ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

М.Е. КАЛИ,
доктор PhD,
по экономике, эксперт по
экономическим исследованиям,
<https://orcid.org/0000-0002-0154-2755>

КАЗНИПИМУНАЙГАЗ
Республика Казахстан, г. Актау, 35 мкр., 6/1

В статье рассматриваются актуальные вопросы выбора наиболее приемлемых методов увеличения нефтеотдачи пластов в условиях сложности процесса разработки с точки зрения природных и технологических факторов. Автором рассматривается один из наиболее эффективных на сегодняшний день методов - полимерное заводнение, которое позволяет не только повысить уровень нефтеотдачи, но и решает ряд комплексных задач по повышению характеристик нефтепродуктов и состояния коллекторов, что особенно важно на месторождениях с преобладанием литологически сложной структуры нефтегазоносных пластов.

Также в статье приводится сопоставительный анализ критериев выбора технологических аспектов организации полимерного заводнения и выбора реагента, которые влияют на экономическую и технологическую эффективность применения того или иного полимера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полимерное заводнение, повышение нефтеотдачи, методы повышения нефтеотдачи, месторождения поздней стадии разработки, физико-химические методы повышения нефтеотдачи, воздействие на пласт.

* Адрес для переписки. E-mail: kali_m@kaznipi.kz

ИГЕРУДІҢ КЕШ САТЫСЫ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАБАТТАРДЫҢ МҰНАЙБЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ПОЛИМЕРЛІ СУЛАНДЫРУДЫ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

М.Е. КАЛИ, экономикадан философия докторы (PhD), экономикалық зерттеулер бойынша сарапшы, <https://orcid.org/0000-0002-0154-2755>

ҚАЗМҰНАЙҒАЗҒЗЖИ

Қазақстан Республикасы, Ақтау қ-сы, 35 мкр., 6/1

Мақалада табиғи және технологиялық факторлар тұрғысынан даму процесінің күрделілігі жағдайында мұнай алуды күшейтудің қолайлы әдістерін таңдаудың өзекті мәселелері талқыланады. Автор қазіргі кездегі ең тиімді әдістердің бірі - полимерлі су айдау, бұл мұнай алу деңгейін жоғарылатуға ғана емес, сонымен қатар мұнай өнімдерінің сипаттамалары мен қабаттардың мұнайбергіштігін көтеру бойынша бірқатар міндеттерді шешуді қарастырады, бұл әсіресе мұнай мен газ қоймаларының литологиялық күрделі құрылымы басым кен орындарында маңызды.

Сонымен қатар мақалада, полимерлі су айдаудың технологиялық аспектілерін таңдау критерийлерінің салыстырмалы талдауы мен реагентті таңдау, сондай-ақ нақты полимерді қолданудың экономикалық және технологиялық тиімділігіне әсер ететін негізгі көрсеткіштері көрсетілген.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: полимерлі су айдау, мұнайбергіштікті көтеру, мұнай алудың жетілдірілген әдістері, соңғы сатыдағы кен орындар, мұнай алудағы физико-химиялық әдістер, қабатқа әсер ету.

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF POLYMER WATERFLOODING FOR INCREASING OIL RECOVERY IN THE CONDITIONS OF THE LATER STAGE OF DEVELOPMENT

M.E. KALI, PhD in Economics, expert in economic research, <https://orcid.org/0000-0002-0154-2755>

KAZNIPIMUNAYGAS

6/1, 35 mcr, Aktau, Republic of Kazakhstan

The article discusses the relevant issues of choosing the most acceptable methods for enhancing oil recovery, in conditions of the complexity of the development process from the point of view of natural and technological factors. The author considers one of the most effective methods today - polymer waterflooding, which allows not only to increase the level of oil recovery, but also solves a number of tasks to improve the characteristics of oil products and the state of reservoirs, which is especially important in fields with a predominance of lithologically complex structure of oil and gas reservoirs.

KEY WORDS: polymer waterflooding, enhanced oil recovery, enhanced oil recovery methods, late stage fields, physicochemical enhanced oil recovery, reservoir stimulation.

В современных условиях, в виду мировых тенденций к исчерпанию ресурсов, добываемых в естественном режиме, когда большинство разрабатываемых месторождений отличается существенная сложность процесса добычи нефти и газа, эффективность нефтедобывающего предприятия обуславливает правильность выбора тех или иных методов увеличения нефтеотдачи пластов.

