

## Анализ результатов работ по паротепловому воздействию на месторождения Каражанбас

D.A. Axmetov,

S.T. Zakenov, D.T.N.,

M.K. Karazhanova, D.F.-T.N.

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова, Казахстан

e-mail: maral.karazhanova@yu.edu.kz

**Ключевые слова:** нефть, паротепловое воздействие, паронефтяной фактор, неопределенность, принятие решений.

### Karajanzbas yatağında buxarla təsiri nəticələrinin təhlili

D.A. Axmetov, S.T. Zakenov, D.T.N., M.K. Karazhanova, D.F.D. Ş.Əsenov ad. Xəzər Dövlət Texnologiyalar və İnşininin Universiteti, Qazaxıstan

**Açar sözlər:** neft, buxarla təsiri, buxar-neft amili, qeyri-müəyyənlilik, qararların qəbulu edilməsi.

Məqalə mədan məlumatlarının təhlili əsasında maksimal hasilat və vurulan buxanın minimalının optimal üzlaşma variantının seçilməsinə həsr olunub. Öncədən tərkibi metodların tətbiqi ilə ağır və yüksək özlülükli neft yataqlarının samarlı işlənilməsi texnologiyaların təhlili aparılmışdır.

Buxarın vurulması və neft hasilatı dinamikasına baxılmışdır. İstiliklə təsiri zamanı lay sisteminə gedən proseslərin qeyri-müəyyənlilik qeyd olunmuşdur. Bu zaman bir neçə kriterinin mövcudluğu şəraitində qarar qəbul etmək lazım gəlir. Bu şəraitdə qararların qəbul edilməsi üçün nəzərdə tutulan qeyri-səlis çözümlər nəzəriyyəsinə malum olan üsulların tətbiqi vurulan buxanın minimal həcminə neft hasilatının artırılması hesabına buxarla təsiri effektivliyinə nail olmağa imkan verir.

### Analysis of survey results on steam treatment in Karazhanbas field

D.A. Axmetov, S.T. Zakenov, Dr. in Tech. Sc., M.K. Karazhanova, Ph. Dr. in Tech. Sc. Caspian State University of Technology and Engineering named after Sh. Esenov, Kazakhstan

**Keywords:** oil, steam treatment, vapor-oil factor, uncertainty, decision-making.

The paper is dedicated to the balance selection in maximum production and minimum amount of injected steam based on the field data analysis. The preliminary technology analysis of efficient exploration of deposits with heavy and high-viscosity oil applying thermic methods was carried out.

The dynamics of steam injection and oil production was reviewed. The uncertainty of the processes taking place in formation system during steam treatment is marked. In addition, it is necessary to make decisions in the availability of a few criteria. The application of the methods known from the fuzzy-set theory and meant for decision-making in these conditions enables to achieve efficiency improve of steam treatment due to the oil production increase in minimum injected vapor.

### Введение

Как показывают исследования, месторождения тяжелых и высоковязких нефтей довольно многочисленны. Судя по литературным сведениям, можно отметить, что бассейны с этими углеводородами охватывают широкую географию. В связи с этим предложены различные классификации трудноизвлекаемых нефтей, которые позволяют правильно выбрать методы воздействия на пласт [1–4].

В настоящее время одной из крупнейших нефтяных держав мира (уступая при этом лишь России и США, а также отдельным государствам Латинской Америки и Ближнего Востока) является Казахстан. По добыче нефти Казахстан занимает 18-е место в мире (2-е место среди стран бывшего Советского Союза). Перспективы дальнейшего развития нефтяной промышленности определяют созданием надежной сырьевой базы за счет повышения эффективности геолого-разведочных работ, совершенствования технологии бурения скважин, повышения эффективности разработки нефтяных месторождений, применения новых методов и технологий повышения нефтеотдачи пластов. Год от года растет доля трудноизвлекаемых запасов нефти с высокими плотностью и вязкостью, приуроченных к низкопроницаемым коллекторам, что в последнее время привлекает внимание специалистов этой отрасли. Дальнейшая добыча нефти на таких месторождениях требует внедрения современных методов анализа, классификации трудноизвлекаемых запасов, технологий увеличения нефтеотдачи с решением задач оптимизации. В Казахстане приходится большое

значение применению современных, созданию новых и совершенствованию существующих технологий.

