



УДК 622.276.66.013

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

PROBABILISTIC ESTIMATION OF INDICATORS INFLUENCES ON EFFICIENCY OF THE WELL INTERVENTION TECHNIQUES

Галкин Владислав Игнатьевич

доктор геолого-минералогических наук,
профессор, заведующий кафедрой
геологии нефти и газа,
Пермский Национальный
Исследовательский Политехнический Университет
Vgalkin@pstu.ru

Колтырин Артур Николаевич

аспирант кафедры геологии нефти и газа,
ведущий инженер отдела проектирования
и мониторинга методов повышения
нефтеотдачи пластов месторождений,
ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»
Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»
«ПермНИПИнефть» в г. Перми
Artur.Koltyrin@pnn.lukoil.com

Аннотация. В работе исследованы показатели, влияющие на эффективность геолого-технических мероприятий (технология ГРП) на карбонатном объекте ВЗВ4 и терригенном объекте Тл-Бб. Установлено, что эффективность ГРП контролируется рядом геолого-технологических и технических параметров. С учетом данных параметров построены вероятностно-статистические модели раздельно по геолого-технологическим и техническим параметрам для прогнозирования эффективности технологии ГРП. Представление данных в вероятностном виде позволяет провести анализ параметров, приведя их к общей размерности, что упрощает их сопоставительный анализ. Линейные индивидуальные вероятностные модели позволили определить степень влияния каждого параметра на эффективность ГРП. Установлено влияние каждого показателя на эффективность ГРП, для объектов Тл-Бб и ВЗВ4.

Ключевые слова: геолого-техническое мероприятие, гидравлически разрыв пласта, статистика, терригенный объект, карбонатный объект, прирост дебита нефти, эффективность, характеристики, эффективность, характеристики пластов.

Galkin Vladislav Ignatievich

Doctor of Geology and Mineralogy,
Professor, Head of the Department
of Oil and Gas Geology,
Perm National Research
Polytechnic University
Vgalkin@pstu.ru

Koltyrin Artur Nikolaevich

Graduate Student of department
of Oil and Gas Geology,
Engineer of the Department of Enhanced Oil
Recovery Methods Design and Monitoring
of the fields,
LUKOIL-PERM LLC
of PermNIPIneft branch
of LUKOIL-Engineering LLC in Perm
Artur.Koltyrin@pnn.lukoil.com

Annotation. The influence of various factors influencing the efficiency of the well intervention techniques (proppant fracturing) on the carbonate object V3V4 and the terrigenous object TI-Bb is investigated. It is established that the efficiency of hydraulic fracturing is controlled by a number of geological-technological and technical parameters. Taking into account these parameters, statistical models are constructed separately for geological-technological and technical parameters for predicting the efficiency of hydraulic fracturing technology. The representation of data in a probabilistic form allows us to analyze the parameters, leading them to a general dimension, which simplifies their comparative analysis. Linear individual probabilistic models allowed to determine the degree of influence of each parameter on the efficiency of hydraulic fracturing. The effect of each indicator on the efficiency of hydraulic fracturing was established.

Keywords: stimulation, hydraulic fracturing, statistics, clastic reservoir, carbonate reservoir, oil rate increments, statistical characteristics, efficiency, reservoir parameters.

Введение

По состоянию на 01.01.2020 г. многие месторождения Пермского края находятся на завершающих стадиях разработки. В условиях высокой выработки запасов, обводнения скважин и снижения пластового давления, для поддержания добычи нефти требуется проведение геолого-технических мероприятий (ГТМ). В связи с возникшими проблемами плановый прирост дебита нефти от выполнения ГТМ необходимо обосновывать на новом уровне. Наиболее эффективным методом повышения нефтеотдачи является технология гидравлического разрыва пластов (ГРП). С помощью технологии ГРП достигаются высокие дебиты скважин путем значительного расширения зоны дренирования и приобщения к выработке запасов из удаленных и слабопроницаемых участков. Однако имеются проблемы, связанные с анализом геологической, технологической и технической информации при ГРП. Сложности



связаны с сопоставительным анализом показателей, имеющих разные размерности, что позволило бы выявить наиболее значимые параметры, влияющие на эффективность ГРП, и в дальнейшем ранжировать показатели по степени влияния на Q_n .

Вероятностно-статистический анализ показателей

Вероятностно-статистический анализ позволяет представить данные в вероятностном виде, что упрощает сопоставительный анализ. Так же линейные вероятностные модели позволяют определить степень влияния каждого параметра на эффективность ГРП. В данной работе проведен статистический анализ факторов, влияющих на эффективность пропантного ГРП на терригенном объекте Тл-Бб и карбонатном объекте ВЗВ4 нефтяного месторождения Пермского края.

Подобный статистический анализ проведен на карбонатных и терригенных объектах других месторождений Пермского края [1–3]. На терригенном объекте выполнено 36 операций ГРП со средним приростом дебита нефти 8,6 т/сут. На карбонатном объекте выполнено 40 операций со средним приростом дебита нефти 5,6 т/сут. Для определения параметров, влияющих на эффективность ГРП, построим вероятностно-статистические модели. В качестве зависимой переменной используется среднегодовой прирост дебита нефти, в качестве независимых переменных использованы геолого-технологические и технические показатели, представленные в таблице 1. В данной статье анализ геолого-технологических и технических моделей выполняется раздельно.