Многие методики увеличения нефтеотдачи пластов уже не одно десятилетие успешно реализуют задачу по предотвращению увеличения темпов обводненности и снижения дебита скважин. Среди множества известных на сегодняшний день и хорошо апробированных методов увеличения нефтеотдачи выделяется полимерное заводнение как мера по воздействию на пласт, дающая дополнительно положительный эффект в тех случаях, когда нефти месторождения отличаются повышенной плотностью, вязкостью, содержанием солеобразующих металлов, а структура коллектора имеет литологическое сложное строение [1].

Стоит отметить, что большинство находящихся в разработке современных месторождений по всему миру отмечают именно названные выше характеристики. В Республике Казахстан большая часть месторождений характеризуется высокой глубиной залегания, сложными физико-химическими характеристиками, а также сложностью литологического строения пластов. Тем не менее, современные технологии производства полимеров для заводнения позволяют преодолеть природные факторы, осложняющие процесс нефтедобычи и максимизировать объем добываемых углеводородов.

В ряде источников отмечается мнение, что полимерное заводнение является целесообразным методом на поздних стадиях разработки месторождения. Тем не менее, данное утверждение справедливо лишь отчасти. Дело в том, что при применении полимерного заводнения критически важным является не только выбор состава и техники закачки агента, но и выбор участка воздействия. В свою очередь, критерии выбора достаточно обширны и включают факторы природного, технического и экономического характера. В конечном счёте, на современном этапе на месторождениях поздней стадии разработки с учётом обширного перечня современных методов увеличения нефтеотдачи, экономический фактор выступает первым и наиболее важным критерием применения того или иного метода извлечения запасов. Тем более, что на современном этапе производители полимеров предлагают широкий диапазон разнообразных по своим физико-химическим свойствам и составу реагентов, соответствующих различным исходным условиям для решения задачи по повышению нефтеотдачи с максимальной эффективностью [2,3].

Кроме того, экономическую привлекательность полимерного заводнения обуславливает относительно низкая себестоимость продукта для закачки и производимых работ.

В мировой практике накоплен достаточно богатый опыт применения полимерного заводнения на месторождениях поздней стадии разработки, и его изучение позволяет утверждать, что правильно выбранный участок и метод применения полимеров, а также использование прогностических моделей на стадиях планирования мероприятия даёт положительный эффект. При этом происходит не только увеличение уровня дебита скважин, но и снижаются темпы роста обводненности, снижаются затраты поддержания искусственного давления на пласт. Также улучшаются физико-химические свойства высоковязких нефтей, предотвращается закупорка коллекторов и влияние осадочных отложений на детали оборудования, что продлевает срок службы последнего и сокращает эксплуатационные затраты [4].

С учетом экономической привлекательности, наличия продолжительного пролонгированного эффекта от воздействия полимеров на факторы снижения себестоимости добычи полимерное заводнение на сегодняшний день вновь является одной из наиболее перспективных методик воздействия на продуктивные пласты с целью повышения

нефтеотдачи. Мировой опыт применения полимерного заводнения в различных вариациях демонстрирует достаточно высокие результаты при самых разнообразных условиях и осложнениях технологического, физико-химического и литологического характера:

- в отношении сложно структурированных продуктивных горизонтов с множественной перфорацией пластов - месторождение Дацин, Китай;
- в условиях добычи высоковязкой тяжелой нефти – месторождение Агаджари, Иран [5,6].

Рассматриваемое в данной статье месторождение в Мангистауской области полуостров Бузачи представляет собой достаточно интересный объект с позиции изучения анализа эффективности применения полимерного заводнения. Наряду со сложными условиями добычи, месторождение отличает наличие эмпирических данных по применению полимерного заводнения, а также применению сшитых полимерных систем. При этом есть основания дальнейшего неоднократного использования данного метода для повышения эффективности процесса нефтедобычи.