Как известно, нефть месторождений Казахстана в большинстве своем тяжелая ( $\rho=936 \text{ кг/м}^3$ ), по своему составу высокомолекулярная (до 24 %). Вязкость высокая, поэтому с начала разработки месторождения Каражанбас, были приняты проектные решения, согласно которым применены термические методы, основным из которых является закачка пара [5–7]. В статье на основе обобщения опыта применения термических методов воздействия на пласт нами выполнен анализ результатов паротеплового воздействия на месторождении Каражанбас [6–8].

При этом задача заключается в том, что назначение технологических режимов должно обеспечивать максимальное увеличение дебитов скважин по нефти и уменьшение расхода подаваемого рабочего агента.

Исходя из того, что выбор объема пара происходит в ситуации неопределенности, так как абсолютно достоверно предсказать результаты от изменения режимов нельзя, решение должно быть принято с учетом этого обстоятельства. В ситуации, когда необходимо сделать выбор между режимами с минимальным удельным расходом пара, максимальным дебитом жидкости или некоторым средним между этими режимами, используется один из критериев принятия решения в условиях неопределенности.

В данном случае задача оптимизации двухкритериальная, т.е. нужно выбрать оптимальный режим, обеспечивающий максимальный дебит при минимальном удельном расходе пара. В соответствии с этим и должен быть выбран тот или иной метод принятия оптимального решения.

### Состояние изученности проблемы

Сущность способа эксплуатации путем закачки пара заключается в подъеме продукции скважины за счет подачи в нее необходимого количества рабочего агента.

Как показывает обзор исследований, к настоящему времени предложены различные способы оптимизации паротеплового воздействия [9]. Традиционные технологии и методы принятия решений, разработанные ранее, не позволяют находить однозначные решения в условиях неопределенности.

В настоящее время в мире насчитывается около миллиона скважин для добычи нефти [10]. Пластовое давление в таких скважинах, как правило, не позволяет добывать нефть фонтанным способом, поэтому, для увеличения производительности, более 90 % из них эксплуатируются с применением какого-либо способа механизированной добычи.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям паротеплового воздействия посвящено большое количество работ, немало их выполнено и в Казахстане, где нефтяные компании и проектные институты принимают активное участие в решении проблем увеличения добычи нефти на нефтегазовых месторождениях страны. Исследования позволили глубже изучить процессы, происходящие при применении этого способа.

Полученные на данном этапе результаты позволяют обобщить необходимость промышленно-теоретических исследований, которые, взаимно дополняя друг друга, позволили бы проследить за динамикой показателя процесса, принять технологическое решение, учитывающее неопределенность целей и ограничений.

Теоретические и практические исследования в области разработки залежей высоковязких нефтей и опыт, накопленный в Казахстане [5–8, 11, 12], показывают, что на начальном этапе, когда уровень обводненности невысок, наиболее перспективными направлениями разработки таких месторождений являются тепловые методы воздействия на нефтяные залежи. Тепло, поступающее в пласт с теплоносителем, максимально расходуется на нагрев пластовой нефти, снижая при этом ее вязкость, вследствие чего увеличивается подвижность нефти. Эффективность тепловых методов зависит от температуры теплоносителя. Наибольший эффект от воздействия на пласт теплоносителем достигается при использовании пара. Данная технология более 20 лет успешно применяется на месторождении Каражанбас [5–8, 11].

