

<https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-4.04>

<https://orcid.org/0000-0001-7331-1633>

<https://orcid.org/0000-0002-4875-5782>

<https://orcid.org/0000-0001-6370-8557>

<https://orcid.org/0000-0002-1749-6511>

<https://orcid.org/0000-0002-6000-6477>

<https://orcid.org/0000-0001-5885-2060>

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ



Г.Ж. МОЛДАБАЕВА¹,
доктор технических наук,
профессор,
*g.moldabayeva@satbayev.
university*



Г.М. ЭФЕНДИЕВ²,
доктор технических наук,
профессор,
galib_2000@yahoo.com



Н.С. БУКТУКОВ³,
доктор технических наук,
профессор,
n.buktukov@mail.ru



Ш.Р. ТУЗЕЛБАЕВА¹,
магистр технических наук,
докторант PhD,
*s.tuzelbayeva@satbayev.
university*



З.Б. ИМАНСАКИПОВА¹,
магистр технических наук,
докторант,
*z.imansakipova@satbayev.
university*



А.Н. АХМЕТОВ¹,
магистр технических наук,
докторант,
arax.akhmetov@gmail.com

¹SATBAYEV UNIVERSITY

Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

²ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА НАНА,

Азербайджан, AZ1000, г. Баку, ул. Ф. Амирова, 9

³ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА,

Республика Казахстан, 050046, г. Алматы, пр. Абая, 191

Статья посвящена определению требуемой концентрации раствора полимера, обеспечивающей максимальный эффект изоляции скважины, в зависимости от фильтрационных характеристик среды. Исследование проводилось экспериментальным методом с использованием методологии планирования эксперимента. Теория рационального планирования была использована путем варьирования двух переменных на пяти уровнях. В качестве переменных использовались проницаемость среды и концентрация раствора полимера. При обработке результатов использовались методы математической статистики.

Полученные данные исследования позволили построить модель, выражающую зависимость коэффициента остаточного сопротивления от проницаемости среды и концентрации раствора полимера. Путем дальнейшей статистической обработки была получена связь между проницаемостью и необходимой концентрацией раствора полимера. Экспериментальные исследования обосновали возможность оценки влияния проницаемости среды и концентрации раствора полимера на коэффициент остаточного сопротивления и определили его зависимость от концентрации раствора полимера и проницаемости среды. Основным моментом применения полимерных растворов является обоснование и выбор концентрации реагента. Проведенные экспериментальные исследования позволяют развить представления о закономерностях проявления воды.

Результаты исследования позволяют целенаправленно подбирать как рецептуры композиционных систем, так и технологию их получения применение для повышения эффективности добычи нефти и ограничения притока воды в конкретных геологических и физических условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоизоляция, нефть, проницаемость, полимерный раствор, концентрация, водоприток.

ПОЛИМЕРЛІ ЕРІТІНДІЛЕРДІҢ ШОҒЫРЛАНУЫНЫҢ КОЛЛЕКТОРЛАРДЫҢ СҮЗУ ҚАСИЕТІНЕ ӘСЕР ЕТУІ

Г.Ж. МОЛДАБАЕВА¹, техника ғылымдарының докторы, SU профессор,
moldabayeva@satbayev.university

Г.М. ЭФЕНДИЕВ², доктор технических наук, профессор, galib_2000@yahoo.com

Н.С. БУКТУКОВ³, доктор технических наук, профессор

Ш.Р. ТҮЗЕЛБАЕВА¹, техника ғылымдарының магистрі, докторант PhD,
s.tuzelbayeva@satbayev.university

З.Б. ИМАНСАКИПОВА¹, техника ғылымдарының магистрі, докторант PhD,
z.imansakipova@satbayev.university

А.Н. АХМЕТОВ¹, техника ғылымдарының магистрі, докторант PhD,
arax.akhmetov@gmail.com

¹SATBAYEVUNIVERSITY

Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ, Сәтбаев к., 22

²МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ИНСТИТУТЫ ӨҒҒА,

Азербайджан, AZ 1000, Баку қ, Ф. Амирова к, 9

³Д.А. ҚОНАЕВ АТЫНДАҒЫ ТАУ-КЕН ІСТЕРІ ИНСТИТУТЫ,
Қазақстан Республикасы, 050046, Алматы қ., Абай даңғ., 191