Газонефтяное месторождение разрабатывается с конца семидесятых годов 20-го века. Структуру нефтегазоносных пластов месторождения образуют среднеюрские, триасовые и меловые отложения толщиной в среднем до 2395 метров, при этом глубина продуктивных горизонтов варьируется от 500 до 936 метров. Литологическое строение нефтегазоносных пластов отличает сводовость и тектоническая экранированность. Коллекторы пластов продуктивных горизонтов имеют поровое строение, представленное песчаниками и алевролитами, с показателями открытой пористости от 23% до 29% и в целом, с хорошей проницаемостью – от 0,105 до 1,468 мкм². Покрытие коллекторов образовано глинистыми породами толщиной от 4 метров до 53 метров. Особенностью физико-химических свойств нефти месторождения является наличие высоких концентраций ванадия и никеля (преимущественно, ванадиевого типа). Нефть месторождения относится к категории высоковязких (до 19,5), тяжелых (в пределах 902-914 кг/м³), но малосернистых и малосмолистых. Внутрипластовая температура колеблется на различных участках от 39 до 440°С. Минерализация внутрипластовых вод умеренно высокая- 97,4-170,6 г/л. [7].

Как следует из основных характеристик анализируемого месторождения, его эффективная разработка возможно лишь путем поддержания искусственного воздействия на продуктивные пласты. Природные условия процесса добычи характеризует также и многопластовая структура месторождения практически на всех участках, что делает целесообразным объединение нескольких горизонтов в более крупные эксплуатационные объекты.

Пористость структуры коллекторов и невысокая толщина продуктивных пластов предрасполагает к появлению риска резкого снижения коэффициента вытеснения нефти водой из-за низкой нефтенасыщенности пласта в случае заводнения с использованием любых агентов. В первую очередь, это связано с высокой приемистостью пор коллекторов [8].

С учетом повышенной вязкости нефти и довольно высокой минерализации, полимерное заводнение является перспективным методом увеличения нефтеотдачи, которое может быть реализовано с учетом данных специфических условий.

Существенным преимуществом полимерного заводнения, наряду с относительно низкой себестоимостью и относительно невысокой ресурсоемкостью, является воз-

возможность внедрения в адаптивную систему, которая на данный момент применяется на месторождении.

За всю историю разработки на месторождении неоднократно применялись различные методы полимерного заводнения для увеличения нефтеотдачи, начиная с 1981 года и по настоящее время. Результативность примененных методов варьировалась от 50 до 158 тонн добытой нефти на 1 тонну затраченного ПАА [9].

Несмотря на имеющийся обширный опыт применения методов полимерного заводнения, в каждой отдельно взятой ситуации необходимо отталкиваться от целесообразности применения данного метода на данном участке с учётом всех факторов и рисков.

Ведущую группу применяемых для заводнения полимеров составляют низкомолекулярные акриламиды в виду их способности увеличивать вязкость воды в гидролизованном состоянии, а также относительно низкой себестоимости реагента, высокой стойкости к действию бактерий и способности создавать постоянное уменьшение проницаемости, которая является важным фактором экономической эффективности в условиях добычи высоковязкой тяжелой нефти [10].

Фактором, сужающим круг потенциально пригодных для применения полимерных продуктов, является требуемая концентрация не ниже 90%, следовательно, целесообразно рассматривать порошкообразные формы ПАА. Данные условия продиктованы требуемой достаточно высокой загущающей способностью раствора [10, с.5].

ПАА с требуемыми характеристиками широко распространены в линейках производителей Франции, Южной Кореи, Китая, России, США и др.

Выбор в пользу полиакриламидов сделан с учетом особенностей, общих для всех залежей месторождения, но выбор той или иной марки, а также состава реагента и варианта его закачки целесообразно рассматривать применительно к отдельно взятому участку [11].

На приведенном в пример месторождении ведется разработка по нескольким опытным участкам, отличающихся разнородностью характеристик нефтегазоносных пластов. Поэтому для расчета экономической эффективности в данной статье целесообразно привести расчеты по одному из опытных участков [9, с.19-25].

Ниже представлены данные, отражающие планируемые мероприятия по полимерному заводнению участка №1. Реализация метода полимерного заводнения на данном участке не требует существенных дополнительных затрат на улучшение технического состояния нагнетательного фонда, так как с 2014 года и на текущий момент уже реализуется опытно-промышленное полимерное заводнение и заполнено 6,2% порового пространства (*таблица 1*). Хронологические рамки расчета соответствуют заявленной длительности мероприятия – с января 2019 по июль 2028 год. Выкопировка карты текущих отборов планируемого участка представлена на *рисунке 1*.

Анализ соответствия, приведенный в данной таблице, указывает на возможность применения полимерного заводнения с использованием полиакриламида.

Среди продуктовой линейки при выборе следует отталкиваться от требуемых свойств, применительно к каждому отдельному участку.