Расматривая в целом термические методы, не претендуя на полный охват ранее выполненных исследований, отметим, что задачи их развития и успешного применения связаны с решением комплекса сложных научных и технических проблем, а также проектированием и строительством скважин для тепловых методов добычи нефти. Решение этих проблем по-

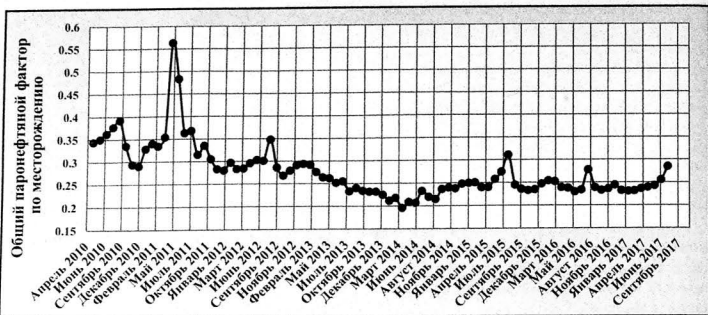


Рис. 1. Динамика паронефтяного фактора

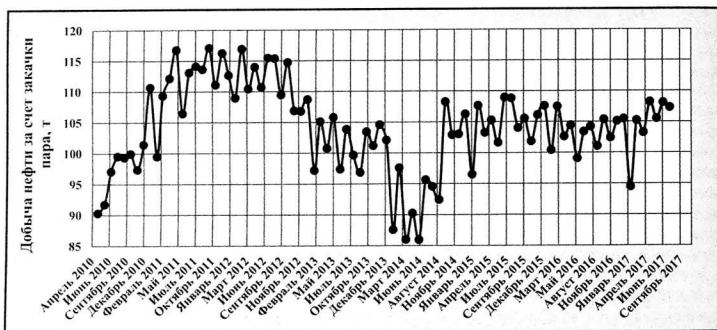


Рис. 2. Динамика добычи нефти за счет закачки пара

возлит существенно повысить эффективность внедрения тепловых методов.

Как отмечалось выше, в выполненных в последние годы исследованиях ставятся задачи принятия решений, однако постановка задачи с помощью двух критериев, требует применения современных методов, учитывающих данное обстоятельство, вносящее нечеткость. Исходя из этого, поставлена отмеченная выше задача выбора оптимального сочетания критериев, т.е. обеспечения максимальной добычи при минимальном количестве закачиваемого пара на основе анализа промысловой информации с применением положений теории нечетких множеств.

**Результаты исследований**

Для решения поставленной задачи были собраны данные о результатах паротеплового воздействия и подвергнуты статистической обработке. Сначала проанализирована динамика добычи нефти и затрат пара.

Часто на практике при добыче паротепловым способом используют основные характеристики – это динамика удельного расхода пара (паронефтяной фактор (ПНФ)) и дебита нефти (рис. 1, 2).

Зависимости, приведенные на рис. 1, 2 позволяют проследить за изменением показателей, проанализировать условия, провести расчеты, позволяющие обосновать и установить

Дата	Закачка пара	Добыча нефти за счет закачки пара, г	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_0$
01.05.2010	263.176	90.255	0.614596	0.152333	0.152
01.06.2010	262.597	91.676	0.718065	0.170547	0.170547
01.07.2010	268.971	97.007	0.696624	0.256613	0.256613
01.08.2010	264.840	99.475	0.710461	0.307691	0.307691
01.01.2011	338.632	110.605	0.490727	0.662258	0.490727
01.02.2011	292.896	99.427	0.620444	0.306628	0.306628
01.03.2011	328.233	109.262	0.518612	0.606305	0.518612
01.04.2011	317.366	112.095	0.54871	0.729534	0.54871
01.05.2011	207.684	116.704	0.927801	0.976167	0.9278
01.06.2011	220.906	106.395	0.872623	0.500281	0.500281
01.07.2011	312.410	113.014	0.562781	0.773882	0.562781
01.08.2011	311.059	114.048	0.566657	0.826534	0.566657
01.03.2017	464.968	105.163	0.20728	0.459906	0.20728
01.04.2017	445.395	103.199	0.245728	0.401311	0.245728
01.05.2017	458.699	108.161	0.219416	0.563494	0.219416
01.06.2017	440.950	105.451	0.254695	0.469083	0.254695
01.07.2017	428.461	108.041	0.280381	0.559025	0.280381
01.08.2017	385.089	107.245	0.375794	0.529913	0.375794

необходимое количество закачиваемого пара. Рассмотрена возможность прогнозной оценки тенденции изменения добычи нефти на последующий период с использованием графика изменения ПНФ. ПНФ – это отношение объема добытой нефти к объему закачки пара за определенный период времени. ПНФ является одним из главнейших экономических показателей эффективности паротеплового воздействия. В литературе и на практике в разных случаях используют различные модификации данного параметра – отношение количества закачанного пара к количеству добытой нефти и количества нефти, приходящейся на тонну закачанного пара.