Таблица 1 – Показатели, используемые для оценки эффективности применения пропантного ГРП

Геолого-технологические	Технические
Расчлененность – $K_{расч}$, ед.	Расход смеси – $Q_{расч}$, м ³ /мин
Пьезопроводность – θ , см ² /с	Объем жидкости разрыва – $V_{жр}$, м ³
Продуктивность – $K_{прод}$, м ³ /сут/МПа	Масса пропанта – $M_{проп}$, т
Проницаемость ближней зоны пласта – $K_{прон}^{бли}$, мкм ²	Концентрация пропанта – $K_{проп}$, кг/м ³
Проницаемость удаленной зоны пласта – $K_{прон}^{удл}$, мкм ²	Давление в начале при ГРП – $P_{нач}$, атм
Пластовое давление до ГРП – $P_{пл}$, МПа	Давление среднее при ГРП – $P_{ср}$, атм
Нефтенасыщенная толщина – $h_{эф}$, м	Давление в конце ГРП – $P_{кон}$, атм
Скин эффект – S	Объем геля – $V_{геля}$, м ³
Данные гамма каротажа – GK, мкр/час	
Глубина отн – $H_{отн}$, м	
Глубина абс – $H_{абс}$, м	
Нак. добыча нефти – $Q_{нн}$, т	
Нак. добыча воды – $Q_{вн}$, т	

Для определения степени влияния геолого-технологических и технических показателей на эффективность ГРП построим индивидуальные статистические модели прогноза значений прироста из условий:

- при $Q_n > 8$ т/сут – высокая эффективность ГРП (класс-1);
- при $Q_n < 8$ т/сут – низкая эффективность ГРП (класс-2).

Методика построения индивидуальных вероятностно-статистических моделей приведена в работах [4–5]. Кратко опишем методику построения индивидуальных вероятностных моделей.

Пусть имеется выборка, которая описана с помощью вышеприведенных характеристик. Относительно этих скважин известно, что одни из них принадлежат к 1-ому классу, другие – ко 2-ому классу. Построением моделей решается задача отнесения объектов к одному из классов по совокупности (набору) показателей, характеризующих скважины, в данном случае к классу скважин, где $Q_n > 8$ т/сут. На первом этапе построения индивидуальной вероятностной модели для классов 1 и 2 строятся гистограммы по показателям, например – $K_{расч}$, которая имеет размерность – ед, $Q_{расч}$, м³/мин. Другие показатели также имеют различные размерности. Поэтому для приведения используемых показателей в единую систему был использован вероятностный подход. Для всех показателей определялись оптимальные величины интервалов варьирования. Затем в каждом интервале определяются вероятности принадлежности к классу скважин, где $Q_n > 8$ т/сут (класс-1). Далее интервальные вероятности принадлежности к 1 классу сопоставляются со средними интервальными значениями показателя. По этим



данным высчитывается парный коэффициент корреляции γ и строится уравнение регрессии. При построении моделей выполняется их корректировка, из условия, что среднее значение для 1 класса должно быть больше 0,5, а для 2 – меньше 0,5. Уравнения регрессии по изучаемым показателям приведены в табл.2. Некоторые примеры графического описания этих зависимостей приведены на рисунках 1, 2, 3, 4, 5.

Таблица 2 – Индивидуальные модели для прогноза отнесения скважин к первому классу для объектов ВЗВ4 и Тл-Б6

Объекты разработки	Уравнение регрессии для вычисления вероятности принадлежности к 1 классу по показателям	Область применения модели	Диапазон изменения вероятности
1	2	3	4
Геолого-технологические			
Терригенный объект Тл-Б6	$P(K_{расч}) = 0,671 - 0,0934 * K_{расч}$	1–6, ед	0,110–0,577
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(K_{расч}) = 0,557 - 0,0329 * K_{расч}$	1–3, ед	0,458–0,524
Терригенный объект Тл-Б6	$P(K_{прод}) = 0,469 + 0,00891 * K_{прод}$	0,11–24,7 м³/сут·МПа	0,470–0,689
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(K_{прод}) = 0,491 + 0,0054 * K_{прод}$	0,21–5,68 м³/сут·МПа	0,492–0,521
Терригенный объект Тл-Б6	$P(K_{прон}^{узн}) = 0,631 - 1,644 * K_{прон}^{узн}$	0,0023–0,319, мкм²	0,105–0,627
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(K_{прон}^{узн}) = 0,505 - 0,1763 * K_{прон}^{узн}$	0,002–0,125 мкм²	0,482–0,504
Терригенный объект Тл-Б6	$P(h_{эф}) = 0,550 - 0,021 * h_{эф}$	1,0–5,0 м	0,445–0,529
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(h_{эф}) = 0,751 - 0,057 * h_{эф}$	3,0–6,5 м	0,380–0,580
Терригенный объект Тл-Б6	$P(GK) = 0,675 - 0,0633 * GK$	1,0–6,6 мкр/час	0,257–0,610
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(GK) = 0,667 - 0,0775 * GK$	1,4–4,0 мкр/час	0,357–0,558
Терригенный объект Тл-Б6	$P(H_{абс}) = 3,531 - 0,0025 * H_{абс}$	1104–1232 м	0,408–0,730
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(H_{абс}) = -4,063 + 0,00528 * H_{абс}$	848–876 м	0,414–0,562
Терригенный объект Тл-Б6	$P(Q_{вн}) = 0,662 - 0,000009 * Q_{вн}$	2084,5–64746,2 т	0,096–0,643
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(Q_{вн}) = 0,468 + 0,000003 * Q_{вн}$	90,0–46507,8 т	0,468–0,649
Терригенный объект Тл-Б6	$P(\theta) = 0,519 - 0,0000282 * \theta$	19–6889 см²*с	0,326–0,520
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(\theta) = 0,376 + 0,00067 * \theta$	14–772 см²*с	0,385–0,893
Терригенный объект Тл-Б6	$P(K_{прон}^{бзн}) = 0,629 - 1,138 * K_{прон}^{бзн}$	0,0019–0,54 мкм²	0,014–0,628
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(K_{прон}^{бзн}) = 0,426 + 0,4299 * K_{прон}^{бзн}$	0,0024–1,32 мкм²	0,427–0,993
Терригенный объект Тл-Б6	$P(P_{пл}) = 0,001 + 0,0551 * P_{пл}$	2,1–14,5 МПа	0,115–0,797
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(P_{пл}) = 0,124 + 0,05133 * P_{пл}$	3,4–11,3 МПа	0,301–0,701
Терригенный объект Тл-Б6	$P(S) = 0,536 - 0,0117 * S$	–4,3–18,2	0,325–0,587
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(S) = 0,447 - 0,0134 * S$	–6,6–1,6	0,425–0,535
Терригенный объект Тл-Б6	$P(H_{отн}) = -0,290 + 0,00053 * H_{отн}$	1388–1644 м	0,445–0,580
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(H_{отн}) = 0,225 + 0,00024 * H_{отн}$	1030–1288 м	0,474–0,534
Терригенный объект Тл-Б6	$P(Q_{нн}) = 0,469 + 0,00000081 * Q_{нн}$	9284,4–130060,2т	0,477–0,574
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(Q_{нн}) = 0,411 + 0,00000474 * Q_{нн}$	939,4–59862,2 т	0,415–0,695
Технические показатели			
Терригенный объект Тл-Б6	$P(Q_{расх}) = 1,677 - 0,3313 * Q_{расх}$	2,6–4,2 м³/мин	0,285–0,815
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(Q_{расх}) = -0,192 + 0,18094 * Q_{расх}$	3,5–4,4 м³/мин	0,441–0,604
Терригенный объект Тл-Б6	$P(M_{прон}) = 0,521 - 0,0011 * M_{прон}$	9,0–30,5 т	0,487–0,511
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(M_{прон}) = 0,343 + 0,00578 * M_{прон}$	19,7–36,5 т	0,456–0,553
Терригенный объект Тл-Б6	$P(P_{нач}) = 1,009 - 0,0014 * P_{нач}$	220–700 атм	0,029–0,701



Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(P_{нач}) = 0,432 + 0,00031 * P_{нач}$	140–340атм	0,475–0,537
Терригенный объект Тл-Бб	$P(P_{кон}) = 0,339 + 0,00044 * P_{кон}$	235–698 атм	0,441–0,642
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(P_{нач}) = 0,108 + 0,00135 * P_{нач}$	180–650атм	0,351–0,985
Терригенный объект Тл-Бб	$P(V_{жр}) = 0,327 + 0,0059 * V_{жр}$	12–70 м³	0,397–0,740
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(V_{жр}) = 0,519 - 0,0005 * V_{жр}$	12,5–70 м³	0,484–0,512
Терригенный объект Тл-Бб	$P(K_{прон}) = -0,019 + 0,00061 * K_{прон}$	600–1000 кг/м³	0,352–0,591
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(K_{прон}) = 0,026 + 0,00056 * K_{прон}$	270–1100 кг/м³	0,345–0,642
Терригенный объект Тл-Бб	$P(P_{ср}) = 1,446 - 0,0029 * P_{ср}$	220–450 атм	0,141–0,808
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(P_{ср}) = 0,313 + 0,00083 * P_{ср}$	140–300атм	0,429–0,532
Терригенный объект Тл-Бб	$P(V_{геля}) = 0,586 - 0,0007 * V_{геля}$	56,0–173,6 м³	0,464–0,546
Карбонатный объект ВЗВ4	$P(V_{геля}) = 0,554 - 0,0004 * V_{геля}$	66,9–199,5 м³	0,474–0,527

Анализ геолого-технологических показателей

Анализ построенных моделей по геолого-техническим показателям показывает, что выделяются три группы моделей. Первая группа – когда зависимости между показателями и вероятностями имеют обратный вид. Такие модели получены по GK, S, hэф, Kрасч (рис. 1).