Исходя из свойств нефтегазоносных пластов анализируемого участка, характеризующихся высокой степенью обводненности, наличием минерализации и риска адсорбции, необходимо применение полимерного реагента, отличающегося следующими требуемыми критериями:

Таблица 1 – Анализ возможности применения полимерного заводнения с использованием полиакриламида на участке №1 анализируемого месторождения

Критерий	Значение по участку	Значение, предпочтительное для ПЗ
Приемистость, м³/сут.	224 (хорошая)	Хорошая
Пластовая температура, °C	40	До 120
Вязкость нефти, сП	23,3	От 10 сП до 10 000 сП
Проницаемость, Д.	0,423	От 50 мД до 10 Д
Пористость, д.ед.	0,28	-----
Литологический состав	Песчаник и алевролиты с глинистым покрытием	Песчаник
Нефтенасыщенность	0,66	>20%
Плотность нефти, API	25	>15
Пористость, д.ед.	0,27- Большая емкость коллектора	-----
Обводненность, %	89,6	Высокая степень обводненности

* Примечание: составлено автором на основании источника №9, с.19-25, №12, с.5

Рисунок 1 – Участок №1. Выкопировка с карты текущих отборов

1. Хорошая загущающая способность применительно к данному типу нефти при вязкости нефти в 23,3сП;
2. Высокая растворимость, и защита от химической деструкции;
3. Биологическая устойчивость;
4. Пониженный риск гелеобразования и осаждения частиц.

Следовательно, оптимальным вариантом является акриламиды, произведенные путем сополимеризации, так как имеют хорошую растворимость, наименьшую склонность к гелеобразованию и осаждению в виду узкого распределения аннионности, приобретаемой в процессе изготовления данным способом.

Также из-за относительно высокой минерализации, желательны наличие добавок, снижающих риск образования свободных радикалов. Стоит отметить, что с точки зрения снижения издержек предпочтителен продукт уже имеющий требуемые защитные свойства, так как изготовление реагента под заказ неизбежно отразится на уровне затрат по увеличению нефтеотдачи полимерным заводнением. С учетом данных требований, полимер должен обладать низкой или средней молекулярной массой [13].

Ниже представлена аналитическая таблица выбора реагента с требуемыми свойствами (таблица 2).

Таблица 2 – Анализ линейки реагентов для закачки на участке №1 анализируемого месторождения

Продукция	Анионность	Молекулярная масса	Чувствительность к минерализации
Акрилами-акрилатный сополимер	От средней до высокой	Крайне низкая	Средняя
Сополимеры акриламидо-третбутиловой сульфокислоты и акриламида	Очень низкая	Низкая	Слабая
Сополимеры акриламида/акриламидо-третбутиловой сульфокислоты/акриловой кислоты	От средней до высокой	От средней до высокой	Слабая
Терполимеры акриламида, акриламидо-третбутиловой сульфокислоты и N-винилпирролидона	Средняя	Низкая	Крайне слабая
Ассоциированные полимеры	Низкая	Низкая	Крайне слабая

* Примечание: составлено автором на основании источника №13

Как следует из результатов анализа, наилучшими качествами обладают ассоциированные сополимеры.

Далее приведено обоснование экономической эффективности опытно-промышленных работ (далее – ОПР) по испытанию технологии полимерного заводнения на участке №1 месторождения.

Для экономической оценки были приняты технологические прогнозные показатели по дополнительной добыче нефти, по расходу сухого полимера, а также его стоимость, при этом, другие параметры для оценки (цены реализации нефти, доля

экспорта/внутреннего рынка, налогообложение, тариф на транспортировку и др.) за расчетный период использовались по прогнозным данным.

Срок реализации проекта как один из показателей экономической эффективности проекта по участку №1 рассчитывался за прогнозный период добычи нефти от проведения мероприятий – 2019-2028 годы.

В расчетах за основные источники доходов приняты поступления от реализации дополнительной добычи нефти. Цена реализации нефти на внешний рынок за проектный период принята в соответствии с макропрогнозными данными нефтегазодобывающего сектора: за 2019-2020 гг. – 55 \$/баррель, 2021-2026 гг. – 60 \$/баррель, 2027-2028 гг. – 65 \$/баррель. Также стоит отметить, что в расчетах приняты прогнозные цены реализации нефти на внутренний рынок. Цены на внутренний рынок за расчетный срок колеблются на уровне 87 \$/тонна – 159 \$/тонна.

