

О применимости технологии управляемого радиального вскрытия пласта*Л.И. Гарипова¹, Д.Р. Хаярова¹, А.И. Гайфуллин², И.Р. Камалов¹*¹*Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», Альметьевск, Россия*²*«ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия*

В работе проведена оценка зависимости скин-фактора от различных параметров каналов при применении управляемого радиального вскрытия пласта с учетом известного опыта оптимизации технологических параметров обработки призабойной зоны скважин на основе динамики изменения параметров скин-фактора. В качестве переменных параметров были рассмотрены: длина каналов, диаметр каналов, исходный коэффициент проницаемости продуктивного пласта и расположение каналов относительно кровли пласта. По результатам гидродинамического моделирования отмечено, что диаметр канала напрямую влияет на скин-фактор, но для рассматриваемых вариантов значения скин-фактора находятся в узких пределах. При этом каждое последующее увеличение диаметра скважины даёт более слабый эффект по уменьшению скин-фактора. Определено, что технология управляемого радиального вскрытия пласта даёт выраженный эффект для коллекторов с величиной коэффициента проницаемости до 100 мД, для коллекторов с коэффициентами проницаемости в пределах 100–200 мД имеет незначительный эффект. Положение каналов в пласте следует выбирать в зависимости от геолого-технических особенностей призабойной зоны, так как изменение скин-фактора незначительно. Показано, что базовая модель каналов при управляемом радиальном вскрытии пласта является оптимальным вариантом реализации.

Ключевые слова: управляемое радиальное вскрытие пласта, численное моделирование, скин-фактор, радиальные каналы, гидродинамическая модель, проницаемость.

Для цитирования: Гарипова Л.И., Хаярова Д.Р., Гайфуллин А.И., Камалов И.Р. (2026). О применимости технологии управляемого радиального вскрытия пласта. Трудноизвлекаемые запасы, 1(2), с. 34–38.

Of the applicability of controlled radial reservoir penetration technology*L.I. Garipova¹, D.R. Khayarova¹, A.I. Gayfullin², I.R. Kamalov¹*¹*Almetyevsk State Technological University «Petroleum higher school»**Almetyevsk, Russian Federation*²*TatNIPIneft Institute Tatneft PJSC, Almetyevsk, Russian Federation*

This paper evaluates the dependence of the skin factor on various channel parameters in the application of controlled radial reservoir penetration, taking into account the available experience in optimizing wellbore treatment parameters based on the dynamics of changes in skin-factor values. The following variable parameters were considered: channel length, channel diameter, initial permeability of the producing formation, and the position of the channels relative to the top of the formation.

According to the results of hydrodynamic simulation, it was found that channel diameter directly affects the skin factor; however, for the cases considered, the skin factor values remain within a narrow range. At the same time, each subsequent increase in wellbore diameter produces a weaker effect in reducing the skin factor.

It has been determined that the technology of controlled radial reservoir stimulation yields a pronounced effect for reservoirs with permeability values up to 100 mD, while for reservoirs with permeability in the range of 100–200 mD, the effect is minimal. The placement of channels in the reservoir should be determined based on the geological and technical characteristics of the wellbore zone, as the change in the skin factor is negligible. It has been shown that the base channel model in controlled radial reservoir stimulation represents the optimal implementation option.

Keywords: controlled radial reservoir penetration, numerical simulation, skin factor, radial channels, hydrodynamic model, permeability.

Recommended citation: Garipova L.I., Khayarova D.R., Gayfullin A.I., Kamalov I.R. (2026). On the issue of potential application of electrical conductivity in assessing the corrosive activity of acid solutions. Hard-to-recover reserves, 1(2), pp. 34–38.

Введение

В условиях сложного геологического строения, включающего близлежащие водонасыщенные пласты, высокую расчленённость и небольшую толщину пласта, традиционные методы ОПЗ оказываются малоэффективными, а использование гидроразрыва пласта может вызвать прорыв и увеличение обводненности (Акимов О.В. и др., 2024; Зиятдинов И.Г., 2024). Проблема выработки остаточных запасов нефти актуальна для месторождений с карбонатными трещиноватыми коллекторами, где реализация системы ППД носит зачастую точечный характер, а фильтрация из матричной части пород практически отсутствует (Акимов О.В. и др., 2024).

