing. Fundamentalnyye Issledovaniya [Fundamental Research]. 2015, No.2-27, pp. 6023-6029. (in Russian)
  16. Gazdiev A.I. Issledovanie sushchestvuyushchikh osobennostey realizatsii GRP na obekte Urengojnskogo mestorozhdeniya [Studying the existing peculiar aspects associated with implementation of hydraulic fracturing at Urengoiyskoye field]. Rostov-on-Don, 2021, pp. 233-238. (in Russian)
  17. Yusifov T.Yu., Fattakhov I.G., Yusifov E.Yu., Grezina O.A., Khaertdinova L.I. Repeated hydraulic fracturing with the decrease of proppant mass. Nauchnoye Obozreniye [Science Review]. 2014, No. 11-1, pp. 139-142. (in Russian)
  18. Yusifov T.Yu., Fattakhov I.G., Yusifov E.Yu., Akhmetshina D.I., Safiullina A.R. Effect of the stress state of reservoir on the formation of hydraulic fracture. Nauchnoye Obozreniye [Science Review]. 2015, No. 19, pp. 97-102. (in Russian)
  19. Fattakhov I.G., Stepanova R.R., Adonkin V.V. Ob effektivnosti primeneniya tekhnologii mnogostadijnogo gidrorazryva plasta [Efficient application of multistage fracturing



- technology]. Proceedings of the 41<sup>st</sup> All-Russian Conference for Young Scientists, Students and Post-Graduates. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Ufa State Petroleum Technical University, Oktyabrsky Branch, 2014, pp. 6-9. (in Russian)
20. Fattakhov I.G., Garifullina Z.A., Gizatullin I.R. Improving the efficiency of hydraulic fracturing when feeding a liquid destructor into the stream. Proceedings of All-Russian Conference Problems of Development of Oil and Gas Fields With Hard-to-Recover Reserves, 2020, pp. 151-155. (in Russian)
  21. Salimov V.G., Nasybullin A.V., Salimov O.V. Proektirovanie gidravlicheskogo razryva plasta v sisteme Majera [Fracturing design in Mayer system]. Moscow: VNIIOENG, 2008. 156 P. (in Russian)
  22. Nasybullin A.V., Salimov V.G., Salimov O.V. Hydrofrac results analysis by the pressure decline curve. Izvestiya VUZov. Neft i Gaz [Oil and Gas Studies], 2008, No. 3, pp.42-48. (in Russian)
  23. Ibatullin R.R., Salimov O.V., Salimov V.G., Nasybullin A.V. Hydrofracturing of low-pressure reservoirs. Neftyanoe Khozaistvo [Oil Industry]. 2011, No. 8, pp. 108-110. (in Russian)

### **Сведения об авторах**

*Кочетков Александр Викторович*, главный специалист, публичное акционерное общество «Татнефть», управление геолого-технических мероприятий  
Россия, 423462, Альметьевск, ул. Тельмана, 88  
E-mail: KochetkovAV@tatneft.ru

### **Authors**

*A.V. Kochetkov*, chief specialist, Public Joint Stock Company Tatneft, Geological and Engineering Activities Department  
88, Telmana st., Almetьевsk, 423462, Russian Federation  
E-mail: KochetkovAV@tatneft.ru

*Статья поступила в редакцию 09.06.2023*

*Принята к публикации 16.06.2023*

*Опубликована 30.06.2023*