Мақала ортаның сүзу сипаттамаларына байланысты ұңғыманы оқшаулаудың максималды әсерін қамтамасыз ететін полимер ерітіндісінің қажетті шоғырлануын анықтауға арналған. Зерттеу экспериментті жоспарлау әдістемесін қолдана отырып, эксперименттік әдіспен жүргізілді. Рационалды жоспарлау теориясы екі айнымалыны бес деңгейде түрлендіру арқылы қолданылды. Түрлендіру ретінде ортаның өткізгіштігі және полимер ерітіндісінің шоғырлануы қолданылды. Нәтижелерді өңдеу кезінде математикалық статистика әдістері қолданылды. Зерттеу нәтижелері қалдық кедергі коэффициентінің ортаның өткізгіштігіне және полимер ерітіндісінің шоғырлануына тәуелділігін білдіретін модельді құруға мүмкіндік берді. Әрі қарай статистикалық өңдеу арқылы өткізгіштік пен полимер ерітіндісінің қажетті шоғырлануы арасындағы байланыс алынды. Эксперименттік зерттеулер ортаның өткізгіштігі мен полимер ерітіндісінің шоғырлануының қалдық кедергі коэффициентіне әсерін бағалау мүмкіндігін дәлелдеді және оның полимер ерітіндісінің шоғырлануы мен ортаның өткізгіштігіне тәуелділігін анықтады. Полимерлі ерітінділерді қолданудың негізгі нүктесі реагенттің шоғырлануын негіздеу және таңдау болып табылады. Жүргізілген эксперименттік зерттеулер судың көріну заңдылықтары туралы идеяларды дамытуға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері мұнай өндірудің тиімділігін арттыру және нақты геологиялық және физикалық жағдайларда су ағынын шектеу үшін композиттік жүйелердің формулаларын да, оларды өндіру технологиясын да мақсатты түрде таңдауға мүмкіндік береді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: суды оқшаулау, мұнай, өткізгіштік, полимерлі ерітінді, шоғырлану, сукелім

INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF POLYMER SOLUTIONS ON THE FILTRATION PROPERTIES OF RESERVOIRS

G.ZH. MOLDABAYEVA¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, g.moldabayeva@satbayev.university

G.M.EFFENDIYEV², Doctor of Technical Sciences, Professor, galib_2000@yahoo.com

N.S. BUKTUKOV³, Doctor of Technical Sciences, Professor,

SH.R. TUZELBAYEVA¹, Master of Technical Sciences, PhD student,
s.tuzelbayeva@satbayev.university

Z.B. IMANSAKIPOVA¹, Master of Technical Sciences, PhD student,
z.imansakipova@satbayev.university

A.N. AKHMETOV¹, Master of Technical Sciences, PhD student, arax.akhmetov@gmail.com

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
22/5, Satpayev str., Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

²AZERBAIJAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES,
Baku, the Republic of Azerbaijan

³D.A. KUNAEV INSTITUTE OF MINING,
Republic of Kazakhstan, 050046, Almaty, Abaya Ave., 191

The article is devoted to determining the required concentration of the polymer solution that provides the maximum effect of well isolation, depending on the filtration characteristics of the medium. The study was conducted by an experimental method using the methodology of experiment planning. The theory of rational planning was used by varying two variables at five levels. The permeability of the medium and the concentration of the polymer solution were used as variables. Methods of mathematical statistics were used in the processing of the results.

The obtained research data allowed us to construct a model expressing the dependence of the coefficient of residual resistance on the permeability of the medium and the concentration of the

polymer solution. By further statistical processing, the dependence between the permeability and the required concentration of the polymer solution was obtained. Experimental studies have proved the possibility of assessing the influence of the permeability of the medium and the concentration of the polymer solution on the coefficient of residual resistance and determined its dependence on the concentration of the polymer solution and the permeability of the medium. The main point of using polymer solutions is the justification and choice of the reagent concentration. The conducted experimental studies allow us to develop ideas about the patterns of water manifestation.

The results of the study make it possible to purposefully select both the formulations of composite systems and the technology of their production to increase the efficiency of oil production and limit the inflow of water in specific geological and physical conditions.

