

## УВЕЛИЧЕНИЕ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**Е.Н. Мамалов, Е.В. Горшкова**

Национальная Академия Наук Азербайджана, институт Нефти и Газа, г. Баку, Азербайджан

*В мире растёт число месторождений, находящихся на последней стадии разработки. Эти месторождения характеризуются большой остаточной нефтенасыщенностью и водонасыщенностью. Кроме того, вновь открываемые месторождения характеризуются содержанием высоковязкой нефти. Разработка таких пластов связана с большими трудностями. В данной работе рассматривается комбинированная технология, позволяющая интенсифицировать добычу нефти из нефтяных пластов. Исследования проводились на однородной модели пласта в следующей последовательности. Сначала осуществляем вытеснение нефти электрохимически модифицированной водой (католитом). Затем закачиваем оторочку газожидкостной эмульсии, которую проталкиваем водой или католитом. Совместное действие эмульсии и католита приводит к росту перепада давления и изменению скорости фильтрации. В результате это приводит к росту коэффициента вытеснения нефти.*

*Ключевые слова: нефть, вязкость, электрохимически модифицированная вода, католит, эмульсия, оторочка, нефтеотдача, рН среды, фактор остаточного сопротивления, перепад, давление, расход жидкости.*

### **Введение**

С ростом числа нефтяных месторождений, содержащих высоковязкие нефти и битумы, снижается эффективность извлечения нефти из них. В пласте остаются огромные запасы нефти. Для эффективной разработки нефтяных месторождений и дальнейшего увеличения нефтеотдачи пласта предусматривается внедрение различных технологий добычи нефти. Целью данной работы является исследование комбинированной технологии воздействия на нефтяной пласт для увеличения коэффициента вытеснения нефти из пласта. Комбинированная технология состоит из двух способов воздействия на пласт:

1) вытеснение нефти закачкой электрохимически модифицированной воды (католита);

2) закачка оторочки газожидкостной эмульсии с последующим проталкиванием её водой или католитом.

Основные свойства католита хорошо рассмотрены в работах [1, 2]. Католит обладает щелочными свойствами, но, в отличие от растворов NaOH и KOH, он менее агрессивен. Католит может сохранять щелочные свойства длительное время (20–30 сут). В зависимости от времени электролиза и свойств вод можно получать

католит с заданным рН [1]. Кроме того, в работе [1] показано, что при прохождении католита через чистую пористую среду происходит снижение её проницаемости. На этом этапе, скорее всего, происходит осаждение щелочных составляющих католита на зернах кварцевого песка, что подтверждается снижением рН выходящего из пористой среды католита. После полного смачивания поверхности кварцевого песка католитом снижение проницаемости замедляется, а рН выходящего из пористой среды католита растёт. Через некоторое время проницаемость среды стабилизируется.

### **Результаты исследований**

Экспериментальные исследования были проведены на трубной модели пласта длиной 1,025 м и диаметром 0,026 м. Исследования были осуществлены как на однородной модели пласта. Данная модель пласта удовлетворяет всем требованиям теории подобия [3–5].

В качестве пористой среды использовался кварцевый песок определенной фракции, позволяющий создавать пористую среду нужной проницаемости. В экспериментах использовалась нефть вязкостью 176,5 мПа\*с и плотностью 917 кг/м<sup>3</sup>

при 20°C. В табл. 1 приведены исходные данные и основные результаты опытов.

Для сравнения результатов, полученных в ходе осуществления экспериментов, на однородной модели пласта был проведен чистый эксперимент (опыт № 1). Вытеснение нефти в нем осуществлялось дистиллированной водой. Из табл. 1 видно, что коэффициент вытеснения нефти в этих опытах небольшой. В пласте остается значительное количество остаточной нефти. Для интенсификации извлечения нефти из таких пластов был предложен комбинированный способ воздействия на пласт. Рассмотрим влияние газожидкостной оторочки и электрохимически активированной воды (католит) на процесс вы-

теснения нефти из однородного пласта. В опытах № 2 и № 4 процесс вытеснения шел в последовательности, показанной на рис. 1. На первом этапе осуществляли закачку католита. Щелочное действие католита улучшает смачиваемость породы, снижает поверхностное натяжение, тем самым происходит гидрофилизация поверхности и улучшается подвижность флюидов в пласте. Вытеснение нефти характеризуется небольшим ростом перепада давления, вызванного образованием эмульсии в пласте. Скорее всего, в пласте образуется высоковязкая эмульсия «вода в нефти», которая резко повышает коэффициент вытеснения нефти (далее – КВН), по сравнению с опытом №1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