Моделирование эксплуатационных затрат на опытном участке №1 месторождения проводилось за проектный период в соответствии с основными технологическими показателями, рассчитанными исходя из технологии и техники добычи, подготовки и транспорта нефти, налоговых ставок и способов расчета амортизационных начислений.

В состав эксплуатационных затрат были включены затраты, связанные с добычей дополнительного объема нефти, транспортировкой нефти, амортизационные отчисления и накладные расходы, налоги и отчисления в бюджет.

Сумма амортизационных отчислений, включаемых в себестоимость, была определена линейным методом, т.е. посредством списания стоимости основных фондов одинаковыми пропорциональными частями на протяжении их эксплуатационного периода от первоначальной стоимости основных средств. Срок эксплуатационного периода составил 10 лет.

Также было учтено, что при реализации проекта предполагаются дополнительные инвестиционные затраты, связанные с закачкой агента, включающие в себя услуги подрядной организации, а также затраты на покупку полимера.

Для расчета нормативов эксплуатационных затрат в учет были приняты исходные фактические и прогнозные данные Недропользователя за расчетный период.

Капитальные вложения на проведение ОНР по применению полимерного заводнения на опытном участке приняты в расчете по предварительным сметным расчетам и составляют 1 154 тыс. \$.

Дисконтирование проводилось исходя из теории временной стоимости денег для получения суммы потоков платежей, приведенных к настоящему моменту времени. Для определения дисконтированных потоков приняты ставки дисконтирования WACC на уровне 11,5%.

Технико-экономическая оценка и сравнение результатов ОНР проводились по основным критериям доходности, к которым относятся потоки денежной наличности (CASH FLOW), чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), срок окупаемости (PP, DPP) и индекс доходности проекта (PI).

Итак, в результате проведенных расчетов были определены выручка от реализации продукции, эксплуатационные затраты на дополнительную добычу нефти и газа, инвестиций в капитальное строительство, чистая прибыль недропользователя, а также налоги и отчисления в бюджет.

Расчет экономической эффективности и итоговые интегральные показатели внедрения технологии полимерного заводнения на участке №1 представлены в *таблицах 5 и 6.*

Таблица 5 – Расчет оценки экономической эффективности внедрения технологии полимерного заводнения на участке №1

№ п/п	Наименование показателей	ЕИ	Период										ВСЕГО за рентабельный период:
			1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	9 год	10 год	
A	B	C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Доход от реализации нефти	тыс.\$	548	5983	10 900	14 003	13 390	14 923	13 956	11 324	9 152	6 183	100 362
	- дополнительная добыча нефти	тонн	1 752	18 768	30 284	40 351	38 520	42 787	39 967	32 255	24 301	16 350	285 335
1.1	- на экспорт	тыс.\$	509	5493	10 059	12 333	11 773	13 077	12 215	9890	8 072	5 431	88 853
	- доля нефти на экспорт		74%	75%	77%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	
	- дополнительная добыча на экспорт	тонн	1 299	14 028	23 260	28 518	27 221	30 236	28 243	22 868	17 228	11 591	204 493
	- объем реализации с учетом потерь и с/н	тонн	1 281	13 814	23 189	28 430	27 138	30 145	28 158	22 799	17 177	11 557	203 689
	- цена реализации на экспорт	\$/bbl	55	55	60	60	60	60	60	60	65	65	
	- цена реализации нефти	\$/	398	398	434	434	434	434	434	434	470	470	
	- курс доллара	тенге/\$	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	
1.2	- на внутренний рынок	тыс.\$	39	490	840	1 670	1 617	1 846	1 741	1 433	1 080	752	11 508
	- доля нефти на внутренний рынок		26%	25%	23%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	
	- дополнительная добыча на вн/рынок	тонн	453	4 740	7 024	11 833	11 299	12 551	11 724	9 387	7 073	4 758	80 842
	- объем реализации с учетом потерь и с/н	тонн	446	4 667	7 002	11 796	11 265	12 514	11 689	9 359	7 052	4 744	80 535
	- цена нефти	\$/тн	87	105	120	142	144	147	149	153	153	159	
2	Расходы всего	тыс.\$	802	4 646	6 598	9 043	8 365	9 029	9 114	7 903	6 853	5 586	67 941
2.1	Затраты на приобретение полимера ОПЗ	тыс.\$	492	1 693	1 668	2 928	2 437	2 437	2 437	2 437	2 437	2 522	21 486
	- стоимость услуг	тыс.\$	155	419	577	577	577	577	577	577	577	597	5 208
	- стоимость полимера	тыс.\$	337	1 274	1 091	2 351	1 860	1 860	1 860	1 860	1 860	1 925	16 278
	- цена полимера	\$/тн	3 037	3 790	3 143	5 639	4 460	4 460	4 460	4 460	4 460	4 616	
	- количество полимера	тн	111	336	347	417	417	417	417	417	417	417	3 713
	- доп. добыча нефти на 1 тн. полимера	тн/тн	16	56	87	97	92	103	96	77	58	39	77
2.2	Всего текущих затрат	тыс.\$	2	11	21	29	29	33	32	27	21	15	221
2.2.1	Текущие затраты, связанные с доп. добычей	тыс.\$	2	11	21	29	29	33	32	27	21	15	221
2.3	Транспортировка	тыс.\$	54	589	1 207	1 528	1 557	1 756	1 668	1 370	1 046	728	11 504
	- на экспорт	тыс.\$	47	475	1 014	1 190	1 193	1 324	1 237	1 000	767	534	8 781
	- стоимость транс-ки на экспорт	\$/тн	36	34	44	42	44	44	44	44	45	46	
	- на внутренний рынок	тыс.\$	7	115	193	339	364	432	431	370	279	194	2 723
	- стоимость транс-ки на вн/рынок	\$/тн	16	25	28	29	32	34	37	40	40	41	
2.4	Накладные расходы	тыс.\$	19	128	129	161	139	144	128	119	110	102	1 178
2.5	Амортизация	тыс.\$	-	115	115	115	115	115	115	115	115	115	1 039