В таких условиях требуется использование эффективных технологий, в частности управляемого радиального вскрытия пласта. Данный метод заключается в бурении одного, двух и более каналов длиной до 14 м в ранее пробуренных скважинах. При этом интенсивность набора угла достигает 8 градус/м, возможно бурение до четырех каналов из одной точки при неограниченном числе таких точек. Все работы выполняются с привлечением подъемного агрегата для текущего капитального ремонта скважин на стандартных НКТ, без использования гибких НКТ. Пробуренные каналы могут быть обсажены фильтрами, что обеспечивает их устойчивость. Также в них могут проводиться геофизические ис-

следования на удалении от основного ствола и соляно-кислотная обработка (Соловьев И.Б. и др., 2008).

Известен способ интенсификации притока нефти в скважины, эксплуатирующие карбонатные коллекторы, которые характеризуются наличием газовой шапки или близлежащих водоносных прослоев. Данный способ основан на комбинировании механического (радиального бурения с использованием технической системы) и химического (кислотной обработки каналов) методов воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП). Техническая система предусматривает применение технологии радиального механического бурения с использованием специального малогабаритного винтового забойного двигателя. Основным преимуществом данной технологии по сравнению со стандартными методами вторичного вскрытия ПЗП является возможность избирательного воздействия на пласт благодаря прогнозируемой траектории канала и многократной доставке в канал реагентов и инструментальных компоновок (Суходанова С.С. и др., 2022).

Учитывая опыт оптимизации технологических параметров ОПЗ на основе динамики изменения параметров скин-фактора (Шайдуллин В.А. и др., 2022), в данной работе рассмотрены зависимости скин-фактора скважины от длины канала, диаметра канала, положения канала в пласте и исходной проницаемости пласта с применением гидродинамического моделирования.

Сетка геологической модели имеет размеры 163 на 163 блока в горизонтальной плоскости и 20 блоков в вертикальной. Глубина верхнего слоя составляет 1000 м.

Для более детального моделирования призабойной зоны скважины применена квазиравномерная сетка. Скважина расположена в центре модели, эксплуатируется при постоянном забойном давлении 8,46 МПа. Начальное пластовое давление 11,0 МПа.

В качестве базовой модели принята скважина с двумя каналами длиной по 14 м (удаление от скважины 9 м), диаметр каналов 0,07 м, проницаемость пласта 50 мД, каналы расположены в верхней части пласта.

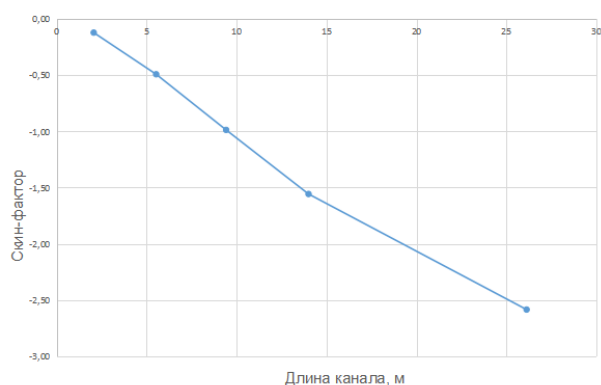


Рис. 1. Зависимость скин-фактора от длины канала

Проведён анализ влияния изменения длины радиального канала на скин-фактор (табл. 1, рис. 1). Значения длин каналов приняты равными 2 м (удаление от скважины 0,8 м), 5,5 м (удаление от скважины 2,8 м), 9,4 м (удаление от скважины 5,5 м), 26,1 м (удаление от скважины 15 м).