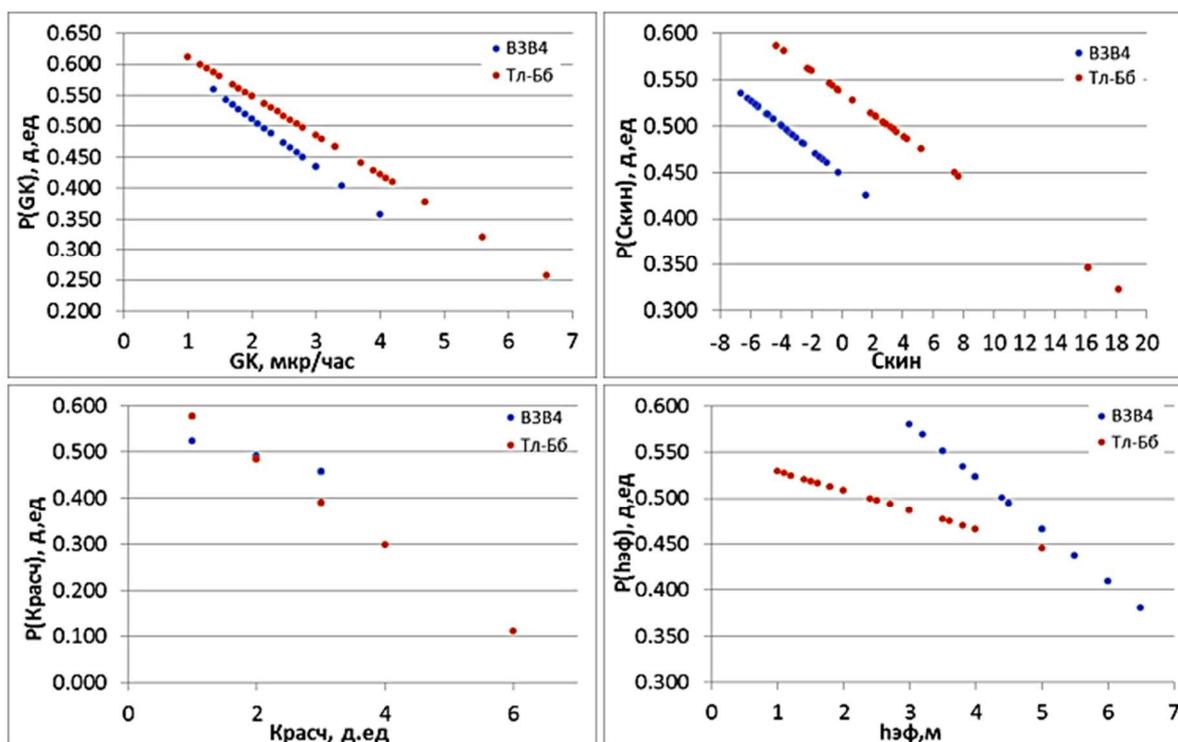


Рисунок 1 – Первая группа геолого-технологических показателей

Анализ данных моделей показывает, что по объектам Тл-Бб и ВЗВ4 они имеют одинаковый вид. Достаточно близкие по виду уравнения получены по GK, характеризующему глинистость коллектора. Глинистость пластов уменьшает эффективность проведения ГРП. По остальным 3 показателям также увеличение значений приводит к уменьшению эффективности ГРП. Наибольшее различие во влиянии значений показателей наблюдается по hэф (табл. 2). Вероятности для объекта Тл-Бб изменяются в диапазоне 0,445 – 0,529, для ВЗВ4 0,380– 0,580.

Вторая группа – когда зависимости между показателями и вероятностями имеют прямой вид (рис. 2). Такие модели получены по показателям – Pпл, Kпрод, Qнн, Нотн.

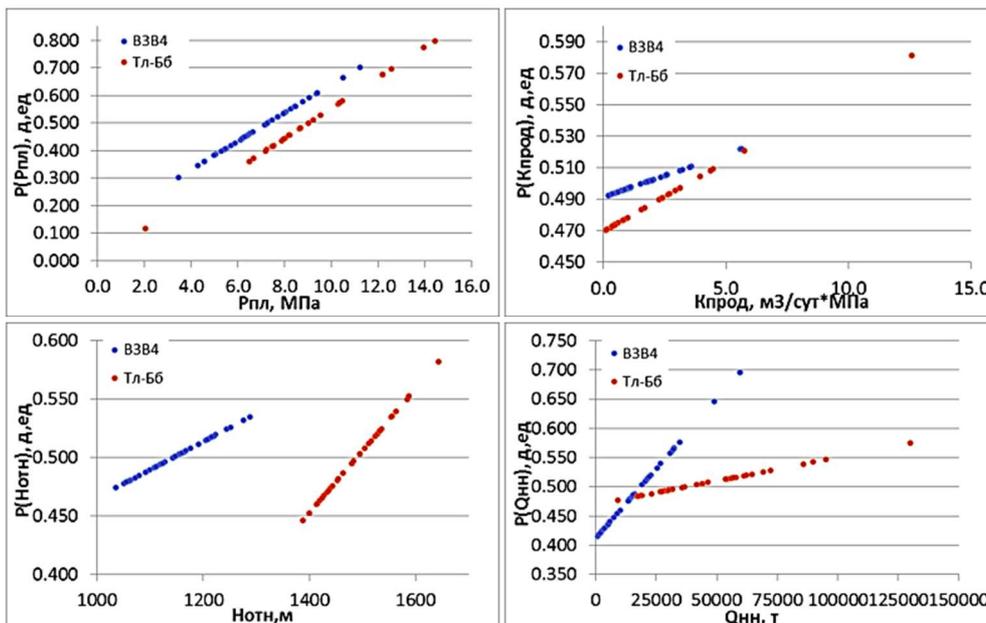


Рисунок 2 – Вторая группа геолого-технологических показателей

Анализ данных моделей показывает, что они имеют одинаковый вид по объектам Тл-Бб и ВЗВ4. Отметим, что достаточно близкие по виду уравнения получены по $R_{пл}$. Это показывает, что как для Тл-Бб, так и для ВЗВ4 при повышении пластового давления эффективность проведения ГРП повышается. Здесь также отметим, что значения накопленной добычи нефти ($Q_{нн}$) наиболее дифференцированно влияют на эффективность ГРП для объекта ВЗВ4, по сравнению с объектом Тл-Бб.

Третья группа – в случае, когда зависимости по объекту ВЗВ4 имеют прямой вид, а по объекту Тл-Бб обратный вид (рис. 3).