2.6	ЭТП	тыс.\$	70	760	1 391	1 706	1 628	1 809	1 689	1 368	1 117	751	12 290
2.7	НДПИ	тыс.\$	69	746	1 362	1 712	1 636	1 820	1 701	1 379	1 120	755	12 299
	- на экспорт	тыс.\$	66	714	1 308	1 603	1 530	1 700	1 588	1 286	1 049	706	11 551
	- на внутренний рынок	тыс.\$	3	32	55	109	105	120	113	93	70	49	748
2.8	Рентный налог	тыс.\$	97	604	704	863	824	915	1 344	1 088	888	597	7 925
3	Прибыль до налогообложения	тыс.\$	-254	1 337	4 301	4 960	5 024	5 893	4 842	3 421	2 299	597	32 420
4	Корпоративный подоходный налог	тыс.\$	0	267	860	992	1 005	1 179	968	684	460	119	6 535
5	Чистая прибыль	тыс.\$	-254	1 069	3 441	3 968	4 019	4 715	3 874	2 737	1 840	478	25 886
6	Капитальные затраты (оборудование со сроком службы 10 лет)	тыс.\$	1 154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 154
7	Денежный поток с учетом финансирования	тыс.\$	-1 408	1 185	3 557	4 083	4 135	4 830	3 989	2 852	1 955	593	25 770
8	Денежный поток с учетом финансирования с накоплением	тыс.\$	-1 408	-223	3 333	7 416	11 551	16 381	20 370	23 222	25 177	25 770	25 770
9	Рентабельность (соотношение чистой прибыли к общим расходам)	%	-31,6%	23,0%	52,1%	43,9%	48,0%	52,2%	42,5%	34,6%	26,8%	8,5%	38,1%
10	Дисконтированный денежный поток (NPV) при ставке 11,5%	11,50%	-1 408	1 185	3 190	3 284	2 983	3 125	2 315	1 484	912	248	17 318
11	Накопленный дисконтированный денежный поток (NPV) при ставке 11,5%	тыс.\$	-1 408	-223	2 966	6 251	9 234	12 359	14 673	16 157	17 070	17 318	17 318
12	Внутренняя норма прибыли (IRR)	%			106%	140%	150%	154%	156%	156%	156%	156%	156%
13	Срок окупаемости (PP)	год	-	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	2,1
14	Срок окупаемости (дисконтированный-DPP) при ставке 11,5%	год	-	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	2,1
15	Индекс окупаемости (PI)	ед.											1,8
16	Рентабельный период 2019-2028 (cutoff)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2028