Таблица 1 – Исходные данные для определения скин-фактора в зависимости от длины канала

Варианты	1	2	3	4	5	6
Длина канала, м	Без каналов	2,06	5,53	9,42	14	26,12
Удаление от скважины, м	-	0,8	2,8	5,47	9,01	15
Давление на контуре, бар	106,09	106,03	105,86	105,60	105,27	104,51
Забойное давление, бар	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61
Дебит скважины, м ³ /сут	5,24	5,31	5,53	5,86	6,28	7,23
Скин-фактор	0,00	-0,12	-0,49	-0,99	-1,56	-2,58

Отмечается, что варианты 5, 6 являются наиболее оптимальными по величине скин-фактора.

Рассмотрена зависимость скин-фактора от диаметра канала. Отличные от базовой модели диаметры каналов: 0,05 м; 0,1 м; 0,15 м; 0,2 м.

Таблица 2 – Исходные данные для определения скин-фактора в зависимости от диаметра канала

Варианты	1	2	3	4	5	6
Диаметр каналов, м	Без каналов	0,05	0,07	0,10	0,15	0,20
Давление на контуре, бар	106,09	105,32	105,27	105,21	105,12	105,05
Забойное давление, бар	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61
Дебит скважины, м ³ /сут	5,24	6,22	6,28	6,36	6,47	6,56
Скин-фактор	0	-1,48	-1,56	-1,65	-1,78	-1,88

По результатам можно отметить, что диаметр канала напрямую влияет на скин-фактор, но для рассматриваемых вариантов значения скин-фактора находятся в узких пределах. При этом каждое последующее увеличение диаметра скважины даёт меньший эффект по уменьшению скин-фактора.

Определена зависимость скин-фактора от изначальной проницаемости пласта. Для базовой модели принята величина проницаемости 50 мД, для анализируемых вариантов: 30 мД, 70 мД, 100 мД, 200 мД, 500 мД.

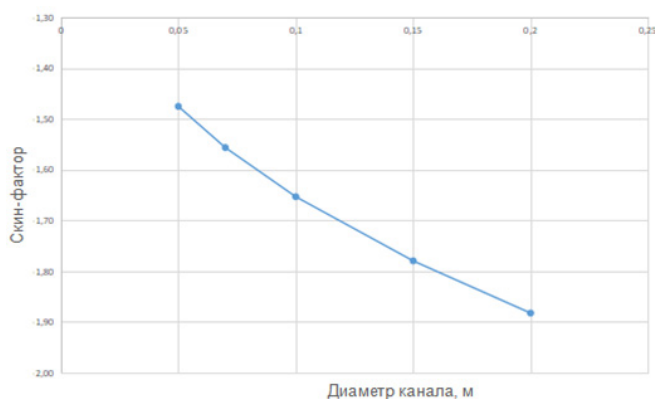


Рис. 2. Зависимость скин-фактора от длины канала

Таблица 3 – Исходные данные для определения скин-фактора в зависимости от проницаемости пласта

Варианты	1	2	3	4	5	6
Проницаемость пласта, мД	30	50	70	100	200	500
Давление на контуре, бар	105,93	105,27	104,85	104,41	103,62	102,65
Забойное давление, бар	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61
Дебит скважины, м3/сут	3,90	6,28	8,61	12,04	23,09	54,79
Скин-фактор	2,62	-1,56	-3,35	-4,70	-6,27	-7,22

Определено, что технология управляемого радиального вскрытия пласта даёт выраженный эффект для коллекторов с величиной коэффициента проницаемости до 100 мД, для коллекторов с проницаемостью до 200 мД имеет незначительный эффект.

Отмечается (табл. 4, рис. 4), что смещение каналов в нижнюю часть пласта на 10 м не даёт значительного эффекта по скин-фактору.

Таким образом, выбор расположения каналов

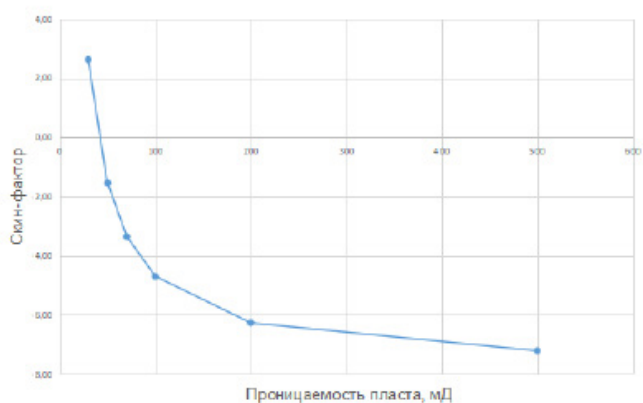


Рис. 3. Зависимость скин-фактора от проницаемости пласта

следует проводить в зависимости от геологических особенностей пласта.