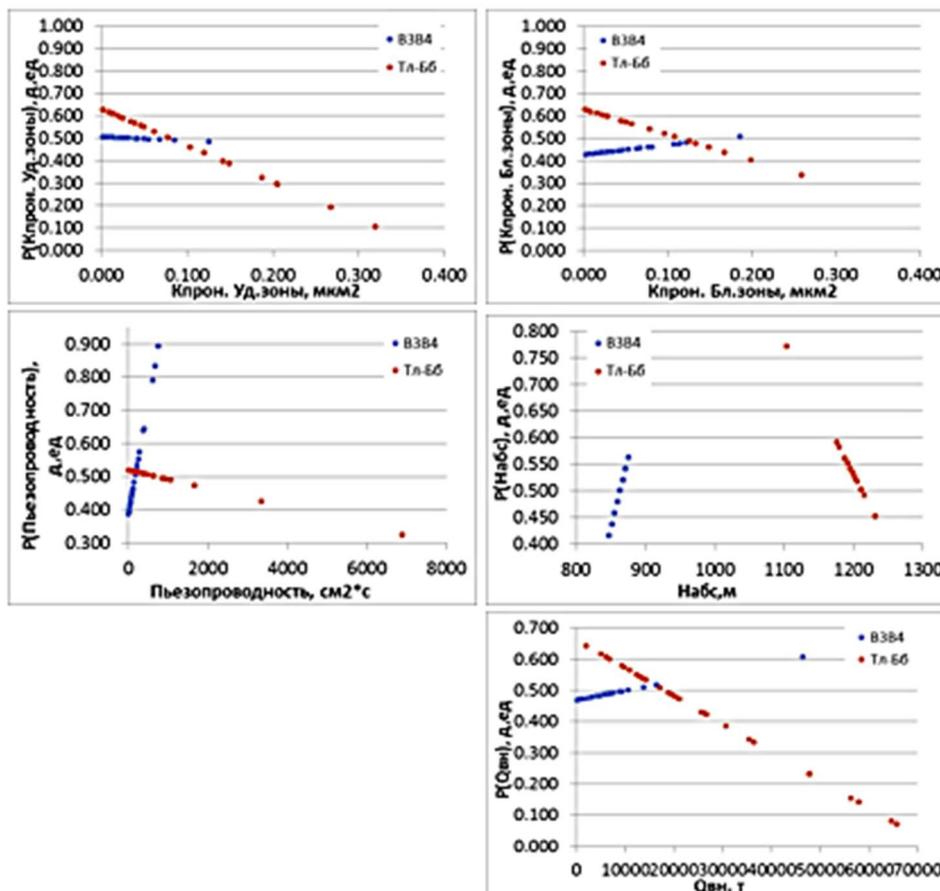


Рисунок 3 – Вторая группа геолого-технологических показателей



Анализ построенных моделей показывает, что эффективность ГРП на объекте ВЗВ4 слабо зависит от $K_{\text{прон}}^{\text{УЗП}}$ и $K_{\text{прон}}^{\text{бл}}$. Для объекта Тл-Бб влияние достаточно существенно. Также отметим сильное отрицательное влияние значений $Q_{\text{вн}}$ на эффективность ГРП.

Анализ технических параметров ГРП

Анализ построенных моделей по техническим показателям показывает, что также выделяются три группы моделей. К первой группе относятся модели, построенные только по $V_{\text{геля}}$ (рис. 4). Влияние значений по $V_{\text{геля}}$ для пласта Тл-Бб больше, чем для пласта ВЗВ4. Ко второй группе относятся показатели от $K_{\text{прон}}$ и $R_{\text{кон}}$ (рис. 4).