KEY WORDS: water extraction, oil, permeability, polymer solution, concentration, water inflow.

Введение. Повсеместно добыча степень промышленных запасов нефти, в различных регионах существенно выросла и увеличилась до 70%. Большинство месторождений находится на поздней стадии разработки и характеризуется низкими дебитами скважин и высокой обводненностью добываемой продукции. Особую актуальность приобретают технологии, направленные на блокирование проницаемых зон пласта. Поэтому проводится поиск путей применения эффективных водоизоляционных составов. Накоплен колоссальный опыт их внедрения в различных геолого-физических условиях. Однако технологическая эффективность их невысока и не превышает 40-50%. Существует ряд недостатков применяемых технологий на основе осадкогелеобразующих составов для водоизоляционных работ. К ним относятся невысокая устойчивость составов в пластовой среде, незначительная проникающая способность в поровые каналы, высокая чувствительность к минерализации пластовых вод, температуре, типу коллектора. В связи этим весьма актуальны с исследования, направленные на блокирование высокопроницаемой промытой зоны пласта гелеобразующим составом с высокими прочностными характеристиками и регулируемым временем гелеобразования.

Полимерные растворы используются в процессах увеличения нефтеотдачи для достижения дополнительной добычи нефти за счет достижения благоприятных коэффициентов подвижности. Необходимы исследования по изучению влияния геологических условий и свойств применяемых гелеобразующих составов.

Методы и материалы исследований. Цель настоящей статьи заключается в определении необходимой концентрации полимерного раствора, обеспечивающей максимальный эффект изоляции.

Исследования, посвященные водопритокам в скважину и борьбе с ними, в последние годы часто стали привлекать внимание исследователей. Выполнены исследования, направленные на изучение механизма происхождения водопритоков, а также изысканию методов борьбы с этим явлением [1]. При этом изучалось влияние различных составов, в частности, на полимерной основе. Так, в работе [2] путем промысловых и лабораторных наблюдений исследовано удерживающая способность полимера при заводнении на одном из месторождений Суринама. Полимерные растворы применяются для увеличения нефтеотдачи и достижения дополнительной добычи нефти за счет получения благоприятных показателей подвижности. Основным параметром в данном процессе полимерного заводнения, изменения проницаемости

за счет удерживания или адсорбции является вязкость в пластовых условиях. Лабораторные работы проводятся с целью определения физических свойств растворов полимеров при их протекании через пористую среду. Выполнен статистический анализ распределения и площади закупоренных зон, исследование дополняется изучением реакции давления на различных стадиях закачки. В результате исследований отмечается, что примерно половина удерживания применяемого биополимера - это ксантан, используемый для контроля вязкости, связанный с адсорбцией, а другая половина - с механическим улавливанием. При этом около 35,2% удерживается, вызванного гидролизированным полиакриламидом, за счет адсорбции, а остальные 64,8% - за счет механического улавливания. Полученные результаты позволяют лучше понять механизм воздействия полимерных растворов при заводнении. Кроме того, поддерживается на должном уровне оптимизация рабочих процессов для оценки изменений проницаемости в пористой среде. В результате промышленных испытаний на месторождении Яригуи-Кантагалло в Колумбии, проведенных в течение 24 месяцев, с помощью гидролизованного полиакриламида получено значение фактора остаточного сопротивления, близкое к 3. При общей обводненности до 5% полимерное заводнение считалось как технически, так и экономически целесообразным для месторождения. В качестве модели пласта использовался песчаный пласт проницаемостью 1,279 мД [2,3]. В работах [3,4] приводятся результаты экспериментов, в которых при более высоких диапазонах проницаемости удерживание больше не меняется. Кроме того, в работах Vela и др. [2,5] показано, что при увеличении проницаемости с 12 мД до 137 мД удерживание значительно снижается. Показано, что проницаемость является важной характеристикой при значениях ниже 100 мД и становится менее важной при более высоких значениях. Дальнейшие результаты подтверждают данный вывод. Для снижения проницаемости по воде или рассолу существует возможность закачки полимера в пласт. В работе [5] особое внимание уделено закачке полимера частично гидролизованного полиакриламида. Опытты проводились в лабораторных условиях при использовании воды и рассола в песке после закачки полимерного раствора. Целью экспериментов являлось изучение влияния адсорбции полимерного раствора на снижение проницаемости путем анализа значений фактора остаточного сопротивления при различных концентрациях растворов полимера. Также были исследованы реологические свойства полимера. Результаты экспериментальных исследований также показывают, что на адсорбционные свойства полимера сильно влияют соленость, pH раствора и концентрация полимера. Получено, что с увеличением концентрации полимера нефтеотдача увеличивается.