Отмеченная выше проблема принятия решений, связанная с неопределенностью, возникает в данном случае в связи с нечеткой формулировкой цели и ограничения при принятии решений. Задача состоит в получении максимального объема нефти при минимальном объеме пара, закачиваемого в скважину. Обычно при решении таких задач невозможно обеспечить оба отмеченных условия одновременно и в данном случае используются известные из теории нечетких множеств методы, позволяющие принимать компромиссное решение. Согласно этому необходимо оценить для каждого из выбранных критериев функцию принадлежности. В связи с этим выполнены соответствующие расчеты с учетом

положений, изложенных в работе [13]. Далее по этим значениям функций принадлежности находится меньшее из этой пары значение, что представляет собой значения функций принадлежности множества решений (таблица). Максимальное же значение данной функции принадлежности по всем строкам соответствует оптимальному решению. Результаты расчётов приведены в таблице, представляющей собой выборку из общей совокупности данных, где оптимальное решение выделено.

**Заключение**

Исследования показали, что назначение технологических режимов при паротепловом воздействии на пласт должно обеспечивать максимальное увеличение дебитов скважин по нефти и уменьшение расхода подаваемого рабочего агента.

Исходя из того, что выбор объема пара происходит в ситуации неопределенности, применение решения должно производиться с учетом этого обстоятельства. При этом приходится принимать решения при наличии нескольких критериев. Применение методов, известных из теории нечетких множеств и предназначенных для принятия решений в этих условиях, позволяет добиться повышения эффективности паротеплового воздействия за счет увеличения добычи нефти при минимальных объемах закачиваемого пара.

## Список литературы

1. *Akhmetov D.A., Efendiyev G.M., Karazhanova M.K., Koylibaev B.N.* Classification of Hard-to-Recover Hydrocarbon Reserves of Kazakhstan with the Use of Fuzzy Cluster-Analysis. 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing - ICAFS-2018, 27-28 August 2018, Warsaw, Poland, Springer Nature Switzerland AG 2019, pp. 865-872.
2. *Klassifikatsiya neftey.* <https://studfiles.net/preview/1772355/page/2/>
3. *Muslimov R.Kh.* Новая классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов – движение вперед или вспять // Георесурсы, 2016, т. 18, № 2, с. 80-87. DOI: 10.18599/18.2.1 <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-klassifikatsiya-zapasov-i-resursov-nefti-i-goryuchih-gazov-dvizhenie-vpered-ili-vspyat>
4. *Lisovskiy N.N., Khalimov E.M.* О классификации трудноизвлекаемых запасов // Вестник ЦКР Роснедра, 2009, № 6, с. 33-35.
5. *Turkov V.O.* Геолого-техническая информация по месторождению Каражанбас, апрель, 2014 г.
6. *Esetov Zh.A., Turdiyev M.F., Kemalov A.F., Abdrafikova I.M.* Thermal-Steam Cyclic Processing Technology of Development Objects In Karazhanbas Kazakhstan Field // Indian Journals of Science and Technology, v. 9(18), DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93749, May 2016, pp. 1-7.
7. *Akhmetov D.A.* Анализ результатов паротеплового воздействия на месторождении Каражанбас // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2018, № 12, с. 9-13.
8. *Akhmetov D.A., Efendiyev G.M.* Опыт применения паротеплового воздействия на месторождении Каражанбас // Материалы международной научно-практической конференции "Развитие науки и техники в освоении недр Казахстана", посвященной 90-летию академика Ш.Есенова, Актау, 2017, с. 170-173.
9. *Pat. РФ 2445454.* Способ оптимизации паротеплового воздействия в процессе разработки месторождения с высоковязкими нефтями и битумами / С.А.Жданов, С.О.Урсегов, Д.Ю.Крянев, Э.М.Симкин, 2012.
10. *Abraham K.* "High Prices, Instability Keep Activity High" World Oil 227, no 9 (September 2006), <http://www.worldoil.com> (accessed December 20, 2006).
11. *Saenko A.E.* Способы извлечения нефти из продуктивного пласта нефтегазовых месторождений на различных стадиях их разработки // Территория Нефтегаз, 2015, № 11, с. 118-124.
12. *Kalesheva G.E., Ol'khovskaya V.A.* Состояние нефтеносности и перспективы добычи высоковязкой нефти в республике Казахстан // Нефтепромысловое дело, 2015, № 5, с. 5-10.
13. *Bellman R.E. and Zadeh L.A.* Decision-Making in a Fuzzy Environment, Management Science, 17, 1970, pp. B-141-B-164.