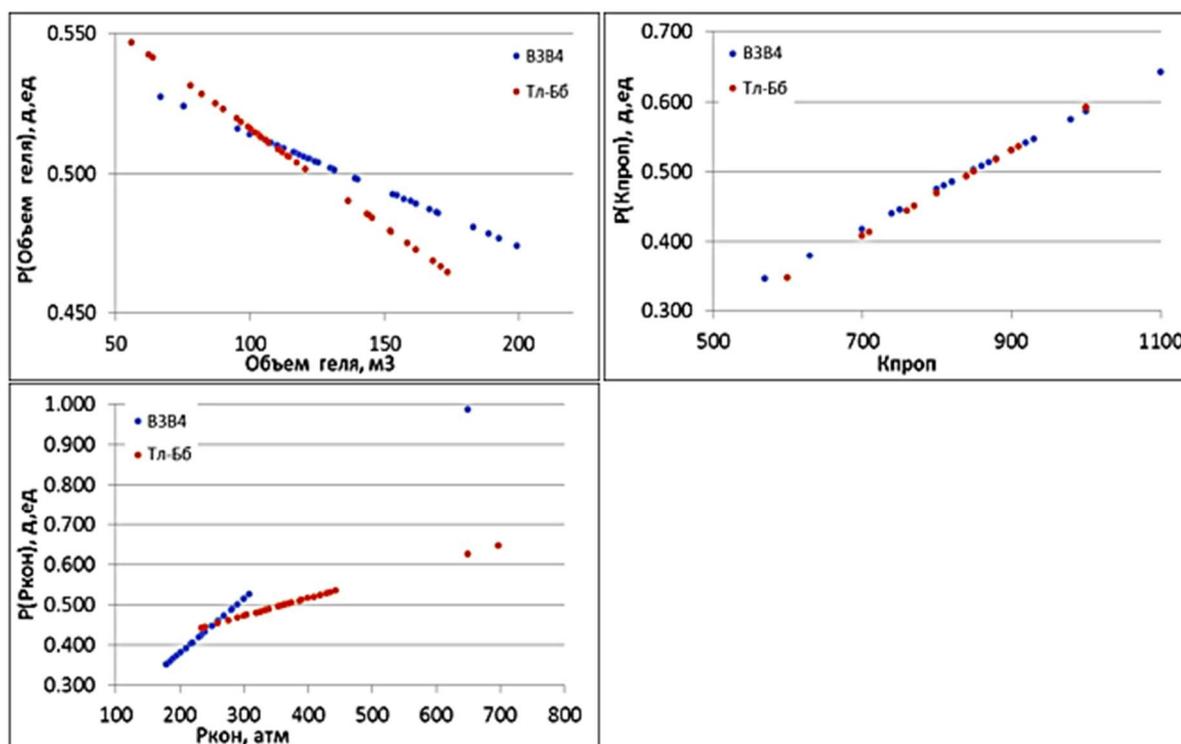


Рисунок 4 – Первая и вторая группы технических показателей

Для второй группы построенные модели по $K_{\text{прон}}$ имеют практически одинаковый вид для изучаемых объектов. Влияние значений $K_{\text{кон}}$ на эффективность ГРП значительно выше для объекта ВЗВ4 по сравнению с объектом Тл-Бб. Зависимости вероятностей от показателей для третьей группы приведены на рисунке 5. Значения вероятностей по $M_{\text{прон}}$, $V_{\text{жр}}$ изменяются в узком диапазоне. Это показывает, что значительного влияния на эффективность ГРП они не оказывают. Модели, построенные по $Q_{\text{расх}}$, $R_{\text{нач}}$, $R_{\text{ср}}$, показывают, что показатели оказывают наиболее значительное влияние на эффективность ГРП.

Для совместного использования индивидуальных вероятностей по геолого-технологическим и техническим показателям вычислим обобщенную вероятность:

$$P_{\text{комп}} = \frac{\prod P_{\text{уки}}}{\prod P_{\text{уки}} + \prod (1 - P_{\text{уки}})},$$

где $P_{\text{уки}}$ – соответственно вероятности: $P(K_{\text{расч}})$, $P(\theta)$, $P(K_{\text{прод}})$, $P(K_{\text{прон}}^{\text{бл}})$, $P(K_{\text{прон}}^{\text{УЗП}})$, $P(P_{\text{пл}})$, $P(h_{\text{эф}})$, $P(S)$, $P(GK)$, $P(H_{\text{отн}})$, $P(H_{\text{абс}})$, $P(Q_{\text{вн}})$, $P(Q_{\text{нн}})$, $P(Q_{\text{расх}})$, $P(V_{\text{жр}})$, $P(M_{\text{прон}})$, $P(K_{\text{прон}})$, $P(R_{\text{нач}})$, $P(R_{\text{ср}})$, $P(R_{\text{конч}})$, $P(V_{\text{геля}})$.

При вычислении $P_{\text{комп}}$ используется такое сочетание вероятностей, при котором средние значения вероятностей $P_{\text{комп}}$ наиболее сильно отличаются в изучаемых классах при равном значении m . Сочетания вероятностей приведены в таблица 3.