В работе [3] приводятся результаты экспериментальных исследований по полимерному заводнению. Полимеры различались по типу и концентрации. Согласно результатам отмеченной работы, основным механизмом удерживания в экспериментах по заводнению Floραam был механический захват, тогда как в экспериментах по заводнению Scleroglucan была адсорбция. Количественный анализ дал информацию о том, что адсорбция не видна в экспериментах такого рода. Кроме того, склероглюкан приводил к более высокому значению фактора остаточного сопротивления в обоих экспериментах, хотя тестировался Floραam с более высоким фактором сопротивления. Кроме того, увеличение концентрации привело к уве-

личению фактора сопротивления как для полимеров, так и для гидролизованного полиакриламида. Качественный анализ показал, что в большинстве полимерных растворов наблюдается фильтрационный процесс на стороне впрыска. Кроме того, в то время как Floraam 1000 ppm (0,1%) почти не показал видимого закупоривания, видимое закупоривание при концентрации 1500 ppm (0,15%) резко увеличилось. По-видимому, как отмечают авторы, для Floraam существует критическая концентрация, при которой резко возрастает снижение проницаемости. С другой стороны, склероглюкан, обеспечивает такую же степень адсорбции в низких концентрациях. Адсорбция оказывает большее влияние на фактор сопротивления, чем механическое улавливание. При таких низких скоростях потока ни один из использованных полимеров не показал гидродинамического удерживания. Более того, в работе показано, что рабочий процесс, представленный в этом исследовании, можно использовать для оценки любого типа флюида, чтобы определить потенциальные эффекты снижения проницаемости или закупорки.

Влияние полимерных составов на их изолирующую способность в пористой среде. Для повышения эффективности борьбы с осложнениями необходимо с учетом классификации пород по фильтрационно – емкостным характеристикам, приведенным в работах последних лет [7], создать непроницаемый экран, или существенно снизить проницаемость породы на участке, где существуют или ожидаются водопритоки.

К настоящему времени разработано огромное количество тампонажных растворов, способных создать водоизолирующие экраны и перекрыть поступление воды.

В нашем случае с учетом более ранних исследований были рассмотрены реагенты, которые способны за возможно короткий срок создать водонепроницаемый экран и уменьшить значительно (в несколько раз) уменьшить проницаемость породы.

Выбранные реагенты должны быть как можно более экономичными и их производство желательно иметь в пределах района ведения нефтепромысловых работ.

В ряде случаев полимеры используют во вторичных методах увеличения нефтеотдачи [7,8], для предотвращения ухода бурового раствора в пласт [9].

Установлено [10], что фильтрация полимеров через керны с низкой проницаемостью происходит с затуханием и при больших перепадах давления. Проницаемость кернов по воде после фильтрации полимерных растворов резко снижается. Коэффициент изоляции керна зависит от типа полимера. Например, коэффициент изоляции керна при фильтрации полимерного раствора с содержанием 0,1 % полимеров типа CS-6 составляет 11,1%, а полимера типа седипур – 36,4-98,8 %. При содержании полимеров 0,25% коэффициент изоляции керна составляет 90,9 – 99,5%, а при концентрации 0,5 % через керн практически полностью прекращается фильтрация [6].

В работе [7] показано, что эффективность ограничения водопритокков полимерными растворами также определяется совокупностью их физико-химических, коллекторских свойств и свойств пластовой воды обрабатываемого пласта.