Таблица 6 – Итоговые интегральные показатели экономической эффективности

№ п/п	Наименование показателей	ЕИ	Значение показателей
1	Расчетный период	годы	10 лет
2	Рентабельный период	годы	10 лет
3	Дополнительная добыча нефти	тонн	285 335
4	Расходы полимера	тонн	3 713
5	Выручка от продажи нефти	млн. \$	100,4
6	Эксплуатационные затраты	млн. \$	67,9
7	Капитальные вложения	млн. \$	1,2
8	Чистая прибыль	млн. \$	25,9
9	Дисконтированный денежный поток (NPV) при ставке 11,5%	млн. \$	17,3
10	Внутренняя норма прибыли (IRR)	%	156%
11	Срок окупаемости (дисконтированный-DPP) при ставке 11,5%	лет	2,1
12	Индекс окупаемости (PI)	д.е.	1,8

Приведенные технико-экономические результаты за рентабельный период свидетельствуют, что внедрение технологии полимерного заводнения с использованием выбранного реагента на участке №1 является экономически эффективным.

При принятых условиях и допущениях по проекту, по итогам проведенных экономических расчетов от внедрения технологии полимерного заводнения на участке Запад за весь рентабельный период получены следующие ожидаемые результаты:

- капитальные вложения – 1,2 млн.\$;
- доходы – 100,4 млн.\$;
- расходы – 67,9 млн.\$;
- чистая прибыль – 25,9 млн.\$;
- NPV при ставке 11,5% – 17,3 млн.\$;
- внутренняя норма прибыли (IRR) – 156%;
- срок окупаемости проекта – 2,1 года;
- индекс окупаемости (PI) – 1,8 д.е.

В результате расчетов выявлено, что полимерное заводнение с выбранным реагентом является экономически целесообразным и рентабельным. Удельная эффективность применения метода составит 285 335 тонн добытой нефти на 3 713 тонн затраченного полимера.

Таким образом, на примере одного из участков месторождения Мангистауской области, которое отличает поздняя стадия разработки, осложняющаяся литологическими условиями и физико-химическими свойствами нефти, доказано, что полимерное заводнение представляет одно из перспективных направлений применения химических методов повышения нефтеотдачи пластов. На сегодняшний день возможности полимерного заводнения существенно расширены, благодаря наличию реагентов с адаптированными под условия конкретного проекта свойствами еще на

этапе производства. Соответственно, перспективы применения одного из наиболее апробированных методов повышения нефтеотдачи пластов на данный период и в ближайшем будущем позволяют с уверенностью говорить о дальнейшем совершенствовании данной технологии и расширении возможностей ее применения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Яковенко А.А., Пруцакова С.А., Кучеренко С.В. Проблемы и перспективы современного развития нефтегазовой промышленности// Булатовские чтения: сборник статей. - Донской государственный технический университет. -2018. - С.374-376 [YAkovenko A.A., Prucakova S.A., Kucherenko S.V. Problemy i perspektivy sovremennogo razvitiya neftegazovoj promyshlennosti// Bulatovskie chteniya: sbornik statej. - Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. -2018. - S.374-376]
- 2 Кастро Р., Перез Р., Майя Г. Применение полимерного заводнения для увеличения коэффициента извлечения нефти//Казань.: Георесурсы, №4. -2016. -С.271-280 [Kastro R., Perez R., Majya G. Primenenie polimernogo zavodneniya dlya uvelicheniya koefficienta izvlecheniya nefti//Kazan': Georesursy, №4. -2016. -S.271-280]
- 3 Тома А., Саюк Б., Абиров Ж., Мазбаев Е. Полимерное заводнение для увеличения нефтеотдачи на месторождениях легкой и тяжелой нефти// Территория Нефтегаз, №7- М.: Камелот Пабблишинг. -2017. -с. 58-68 [Toma A., Sayuk B., Abirov ZH., Mazbaev E. Polimernoe zavodnenie dlya uvelicheniya nefteotdachi na mestorozhdeniyah legkoj i tyazhelej nefti// Territoriya Neftegaz, №7- M.: Kamelot Publishing. -2017. -s. 58-68]
- 4 Лысенко В. Д., Грайфер В. И. Инновационная система разработки нефтяных месторождений. - М.: ООО «Недра-БизнесЦентр». -2000. – С.516 [Lysenko V. D., Grajfer V. I. Innovacionnaya sistema razrabotki neftyanyh mestorozhdenij. - M.: ООО «Nedra-BiznesCentr». -2000. – С.516]
- 5 Х. Чжун, Ю. Ли, В. Чжан, Х. Инь, Дж. Лу, Д. Го «Микропоточный механизм вытеснения масла за счет вязкоупругого гидрофобного связывания водорастворимых полимеров в увеличении нефтеотдачи» // Полимеры. - 2018. - Т. 10, № 628. DOI: 10.3390 / polym10060628 [H. CHzhun, YU. Li, V. CHzhan, H. In', Dzh. Lu, D. Go «Mikropotochnyj mekhanizm vytesneniya masla za schet vyazkouprugogo gidrofnobnogo svyazyvaniya vodorastvorimyh polimerov v uvelichenii nefteotdachi» // Polimery. - 2018. - Т. 10, № 628. DOI: 10.3390 / polym10060628]
- 6 Ш. Лян, Ю. Лю, Ш. Ху, А. Шен, К. Ю, Янь Х., Бай М. «Экспериментальное исследование физической производительности и текучести декорированных полиакриламид для увеличения нефтеотдачи» // Энергия. - 2019. - Т. 12, № 562. DOI: 10.3390 / en12030562 [SH. Lyan, YU. Lyu, SH. Hu, A. SHen, K. YU, YAn' H., Baj M. «Eksperimental'noe issledovanie fizicheskoy proizvoditel'nosti i tekuchesti dekorirovannyh poliakrilamid dlya uvelicheniya nefteotdachi» // Energiya. - 2019. - Т. 12, № 562. DOI: 10.3390 / en12030562];
- 7 Гусманова А.Г., Жолбасарова А.Т. Геологическое строение и основные характеристики нефтегазоносных горизонтов месторождений Мангистайской области// Вестник Национальной Академии наук Республики Казахстан., №6. -2007. - С.48-50 [Gusmanova A.G., ZHolbasarova A.T. Geologicheskoe stroenie i osnovnye harakteristiki neftegazonosnyh gorizontov mestorozhdenij Mangistajskoj oblasti//Vestnik Nacional'noj Akademii nauk Respubliki Kazahstan., №6. -2007. - S.48-50];
- 8 Абиров Р.Ж., Мухамедова А.Г., Панабеккызы Б. Промышленное внедрение полимерного заводнения на месторождении южно-тургайского бассейна//Нефтепромысловое дело, №5. -2016. - с. 15-19 [Abirov R.ZH., Muhamedova A.G., Panabekkyzy