№	Параметры	Номера опытов			
		1	2	3	4
1	Проницаемость по воде, мкм <sup>2</sup>	1,02	1,42	0,87	1,82
2	Начальные:				
	нефтенасыщенность, %	85,7	77,6	83,3	81,5
	водонасыщенность, %	14,3	22,4	16,7	18,5
3	Остаточная нефтенасыщенность, %				
	до закачки оторочки	-	25,5	50,7	28,5
	после закачки оторочки	38,5	14,7	46,5	23,7
4	Коэффициент вытеснения нефти, %				
	общий	55	85,3	53,5	71
	до закачки оторочки	-	75	49	65
	после закачки оторочки	-	10,3	4,5	6
5	Объем оторочки, поровый объем	-	0,87	0,39	0,3
6	Фактор остаточного сопротивления, R	-	5,32	4,43	2,57
7	Количество отобранной воды, пор. об.	2,66	5,34	5,52	2,70
8	Количество закачанной воды, пор. об.	3,66	6,5	5,96	3,28

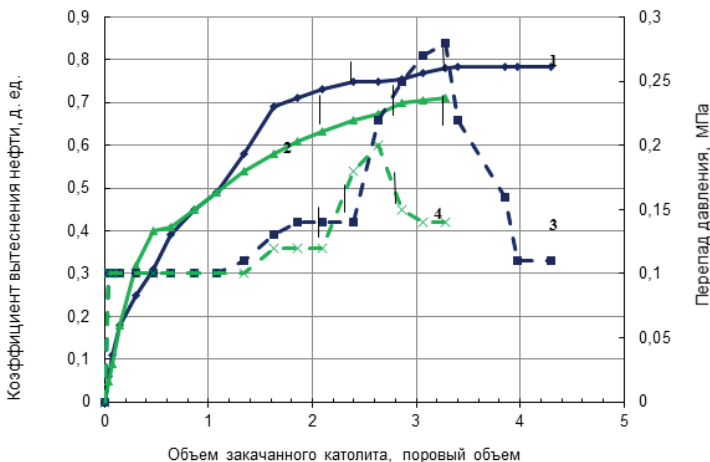


Рисунок 1. Зависимость КВН и перепада давления от объема закачанного католита: 1 и 3 – в опыте № 2, 2 и 4 – в опыте № 4

КВН в опытах № 2 и № 4 вырос на 20% и 10% соответственно. Остаточная нефтенасыщенность в опытах № 2 и № 4 составила 25,5% и 28,5% соответственно. Как видим, в пласте осталось ещё достаточное количество нефти. Поэтому после прокачки 2–2,5 пор. об. воды перешли ко второму этапу, т.е. к закачке оторочки газожидкостной эмульсии. Из рис. 1 видно, что закачка оторочки газожидкостной эмульсии приводит к росту перепада давления. Кроме того, наблюдается снижение фильтрации жидкости. Это приводит к росту фактора остаточного сопротивления, который определяется по следующей формуле (1), [6]:

$$R = n_p \cdot n_q \quad (1)$$

$$n_p = \Delta P_n / \Delta P_o, \quad n_q = q_o / q_n \quad (2)$$

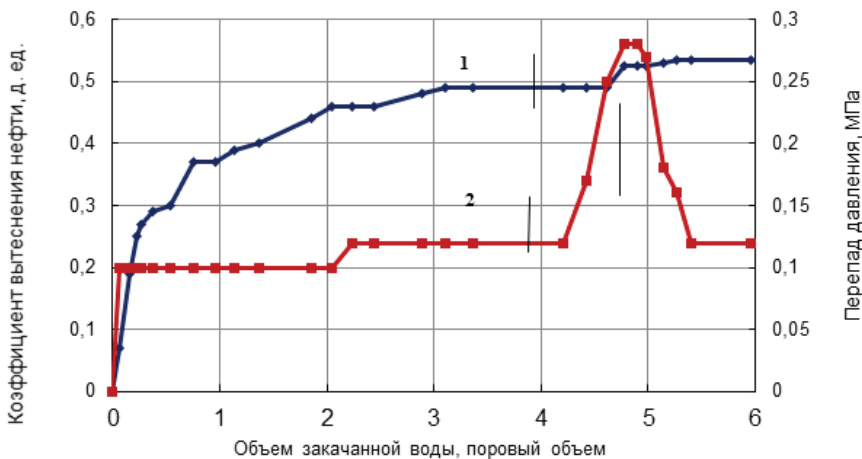
где

$\Delta P_n, q_n$  – перепад давления и расход жидкости при наличии оторочки газожидкостной эмульсии в пласте соответственно;

$\Delta P_o, q_o$  – начальные значения перепада давления и расхода жидкости соответственно.