Для предупреждения водопритокков были проведены исследования по изучению возможности создания непроницаемого экрана с помощью состава на основе полиакриламида (ППА). В работе [7] применен технический ПАА, который получают из нитрила акриловой кислоты (НАК) заменой нитрильной группы на амидную с

последующей полимеризацией акриламида в присутствии окислительно-восстановительных инициаторов. ПАА – сополимер акриламида с акриловой кислотой и ее солями [6,8,11]

Эксперимент проводился по методу планирования эксперимента при варьировании двух факторов на пяти уровнях. В качестве факторов рассматривались проницаемость среды и концентрация полимерного раствора. В качестве выходного параметра принят фактор остаточного сопротивления Рост, характеризующий изолирующую способность полимерных растворов.

Для описания эффекта снижения проницаемости после контакта пористой среды с полимерами [8,9,16] понятие фактора остаточного сопротивления Рост, который определяется как величина, представляющее отношение проницаемостей пористой среды по воде до и после ее обработки полимерным раствором:

$$\text{Рост} = \frac{k_B}{k_n} \quad [1]$$

где k_B , k_n – соответственно проницаемости пористой среды по воде и полимеру, мкм².

Фактор остаточного сопротивления является важной характеристикой, показывающей уменьшение проводимости пористой среды после ее взаимодействия с полимерным раствором.

Модель пласта представляет собой стальную трубу с приваренными с обоих концов фланцами, закрывающимися в свою очередь съемными фланцами, на которых установлены вентили, позволяющие подсоединять модель к установке. Выбор длины модели пласта (1 м), был проведен в соответствии с рекомендациями о моделировании процесса извлечения нефти водой [8,11,12,13,14]. В качестве модели пористой среды в опытах использован молотый кварцевый песок. Необходимые проницаемости пористой среды создавались соответствующими фракциями кварцевого песка, получаемыми путем его помола. Эксперименты по изучению закономерностей формирования фактора остаточного сопротивления. Влияние различных параметров на процесс формирования фактора остаточного сопротивления с применением растворов полимеров проводились в следующей последовательности.

Однородная модель пласта вакуумировалась, а затем насыщалась водой. После этого определялась проницаемость пористой среды по воде при нескольких перепадах давления.

Эксперименты во всех случаях проводились в изотермических условиях. Постоянная температура пласта поддерживалась при помощи электрообогревателя. Затем в модель пласта при определенном перепаде давления закачивался полимерный раствор, после чего она выдерживалась в покое 24 ч. Затем вновь в модель пласта закачивалась вода при том же перепаде давления, что и полимерный раствор, и при заданном перепаде давления в режиме установившейся фильтрации и определялась проницаемость пористой среды обработанной полимерным раствором. Фактор остаточного сопротивления определялся, согласно работы [11] по формуле (1).

Фильтрационные характеристики оценивали по изменению фактора остаточного сопротивления (Рост) от скорости фильтрации и проницаемости.

Изолирующая способность полимерного раствора определялась по формуле в %:

$$W = \frac{K_{np} - K'_{np}}{K_{np}} * 100\% \quad (2)$$

где K_{np} , K'_{np} – соответственно коэффициент проницаемости пористой среды по воде до и после фильтрации полимерного раствора, мкм².

Результаты и обсуждения. Матрица планирования с входными и выходной переменными и результаты опытов, приведены в *таблице 1*.

Каждый из результатов, показанных в таблице, является средним арифметическим 3-5 повторных опытов. По экспериментальным значениям построены графические зависимости фактора сопротивления от концентрации полимерного раствора при средних значениях коэффициента проницаемости и от проницаемости при средних значениях концентрации, приведенные на *рисунке 1* и *2*.

Таблица 1 – Матрица планирования с входными и выходной переменными и результаты опытов