## References

1. *Akhmetov D.A., Efendiyev G.M., Karazhanova M.K., Koylibaev B.N.* Classification of Hard-to-Recover Hydrocarbon Reserves of Kazakhstan with the Use of Fuzzy Cluster-Analysis. 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing - ICAFS-2018, 27-28 August 2018, Warsaw, Poland, Springer Nature Switzerland AG 2019, pp. 865-872.
2. *Klassifikatsiya neftei.* <https://studfiles.net/preview/1772355/page/2/>
3. *Muslimov R.Kh.* Novaya klassifikatsiya zapasov i resursov nefiti i goruchikh gazov – dvizhenie vpered ili vspyat' // Georursy, t. 18, No 2, s. 80-87. DOI: 10.18599/18.2.1 <https://cyberleninka.ru/article/n/novaya-klassifikatsiya-zapasov-i-resursov-nefti-i-goryuchih-gazov-dvizhenie-vpered-ili-vspyat>
4. *Lisovskiy N.N., Khalimov E.M.* O klassifikatsii trudnoizvlekaemykh zapasov // Vestnik TSKR Rosnedra, 2009, No 6, s. 33-35.
5. *Turkov V.O.* Geologo-tehnicheskaya informatsiya po mestorozhdeniyu Karazhanbas, April', 2014.
6. *Esetov Zh.A., Turdiyev M.F., Kemalov A.F. and Abdrafikova I.M.* Thermal-Steam Cyclic Processing Technology of Development Objects in Karazhanbas Kazakhstan Field // Indian Journals of Science and Technology, Vol. 9 (18), DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93749, May 2016, pp. 1-7.
7. *Akhmetov D.A.* Analiz rezul'tatov paroteplovoogo vozdeistvia na mestorozhdenii Karazhanbas // Azerbaidzhanskoe nefteano khozaistvo, 2018, No 12, s. 9-13.
8. *Akhmetov D.A., Efendiyev G.M.* Opyt primeneniya paroteplovoogo vozdeistvia na mestorozhdenii Karazhanbas // Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Razvitie nauki i tekhniki v osvoinii neдр Kazakhstana", posvashchennoi 90-letiyu akademika Sh.Yesenova, Aktau, 2017, s. 170-173.
9. *PAT. RF 2445454.* Sposob optimizatsii paroteplovoogo vozdeistvia v protsessе razrabotki mestorozhdeniya s vysokovyazkimi neftyami i bitumami / S.A. Zhdanov, S.O. Ursegov, D.Yu. Kryanev, E.M. Simkin, 2012.
10. *Abraham K.* "High Prices, Instability Keep Activity High" World Oil 227, No 9 (September 2006), <http://www.worldoil.com> (accessed December 20, 2006).
11. *Saenko A.E.* Sposoby izvlecheniya nefiti iz produktivnogo plasta neftegazovykh mestorozhdeniy na razlichnykh stadiakh ikh razrabotki. Territoriya Neftegaz, 2015, No 11, s. 118-124.
12. *Kalesheva G.E., Ol'khovskaya V.A.* Sostoyaniye neftenosnosti i perspektivy dobychi vysokovyazkoi nefiti v Respublike Kazakhstan // Neftpromyslovoye delo, 2015, No 5, s. 5-10.
13. *Bellman R.E. and Zadeh L.A.* Decision-making in a Fuzzy Environment, Management Science, 17, 1970, pp. B-141-B-164.