

**МЕТОДИКА ВЫБОРА ОЧАГОВ ПОД ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ
РАЗРЫВ ПЛАСТА В КАРБОНАТНЫХ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВЫХ
КОЛЛЕКТОРАХ НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Октябрьский, Российская Федерация
Вафин Булат Рафисович, студент 2 курса магистратуры*

**METHOD FOR SELECTING TARGET ZONES FOR HYDRAULIC
FRACTURING IN CARBONATE FRACTURED-POROUS RESERVOIRS
AT THE LATE STAGE OF OIL FIELD DEVELOPMENT**

*Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky, Russian Federation
Vafin Bulat Rafisovich, 2nd-year master's student*

Аннотация: Статья посвящена разработке методики обоснованного выбора зон для проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП) в карбонатных коллекторах трещиновато-порового типа на поздней стадии разработки нефтяных месторождений. На примере турнейских отложений показано, что традиционные системы заводнения теряют эффективность из-за циркуляции воды по трещинам. Предложен комплекс геолого-технологических критериев, включающий оценку текущей нефтенасыщенности, плотности остаточных запасов, расчлененности, коэффициента охвата заводнением и коэффициента взаимодействия скважин. Разработан интегральный показатель перспективности J и пятиэтапный алгоритм выбора очагов ГРП. Апробация на пяти участках позволила выделить приоритетный объект с $J=0,85$. Показано, что учет коэффициента взаимодействия скважин является критическим для трещиноватых карбонатов.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, карбонатный коллектор, трещиновато-поровый тип, поздняя стадия разработки, выбор очагов ГРП, интегральный показатель, остаточные запасы, коэффициент взаимодействия скважин.

Abstract: The article is devoted to developing a method for the justified selection of zones for hydraulic fracturing in carbonate fractured-porous reservoirs at the late stage of oil field development. Using the Tournaisian deposits as an example, it is shown that traditional waterflooding systems lose efficiency

due to water circulation through fractures. A set of geological and technological criteria is proposed, including assessment of current oil saturation, residual reserves density, reservoir compartmentalization, sweep efficiency, and well interaction coefficient. An integral productivity index J and a five-stage algorithm for selecting hydraulic fracturing target zones have been developed. Testing on five sites made it possible to identify a priority target with $J = 0.85$. It is shown that taking into account the well interaction coefficient is critical for fractured carbonates.

Keywords: hydraulic fracturing, carbonate reservoir, fractured-porous type, late development stage, selection of hydraulic fracturing targets, integral index, residual reserves, well interaction coefficient.

На поздней стадии разработки нефтяных месторождений с карбонатными коллекторами, такими как турнейские отложения Туймазинского месторождения, традиционные системы заводнения характеризуются низкой эффективностью. Закачиваемая вода движется по высокопроницаемым трещинам и пропласткам, формируя «холостую» циркуляцию, в то время как значительные объемы остаточной нефти остаются в низкопроницаемой матрице [1, 2]. В этих условиях гидравлический разрыв пласта (ГРП) может стать эффективным методом подключения недренируемых зон, однако его успех на 90 % определяется правильностью выбора объекта воздействия [3].

Цель работы — разработка комплекса критериев и алгоритма выбора очагов под ГРП применительно к трещиновато-поровым карбонатным коллекторам.

Турнейские отложения представлены известняками и доломитами с эффективной нефтенасыщенной толщиной от 1,4 до 5,2 м, пористостью 12–13 %, проницаемостью матрицы 5–250 мД и трещинной проницаемостью до 500 мД. Расчлененность пласта достигает 11 пропластков. Обводненность продукции превышает 90 %. В основу работы положены данные по 45 нагнетательным и 112 добывающим скважинам за 2018–2024 гг.