№	C	K_{np}	K'_{np}	Рост	$w = \frac{K_{np} - K'_{np}}{K_{np}} * 100\%$
1	0,005	0,05	0,0045	11	90,91
2	0,1	0,05	0,0008	62	98,39
3	0,5	0,05	0,0004	140	99,29
4	1	0,05	0,0003	200	99,5
5	2	0,05	0,0001	350	99,71
6	0,005	0,25	0,05	5	80
7	0,1	0,25	0,0167	15	93,33
8	0,5	0,25	0,005	50	98
9	1	0,25	0,0028	90	98,89
10	2	0,25	0,0021	120	99,17
11	0,005	0,45	0,15	3	66,67
12	0,1	0,45	0,045	10	90
13	0,5	0,45	0,0113	40	97,5
14	1	0,45	0,009	50	98
15	2	0,45	0,008	56	98,21
16	0,005	0,65	0,1625	4	75
17	0,1	0,65	0,0722	9	88,89
18	0,5	0,65	0,026	25	96
19	1	0,65	0,0163	40	97,5
20	2	0,65	0,013	50	98
21	0,005	1,2	0,8	1,5	33,33
22	0,1	1,2	0,15	8	87,5
23	0,5	1,2	0,08	15	93,33
24	1	1,2	0,05	24	95,83
25	2	1,2	0,0343	35	97,14

Были аппроксимированы обе частные зависимости, которые затем объединены в общую с помощью методов, известных из математической статистики, в результате чего получено следующее выражение:

$$\text{Рост расч} = 19,959 * C^{0,4287} * K_{\text{пр}}^{-0,8453} \quad (3)$$

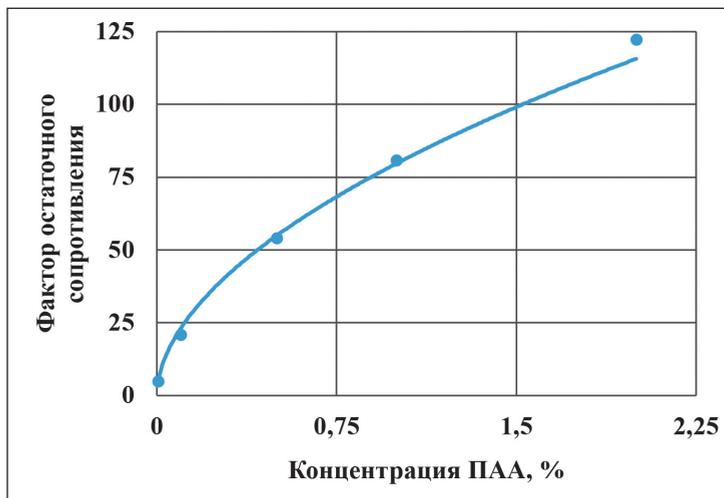


Рисунок 1 – Влияние концентрации ПАА в растворе на фактор остаточного сопротивления