Таблица 4 – Исходные данные для определения скин-фактора в зависимости от смещения вниз от кровли пласта

Варианты	1	2	3	4	5
Смещение от кровли пласта, м	0 м	2,66 м	5,34 м	8,01 м	10,68 м
Давление на контуре, бар	105,27	105,28	105,26	105,24	105,22
Забойное давление, бар	84,61	84,61	84,61	84,61	84,61
Дебит скважины, м3/сут	6,28	6,30	6,32	6,34	6,37
Скин-фактор	-1,56	-1,57	-1,59	-1,62	-1,66

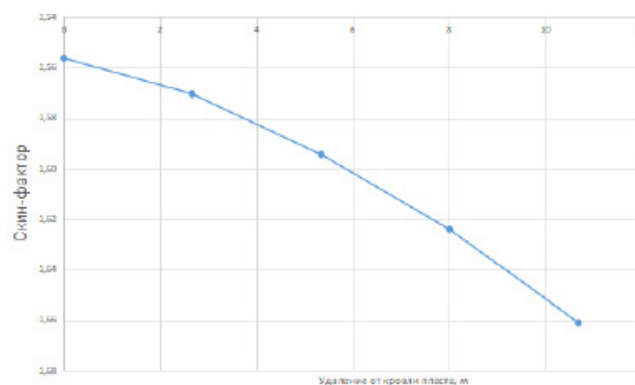


Рис. 4. Зависимость скин-фактора от положения в пласте

Выводы

Таким образом, базовая модель каналов при управляемом радиальном бурении является наиболее оптимальным вариантом исполнения. Длина канала более 14 м даёт менее выраженный эффект относительно каналов меньшей длины. Использование больших диаметров каналов ограничит применимость технологии при незначительном изменении скин-фактора. Наиболее применима технология управляемого радиального вскрытия пласта для коллекторов проницаемостью менее 100 мД. Положение каналов в пласте следует выбирать в зависимости от геолого-технических особенностей прискважинной зоны, так как изменение скин-фактора незначительно.

Список литературы

1. Акимов О.В., Кемпф К.В., Шкарин Д.В., Донской А.В., Баширов А.И., Макаренко В.А., Касимов Д.Л., Лягов А.В., Лягов И.А. Применение технологии радиального вскрытия пласта на Северо-Хоседаюском месторождении / Не-

фтяное хозяйство. № 04/2024 (выпуск 1206). С. 28–32.

2. Зиятдинов И.Г. Методика радиального вскрытия продуктивного пласта для интенсификации добычи углеводородов в процессе геологоразведочных работ/ В сборнике: Материалы 51-й международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 80-летию девонской нефти. Уфа, 2024. С. 272–277.
3. Макаренко В.А., Баширов А.И., Лягов И.А., Анохин А.В. Радиальное вскрытие пласта как метод интенсификации добычи в процессе ГРП / Бурение и нефть. 2023. № 11. С. 12–14.
4. Соловьев И.Б., Соловьева В.Н. Оптимизация технологических параметров ОПЗ на основе динамики изменения параметров скин-фактора по фактическим данным / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 10. – С. 36–40. – EDN JVVHAL.
5. Суходанова С.С., Файзуллин Р.Р., Герасименко П.Н., Иванова В.А., Баранов С.С., Юнусова М.Р., Максаков К.И. Технологии радиального вскрытия в условиях карбонатных пластов как способ увеличения добычи нефти. От теории к масштабным ОПР / ПРОнефть. Профессионально о нефти. 2022. Т. 7. № 3 (25). С. 52–62.
6. Шайдуллин В.А., Фоломеев А.Е., Вахрушев С.А., Хатмуллин А.Р., Таипов И.А., Магадиев А.Ф. Испытания новой технологии направленного радиального бурения каналов с последующим проведением кислотной обработки пласта / Нефтяное хозяйство, № 07/2022 (выпуск 1185) С. 108–116.