Система критериев базируется на трех принципах: комплексность, количественная измеримость, ранжируемость. Группы критериев приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Комплекс критериев выбора очагов под ГРП

Группа	Критерий	Обозначение	Диапазон	Вес α
Геологические Технологические	Текущая нефтенасыщенность	K_n	0,35–0,65	0,25
	Эффективная нефтенасыщенная толщина	$h_{эф}$, м	1,5–8,0	0,20
	Коэффициент расчлененности	K_p , ед	3–12	0,15
	Плотность остаточных запасов	$q_{ост}$, тыс.т/га	5–25	0,20
	Коэффициент охвата заводнением	$K_{охв}$	0,30–0,70	0,25
	Коэффициент взаимодействия скважин	$K_{вз}$	0,2–0,9	0,30
	Обводненность реагирующих скважин	f_v	0,60–0,98	0,15
Фильтрационные	Коэффициент анизотропии	$K_{ан}$	0,1–0,8	0,20
	Густота трещин	$\delta_{тр}$, 1/м	0,5–5,0	0,25
	Коэффициент пьезопроводности	χ , м ² /с	0,5–5,0	0,30

Плотность остаточных запасов рассчитывается по формуле:

$$q_{ост} = h_{эф} \cdot m \cdot (K_n^{нач} - K_n^{тек}) \cdot \rho_0 \cdot \theta \cdot 10^{-3}$$

где:

$h_{эф}$ — эффективная нефтенасыщенная толщина, м;

m — коэффициент пористости, доли ед.;

$K_{\text{н}}^{\text{нач}}, K_{\text{н}}^{\text{тек}}$ — начальная и текущая нефтенасыщенность, доли ед.;

ρ_0 — плотность нефти в поверхностных условиях, т/м³;

θ — пересчетный коэффициент (усадка).

Коэффициент взаимодействия скважин $K_{\text{вз}}$ определяется как максимальное значение взаимной корреляционной функции между давлением на нагнетательной скважине $P_{\text{наг}}(t)$ и дебитом добывающей $Q_{\text{доб}}(t)$ с учетом временного сдвига τ :

$$K_{\text{вз}} = \max_{\tau} \left| \frac{\sum_{t=1}^{n-\tau} (P_{\text{наг}}(t) - \bar{P}_{\text{наг}})(Q_{\text{доб}}(t+\tau) - \bar{Q}_{\text{доб}})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-\tau} (P_{\text{наг}}(t) - \bar{P}_{\text{наг}})^2 \cdot \sum_{t=1}^{n-\tau} (Q_{\text{доб}}(t+\tau) - \bar{Q}_{\text{доб}})^2}} \right|$$

Интегральный показатель перспективности J рассчитывается как взвешенная сумма нормированных критериев. Для прямых критериев (положительное влияние):

$$J = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \frac{K_i - K_i^{\min}}{K_i^{\max} - K_i^{\min}}$$

Для обратных критериев (отрицательное влияние, например, расчлененность или обводненность):

$$J_i^{\text{обр}} = \alpha_i \cdot \frac{K_i^{\max} - K_i}{K_i^{\max} - K_i^{\min}}$$

Разработан пятиэтапный алгоритм выбора очагов под ГРП:

1. Формирование базы потенциальных участков ($K_{\text{н}} > 0,40$, $h_{\text{эф}} > 2$ м).
2. Оценка геологических критериев ($K_{\text{н}}$, $h_{\text{эф}}$, $K_{\text{р}}$, $q_{\text{ост}}$).
3. Оценка технологических критериев ($K_{\text{охв}}$, $K_{\text{вз}}$, $f_{\text{в}}$).
4. Оценка фильтрационных критериев ($K_{\text{ан}}$, $\delta_{\text{тр}}$, χ).
5. Расчет J и ранжирование.

Апробация на пяти участках турнейского объекта дала результаты, представленные в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты ранжирования потенциальных очагов

Параметр	Вес α	Уч.1	Уч.2	Уч.3	Уч.4	Уч.5
K_n , д.ед.	0,25	0,52	0,48	0,61	0,43	0,55
$h_{эф}$, м	0,20	4,8	3,2	6,5	2,8	5,1
K_p , ед	0,15	6,2	8,5	4,1	7,8	5,3
$K_{охв}$, д.ед.	0,25	0,58	0,42	0,71	0,38	0,62
$K_{вз}$, д.ед.	0,30	0,35	0,18	0,62	0,12	0,41
J	—	0,68	0,42	0,85	0,31	0,73
Ранг	—	2	4	1	5	3

Графическое представление на рисунке 1.