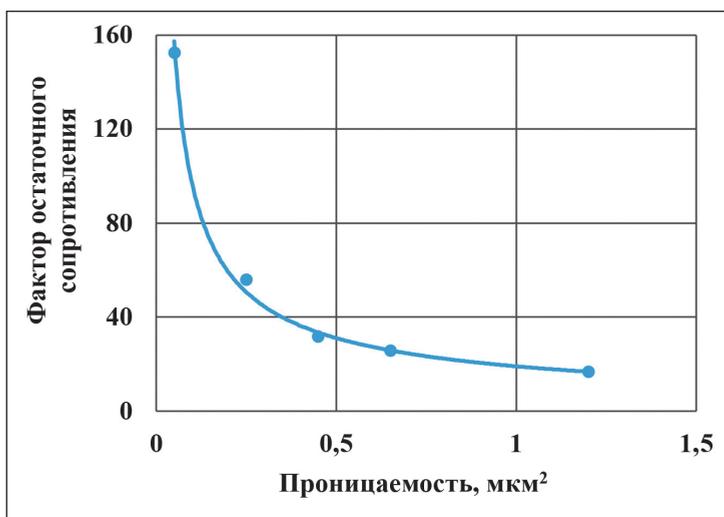


Рисунок 2 – Влияние пористости среды на фактора остаточного сопротивления

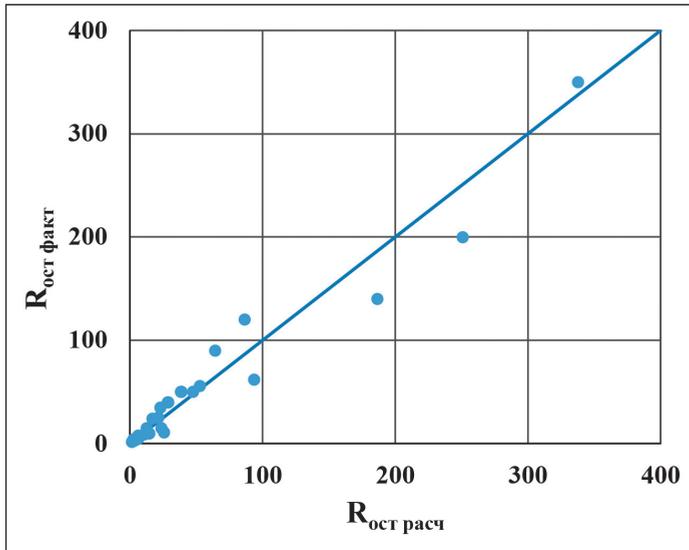


Рисунок 3 – Сравнительный график расчетных и фактических значений фактора остаточного сопротивления

В таблице 1 также показаны значения изолирующей способности W раствора ПАА, определенные по формуле 2. Как видно из таблицы 1, изолирующая способность раствора ПАА определяется концентрацией и проницаемостью пористой среды. Зависимость необходимой концентрации полимера в растворе от проницаемости пористой среды, построена, исходя из наименьших значений концентрации, при которых наблюдается наибольшее значение эффекта изоляции (см. табл. 1).

В результате обработки зависимости, получена формула

$$C=0,5 \cdot K_{пр} \quad (4)$$

Используя полученную формулу, можно рассчитать концентрацию полимерного раствора, обеспечивающую наибольшее значение коэффициента изоляции, который можно получить при данной проницаемости пласта. Воздействие полимерного раствора на результаты заводнения на месторождениях трудноизвлекаемых нефтей изучалось и изучается многими исследователями, нефтяными компаниями и научными организациями, к настоящему времени накопилось большое количество различных результатов, мнений. Поэтому в настоящей работе сделана попытка изучения влияния концентрации полимерной композиции и проницаемости среды на характеристику подвижности, т.е. на фактор сопротивления.

Заключение и выводы. Результаты экспериментальных исследований позволили получить зависимость фактора сопротивления от проницаемости среды и концентрации полимерного раствора, которая позволит создать условия для изоляции водопритоков с помощью полимерных композиций в рассматриваемой среде. Применение методики планирования экспериментов позволяет получить максимум информации используя при минимальном количестве опытов. Снижения подвижности воды можно добиться даже при минимальных концентрациях полимера. В связи с этим и получено выражение для определения необходимой концентрации

в зависимости от проницаемости среды. Применение соответствующих методов обработки данных и анализа информации позволяет обосновать выбор концентрации полимерного раствора.

- В результате реализации эксперимента с применением метода планирования эксперимента установлена зависимость фактора остаточного сопротивления от концентрации полимерного раствора и коэффициента проницаемости; получена зависимость необходимой концентрации полимерного раствора от проницаемости пласта, позволяющая определить требуемую концентрацию в соответствии с проницаемостью пласта. 