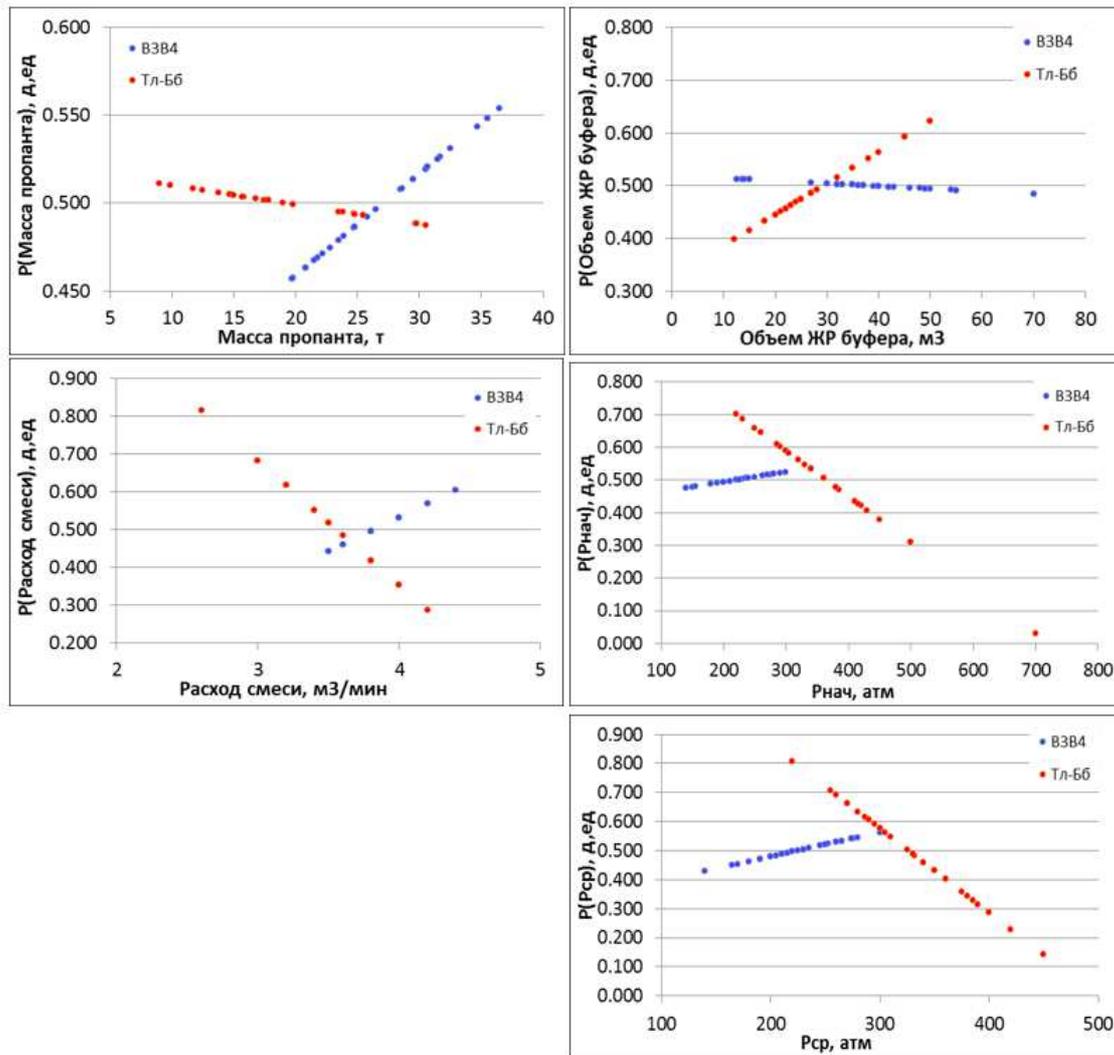


Рисунок 5 – Вторая группа технических показателей

Таблица 3 – Сочетание вероятностей, вычисленных по геолого-технологическим показателям

Терригенный объект Тл-Б6												
Показатели	Сочетание вероятностей – P _{комп}											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P(Q _{нн})												+
P(h _{эфф})											+	+
P(H _{отн})										+	+	+
Пьезопр									+	+	+	+
P(H _{абс})								+	+	+	+	+
P(K _{прод})							+	+	+	+	+	+
P(S)							+	+	+	+	+	+
P(GK)					+	+	+	+	+	+	+	+
P(K _{расч})				+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(P _{пл})			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(K _{пр узп})		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(K _{пр бэл})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+



Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P(Q _{вн})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сред. знач.												
Q _н M > 8,0 т/сут	0,612	0,642	0,653	0,676	0,682	0,685	0,679	0,688	0,691	0,692	0,690	0,690
Q _н M < 8,0 т/сут	0,438	0,403	0,373	0,349	0,352	0,336	0,334	0,329	0,325	0,328	0,328	0,325
t ₁₋₂	2,683	3,447	3,382	4,543	4,186	4,326	4,185	4,563	4,580	4,427	4,427	4,471
ρ ₁₋₂	0,011	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Карбонатный объект ВЗВ4												
P(K _{пр узп})												+
P(K _{прод})											+	+
P(H _{отн})										+	+	+
P(K _{расч})									+	+	+	+
Пьезопр								+	+	+	+	+
P(S)							+	+	+	+	+	+
P(H _{абс})						+	+	+	+	+	+	+
P(GK)					+	+	+	+	+	+	+	+
P(h _{эфф})				+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(Q _{нн})			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(P _{пл})		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(K _{пр бэл})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
P(Q _{вн})	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сред. знач.												
Q _н M > 8,0 т/с	0,514	0,517	0,534	0,546	0,554	0,563	0,565	0,590	0,597	0,599	0,599	0,601
Q _н M < 8,0 т/с	0,432	0,407	0,398	0,391	0,386	0,381	0,382	0,369	0,336	0,369	0,369	0,370
t ₁₋₂	2,216	2,159	2,231	2,578	2,743	2,951	2,846	2,815	2,895	2,917	2,903	2,920
ρ ₁₋₂	0,033	0,037	0,032	0,014	0,009	0,005	0,007	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006

Аналогичные расчеты выполнены по техническим показателям (табл. 4).

Таблица 4 – Сочетание вероятностей, вычисленных по техническим показателям

Терригенный объект Тл-Бб							
Показатели	Сочетание вероятностей – P _{комп}						
	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
P(M _{проп})							+
P(V _{геля})						+	+
P(P _{кон})					+	+	+
P(K _{проп})				+	+	+	+
P(V _{жр})			+	+	+	+	+
P(Q _{рс})		+	+	+	+	+	+
P(P _{нач})	+	+	+	+	+	+	+
P(P _{ср})	+	+	+	+	+	+	+
Q _н M > 8,0 т/сут	0,569	0,572	0,582	0,579	0,589	0,591	0,591



Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
$Q_n M < 8,0$ т/сут	0,425	0,398	0,396	0,396	0,396	0,392	0,391
t_{1-2}	1,986	2,204	2,755	2,015	2,239	2,272	2,287
ρ_{1-2}	0,055	0,034	0,029	0,052	0,032	0,030	0,029
Карбонатный объект ВЗВ4							
$P(V_{жр})$							+
$P(V_{геля})$						+	+
$P(P_{нач})$					+	+	+
$P(P_{ср})$				+	+	+	+
$P(M_{проп})$			+	+	+	+	+
$P(Q_{рас})$		+	+	+	+	+	+
$P(K_{проп})$	+	+	+	+	+	+	+
$P(P_{кон})$	+	+	+	+	+	+	+
$Q_n M > 8,0$ т/с	0,536	0,542	0,545	0,548	0,549	0,552	0,551
$Q_n M < 8,0$ т/с	0,418	0,416	0,414	0,413	0,414	0,415	0,415
t_{1-2}	2,753	2,809	2,873	2,663	2,525	2,637	2,607

В таблице 4 показано, что по объекту Тл-Бб при $m = 2$ использовались вероятности $P(P_{ср})$ и $P(P_{нач})$. При $m = 3$ данные условия дополняются $P(Q_{рас})$, далее последовательно все остальные вероятности и на завершающем шаге при $m = 8 - P(M_{проп})$. По карбонатному объекту ВЗВ4 при $m = 2$ использовались вероятности $P(K_{проп})$ и $P(P_{кон})$. Аналогично с объектом Тл-Бб при $m = 3$ условия дополняются $P(Q_{рас})$, и на завершающем шаге $m = 8 - P(V_{жр})$.