Сведения об авторах

Гарипова Лилия Ильясовна – кандидат тех. наук, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186 а

e-mail: garipova@agni-rt.ru

Хаярова Динара Рафаэлевна – кандидат тех. наук, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти»

Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186 а

e-mail: hayarova@agni-rt.ru

Гайфуллин Алмаз Ирекович – руководитель проектного офиса по развитию химических методов увеличения нефтеотдачи Института «ТатНИПИ-нефть» ПАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина

Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186 а

e-mail: aigaifullin@tatnipi.ru

Камалов Ильнур Расимович – магистр Альметьевского государственного технологического университета «Высшая школа нефти»

Россия, 423462, Альметьевск, ул. Советская, д. 186 а

e-mail: i.kamalov@agni-rt.ru

References

1. Akimov O.V., Kempf K.V., Shkarin D.V., Donskoy A.V., Bashirov A.I., Makarenko V.A., Kasimov D.L., Lyagov A.V., Lyagov I.A. Application of radial drilling technology at the North-Khosedayu field / Oil industry. – 2024. – No. 4 (Issue 1206), pp. 28–32.
2. Ziyatdinov I.G. Methodology of radial formation drilling to enhance hydrocarbon production during geological exploration /In: Proceedings of the 51st International scientific and technical conference of young scientists, postgraduates and students dedicated to the 80th anniversary of devonian oil. Ufa, 2024, pp. 272–277.
3. Makarenko V.A., Bashirov A.I., Lyagov I.A., Anokhin A.V. Radial formation drilling as a method of production intensification during geological exploration works (G&R) / Drilling and oil. – 2023. – No. 11, pp. 12–14.
4. Solovyev I.B., Solovyeva V.N. Optimization of well treatment process parameters based on skin factor dynamics using actual data/ Construction of oil and gas wells on land and offshore. – 2008. – No. 10, pp. 36–40. – EDN JVVHAL.
5. Sukhodanova S.S., Fayzullin R.R., Gerasimenko P.N., Ivanova V.A., Baranov S.S., Yunusova M.R., Maksakov K.I. Radial drilling technologies in carbonate formations as a method to increase oil production: From theory to large scale field testing (OPR) / PROneft. Professional about oil. – 2022. – Vol. 7, No. 3 (25), pp. 52–62.
6. Shaidullin V.A., Folomeev A.E., Vakhrushev S.A., Khatmullin A.R., Taipov I.A., Magadiev A.F. Testing of a new technology for directional radial drilling of channels with subsequent acid treatment of the reservoir / Oil industry. – 2022. – No. 7 (Issue 1185), pp. 108–116.

About the Authors

Liliya I. Garipova – Ph.D in technical sciences, associate professor of the department of development and operation of oil and gas fields, Almeteyevsk state technological university «Petroleum higher school»

186 a, Sovetskaya St., Almeteyevsk, 423462, Russia

e-mail: garipova@agni-rt.ru

Dinara R. Khayarova – Ph.D in technical sciences, associate professor of the department of development and operation of oil and gas fields, Almeteyevsk state technological university «Petroleum higher school»

186 a, Sovetskaya St., Almeteyevsk, 423462, Russia

e-mail: hayarova@agni-rt.ru

Almaz I. Gayfullin – Head of the project office for the development of chemical methods for increasing oil recovery, TatNIPIneft Institute Tatneft PJSC, Almeteyevsk, Russian Federation

186 a, Sovetskaya St., Almeteyevsk, 423462, Russia

e-mail: aigaifullin@tatnipi.ru

Ilnur R. Kamalov – Master, Almeteyevsk state technological university «Petroleum higher school»

186 a, Sovetskaya St., Almeteyevsk, 423462, Russia

e-mail: i.kamalov@agni-rt.ru

Статья поступила в редакцию 03.06.2026;

Принята к публикации 24.06.2026;

Опубликована 30.06.2026