Благодарность. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (№ AP19674847).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 С.Д. Рзаева. Селективная изоляция водопритоков в скважину на основе использования отходов производства // SOCAR Proceedings No.3. (2020). стр. 118-125. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200300452> [S.D. Rzayeva. Selektivnaya izolyatsiya vodopritokov v skvazhinu na osnove ispol'zovaniya otkhodov proizvodstva // SOCAR Proceedings No.3. (2020). str. 118-125. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200300452>]
- 2 Hui-Shu Liu, Ji-Miao Duan, Jiang Li, Jian Wang, Hao Yan, Ke-Yu Lin, Ke-Cheng Gu, Chang-Jun Li, Wax deposition modeling in oil-water stratified pipe flow // Petroleum Science, Volume 20, Issue 1, February 2023, Pages 526-539. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.09.028>
- 3 Knobloch, L.O., Hincapie Reina, R.E., Foedisch, H. and Ganzer, L. Qualitative and Quantitative Evaluation of Permeability Changes during EOR Polymer Flooding Using Micromodels // World Journal of Engineering and Technology, (2018) 6, 332-349. <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.62021>
- 4 Quanshu Li, Huilin Xing, Jianjun Liu, Xiangchun Liu, A review on hydraulic fracturing of unconventional reservoir // Petroleum, Volume 1, Issue 1, March 2015, Pages 8-15, <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2015.03.008>
- 5 Karpov, V.N., Petreev, A.M. Determination of Efficient Rotary Percussive Drilling Techniques for Strong Rocks // J MinSci 57, P. 447–458 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1062739121030108>
- 6 Saurabh Mishra, Achinta Bera and Ajay Mandal. Effect of Polymer Adsorption on Permeability Reduction in Enhanced Oil Recovery // Journal of petroleum Engineering, Volume 2014, Article ID 395857, <https://doi.org/10.1155/2014/395857>
- 7 Абасов М.Т., Стреков А.С., Эфендиев Г.М. Повышение эффективности ограничения водопритоков в нефтяных скважинах. Баку. Nafta-Press, 2009, с. 256. [Abasov M.T., Strekov A.S., Efendiyev G.M. Povysheniye effektivnosti ogranicheniya vodopritokov v neftyanykh skvazhinakh. Baku. Nafta-Press, 2009, с. 256.]
- 8 Галлямов М.Н., Рахимкулов Р.Ш. Повышение эффективности эксплуатации нефтяных скважин на поздней стадии разработки месторождений // -М.: Недра, 1978. - 207 с. [Gallyamov M.N., Rakhimkulov R.SH. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii neftyanykh skvazhin na pozdney stadii razrabotki mestorozhdeniy // -M.: Nedra, 1978. - 207 s.]
- 9 Г.И. Григорашченко, Ю.В.Зайцева, В.В. Кукин и др. Применение полимеров в добыче нефти // -М.: Недра, 1978. - 213 с. [G.I. Grigorashchenko, YU.V.Zaytseva, V.V. Kukin i dr. Primeneniye polimerov v dobyche nefti // - M.: Nedra, 1978. - 213 s.]

- 10 Эфрос Д.А., Оноприенко В.П. Моделирование линейного вытеснения нефти водой // Труды ВНИИ, М.: Гостоптехиздат, 1968, вып.12, с.331-360. [Efros D.A., Onopriyenko V.P. Modelirovaniye lineynogo izvlecheniya nefi vodoy // Trudy.VNII, M.: Gostoptekhizdat, 1968, vyp.12, s.331-360.]
- 11 Р.Т.Булгаков, А.Ш. Газизов, Р.Г. Габдуллин, И.Г. Юсупов. Ограничение притока пластовых вод в нефтяные скважины // М.: Недра, 1976. - 175 с. [R.T.Bulgakov, A.SH. Gazizov, R.G. Gabdullin, I.G. Yusupov.. Ogranicheniye pritoka plastovyykh vod v neftyanyue skvazhiny // М.: Nedra, 1976. - 175 s.]
- 12 Bai, BJ (Bai, Baojun), Zhou, J (Zhou, Jia), Yin, MF (Yin, Mingfei). A comprehensive review of polyacrylamide polymer gels for conformance control // PETROLEUM EXPLORATION AND DEVELOPMENT ,Number 8(2015), pp. 525-532. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(15\)30045-8](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(15)30045-8)
- 13 Wang, DM (Wang Dongmei), Namie, S (Namie, Shane), Seright, R (Seright, Randall). Pressure Modification or Barrier Issues during Polymer Flooding Enhanced Oil Recovery // GEOFLUIDS, Number 6(2022),. <https://doi.org/10.1155/2022/6740531>
- 14 Peter Mora, Gabriele Morra, Dave Yuen, Ruben Juanes. Study of the Effect of Wetting on Viscous Fingering Before and After Breakthrough by Lattice Boltzmann Simulations // SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference , SPE-204536-MS, 2021,. DOI10.2118/204536-MS
- 15 Taheri-Shakib, J., Shekarifard, A., Naderi, H. 18 Heavy crude oil upgrading using nanoparticles by applying electromagnetic technique // Fuel, 2018, 232, p.704–711. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.023>
- 16 Manichand, R. and Seright, R.S. Field vs. Laboratory Polymer-Retention Values for a Polymer Flood in the Tambaredjo Field // SPE Improved Oil Recovery Symposium , Tulsa, 12-16 April 2014, SPE-169027-MS. <https://doi.org/10.2118/169027-PA>