- В. Promyshlennoe vnedrenie polimernogo zavodneniya na mestorozhdenii yuzhnoturghajskogo bassejna//Neftepromyslovoe delo, №5. -2016. - s. 15-19]
- 9 Аналитический отчет по примененным методам полимерного заводнения на участках месторождения Мангистауской области. - КазНИПИМунайгаз. -2017. -35 с. [Analiticheskij otchet po primenennym metodam polimernogo zavodneniya na uchastkah mestorozhdeniya Mangistauskoj oblasti. - KazNIPImunajgaz. -2017. -35 s.]
- 10 Основы нефтегазопромыслового дела. Учебное пособие. Авторы В. Д. Гребнев, Д. А. Мартюшев Г. П. Хижняк: Перм. нац. иссл. полит. ун-т. Пермь.-2013. -185 с. [Osnovy neftegazopromyslovogo dela. Uchebnoe posobie. Avtory V. D. Grebnev, D. A. Martyushev G. P. Hizhnyak: Perm. nac. issl. polit. un-t. Perm'.-2013. -185 s.]
- 11 Мордвинов В.А., Поплыгин В.В., Поплыгина И.С. Варианты полимерного заводнения залежи с высоковязкой нефтью//Вестник ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело, №14. -2015. - С. 39-51 [Mordvinov V.A., Poplygin V.V., Poplygina I.S. Varianty polimernogo zavodneniya zalezhi s vysokovязkoj нефтьu//Vestnik PNIPU: Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, №14. -2015. - s. 39-51]
- 12 Повышение эффективности полимерного заводнения. 30 лет опыта в области технологий повышения нефтеотдачи пластов. - SNF Floerger. -25 с. [Povyshenie effektivnosti polimernogo zavodneniya. 30 let opyta v oblasti tekhnologij povysheniya nefteotdachi plastov. - SNF Floerger. -25 s.]
- 13 Кнунянц И.Л. Краткая химическая энциклопедия. Том 2. -М.: Книга по требованию. -2013. - 658 с. [Knunyanc I.L. Kratkaya himicheskaya enciklopediya. Tom 2. -M.: Kniga po trebovaniyu. -2013. - 658 s.]