По объекту Тл-Бб сравнение изменений значений $P_{комп}$, вычисленных по геолого-технологическим и техническим показателям, показывает, что для скважин с дебитом нефти $Q_n > 8$ т/сутки, значения $P_{комп}$ от m , вычисленные по геолого-технологическим показателям, располагаются значительно выше значений $P_{комп}$ от m , вычисленных по техническим показателям. Для скважин с $Q_n < 8$ т/сутки наблюдается обратная ситуация распределения значений $P_{комп}$ от m , вычисленных по геолого-технологическим показателям и техническим показателям, но разница в их распределении значительно ниже, чем в первом случае. Это показывает, что для объекта Тл-Бб при выборе кандидатов необходимо значительное внимание обращать именно на геолого-технологические характеристики скважин. По объекту ВЗВ4 изменение различий в распределении значений $P_{комп}$ значительно ниже, при этом и различие в распределении значений имеет меньший размах значений $P_{комп}$, вычисленных по геолого-технологическим и техническим показателям. Полученные данные свидетельствуют о том, что геолого-технологические условия проведения ГРП более значительно влияют на эффективность ГРП, чем сама технология проведения, что более явно наблюдается по объекту Тл-Бб.

Таким образом, эффективность проведения ГРП в конкретных условиях, по отдельным скважинам носит избирательный характер, но с помощью построения и использования вероятностно-статистических моделей этот характер можно прогнозировать.

Выводы

- Представление данных в вероятностном виде позволяет провести анализ параметров, приведя их к общей размерности, что упростило их сопоставительный анализ;
- линейные индивидуальные вероятностные модели позволили определить степень влияния каждого параметра на эффективность ГРП;
- было установлено влияние показателей на эффективность ГРП; для пластов Тл-Бб и ВЗВ4 параметры оказывают влияние с разной степенью на терригенном и карбонатном объектах. На объектах наиболее значимыми параметрами явились $Q_{вн}$, $K_{прод}^{об}$. Наименее влиятельными оказались параметры на терригенном – $h_{эф}$, карбонатном – $K_{прод}$. Аналогичная ситуация касается технических параметров. Стоит отметить, что подбор скважин-кандидатов осуществляется в соответствии с геолого-технологическими параметрами скважин, технические параметры оцениваются только в результате выполнения ГРП. Таким образом, геолого-технологические параметры являются первостепенными при планировании ГРП.



• стандартные критерии для технологии ГРП принято учитывать при подборе скважин кандидатов для всех объектов. Проведя вероятностный анализ, можно отметить различную степень влияния параметров на объектах ВЗВ4 и Тл-Бб. Так же оказалось, что такие параметры как $N_{абс}$, θ , $K_{прое}^{бл}$, $Q_{вн}$ и $P_{ср}$, $P_{нач}$, $Q_{расх}$, имеют прямо противоположный характер влияния на эффективность ГРП. Например, увеличение значений параметров на терригенном объекте, что обеспечивает высокие приросты дебитов нефти приводит к снижению эффективности ГРП в карбонатных коллекторах.

Литература

1. Соснин Н.Е. Разработка статистических моделей для прогноза нефтегазоносности (на примере терригенных девонских отложений Северо-Татарского свода) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое дело. – 2012. – № 5. – С. 16–25.
2. Галкин В.И., Соснин Н.Е. Разработка геолого-математических моделей для прогноза нефтегазоносности сложностроенных структур в девонских терригенных отложениях // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 28–31.
3. Андрейко С.С. Разработка математической модели метода прогнозирования газодинамических явлений по геологическим данным для условий Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое дело. – 2016. – № 21. – С. 345–353.
4. Галкин В.И., Казанцев А.С., Колтырин А.Н. Вероятностно-статистическая оценка использования различных показателей для определения эффективности применения пропантного ГРП (на примере терригенного объекта Тл-Бб и карбонатного объекта ВЗВ4) // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 2. – С. 26–32.
5. Галкин В.И., Пономарева И.Н., Колтырин А.Н. Разработка вероятностно-статистических моделей для оценки эффективности применения пропантного гидравлического разрыва пласта (на примере объекта Тл-Бб Батырбайского месторождения) // Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического Университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – № 1. – С. 37–45.

References

1. Sosnin N.E. Development of statistical models for predicting oil-and-gas content (on the example of terrigenous devonian sediments of North Tatar arch) // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. – 2012. – № 5. – P. 16–25.
2. Galkin V.I., Sosnin N.E. Development of the geological and mathematical models for a forecast of the oil-and-gas bearing capacity of the complex structures in the Devonian terrigenous deposits // Oil economy. – 2013. – № 4. – P. 28–31.
3. Andreiko S.S. Development of mathematical model of gas-dynamic phenomena forecasting method according to geological data in conditions of Verkhnekamskoe potash salt deposit // Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. – 2016. – № 21. – P. 345–353. – DOI: 10.15593/224-9923/2016.21.6.
4. Galkin V.I., Kazantsev A.S., Koltyrin A.N. Probabilistic-statistical estimation of using of various indicators for determination of proppant hydraulic fracturing application efficiency (on the example of terrigenous TI-Bb object and carbonate object ВЗВ4) // Oilfield business. – 2018. – № 2. – P. 26–32.
5. Galkin V.I., Ponomareva I.N., Koltyrin A.N. Development of the probabilistic-statistical models for estimation of the proppant hydraulic fracturing application efficiency (on the example of TI-Bb object of Batyrbai field) // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil-gas and mining engineering. – 2018. – № 1. – P. 37–45.