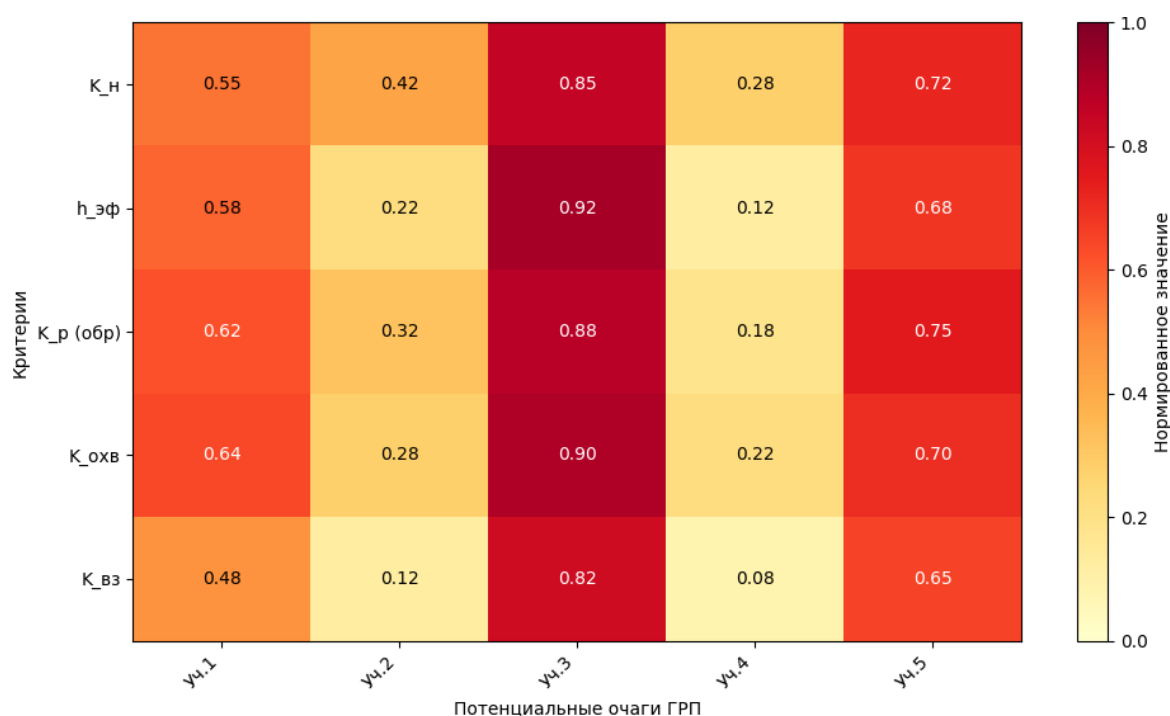


Рисунок 1 – Тепловая карта нормированных критериев

1. Разработан комплекс из 10 критериев для выбора очагов под ГРП в карбонатных трещиновато-поровых коллекторах.
2. Предложен интегральный показатель J , позволяющий ранжировать участки.

3. Апробация на турнейских отложениях выделила участок 3 ($J=0,85$) как приоритетный для проведения ГРП.

Список использованных источников

1. Хафизов, А.Р. Особенности разработки карбонатных коллекторов с трещиновато-поровым типом / А.Р. Хафизов, Ф.Г. Габдрахманов // Нефтяное хозяйство. — 2021. — № 8. — С. 42–47. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-8-42-47
2. Мищенко, И.Т. Технология и техника добычи нефти. Нефтеотдача пластов / И.Т. Мищенко. — М.: Нефть и газ, 2018. — 824 с.
3. Economides, M.J. Reservoir Stimulation / M.J. Economides, K.G. Nolte. — 3rd ed. — Wiley, 2000. — 856 p.
4. Weng, X. Modeling of hydraulic fracture network propagation in a naturally fractured formation / X. Weng, O. Kresse, C.E. Cohen // SPE Production & Operations. — 2011. — Vol. 26, No. 4. — P. 368–380. DOI: 10.2118/140253-PA
5. Саттаров, Д.Ф. Критерии выбора объектов для проведения МУН на поздней стадии / Д.Ф. Саттаров, Р.Н. Бахтиев // Вестник Казанского технологического университета. — 2020. — Т. 23, № 4. — С. 112–117.