В табл. 1 приведены значения фактора остаточного сопротивления в опытах. Чем больше объем оторочки, тем больше фактор остаточного сопротивления. Газожидкостная эмульсия способствует улучшению соотношения подвижностей

на фронте вытеснения нефти оторочкой. На этом этапе наблюдается как снижение отбора воды, так и небольшой рост нефти. Дальнейшее продвижение оторочки и вытеснение нефти осуществляли закачкой католита. Закачка католита приводит к дополнительному снижению поверхности натяжения и к улучшению смачиваемости пористой среды. Переход на закачку католита способствовал росту дополнительной добычи нефти на 10,3% и 6% соответственно в опытах № 2 и № 4 соответственно. Сходная картина наблюдается и в опыте № 3 (рис. 2). Отличительной особенностью этого опыта является изменение характера вытеснения нефти на первом этапе. На первом этапе сначала осуществляли закачку дистиллированной воды. За этот период коэффициент вытеснения нефти составил 46%. Последующая закачка католита привела к небольшому росту перепада давления и дополнительному приросту коэффициента вытеснения нефти на 3%. После прокачки 2,1 пор. об. католита процесс стабилизировался, а в отбираемой продукции наблюдаются лишь следы нефти. Остаточная нефтенасыщенность составила 50,7%. Для извлечения дополнительного количества нефти перешли на закачку газожидкостной эмульсии и католита. Дополнительная добыча составила 4,5%.



**Рисунок 2. Зависимость КВН и перепада давления от объема закачанной воды:  
1 – КВН, 2 – перепад давления в опыте № 3**

*Черточками отмечены начало и конец закачки оторочки газожидкостной смеси.*

Таким образом, видим, что закачка оторочки газожидкостной эмульсии изменяет фильтрационные характеристики

пласта, приводит к росту фактора остаточного сопротивления. Применение данного способа в слоисто-неоднородных пластах

позволит увеличить эффективность вытеснения нефти из малопроницаемого пласта за счет выравнивания скорости вытеснения, вызванного перераспределением

потока закачиваемой жидкости по слоям разной проницаемости, за счет роста фактора остаточного сопротивления в высокопроницаемом слое.

### Список использованной литературы

1. Мамалов Е.Н. Основные свойства электрохимически модифицированной воды, необходимые при использовании её в нефтедобыче. – Материалы международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений». – Актау, 2019, т. 1, с. 289–296. // Mamalov E.N. Osnovnye svoistva elektrohimicheski modifitsirovannoi vody, neobhodimye pri ispol'zovanii eyo v neftedobyche [The main properties of electrochemically modified water, which are necessary when using it in oil production]. – Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Sostojanie i perspektivy jekspluatatsii zrelyh mestorozhdenij» [Materials of the international scientific-practical conference "State and prospects for the exploitation of mature fields"]. – Aktau, 2019, t. 1, pp. 289–296.
2. Мугатабарова А.А. Исследование влияния электрохимической активации минерализованных вод на фильтрационные характеристики. – Автореф. дисс. канд. техн. наук, Уфа, 2012, 25 с. // 2. Mugatabarova A.A. Issledovanie vliyaniya elektrohimicheskoi aktivatsii mineralizovannykh vod na fil'tracionnye harakteristiki [Study of the effect of electrochemical activation of mineralized waters on filtration characteristics]. – Avtoref. kand. tehn. nauk diss., Ufa, 2012, 25 p.
3. Эфрос Д.А. Исследование фильтрации неоднородных систем. – М., Гостоптехиздат, 1963, 351 с. // Efros D.A. Issledovanie fil'tracii neodnorodnykh sistem [Investigation of the filtration of inhomogeneous systems]. – Moscow, Gostoptehizdat, 1963, 351 p.
4. Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. – М., Альянс, 2005, 311 с. // Gimatudinov Sh.K., Shirkovskij A.I. Fizika neftyanogo i gazovogo plasta [Physics of an oil and gas reservoir]. – Moscow, Al'jans, 2005, 311 p.
5. Мамалов Е.Н. Приближенное моделирование влажного внутрислоевого горения применительно к слоисто-неоднородным пластам. Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие нефтегазового комплекса Казахстана». – Актау, 2013, ч. 2, с. 185–192. // Mamalov E.N. Priblizhennoe modelirovanie vlazhnogo vnutriplastovogo goreniya primenitel'no k sloisto-neodnorodnym plastam. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii «Innovacionnoe razvitie neftegazovogo kompleksa Kazakhstana» [Approximate modeling of wet in-situ combustion as applied to layered-heterogeneous formations. Proceedings of the International scientific and practical conference "Innovative development of the oil and gas complex of Kazakhstan"]. – Aktau, 2013, ch. 2, pp. 185–192.
6. Мамалов Е.Н., Горшкова Е.В. Регулирование перемещения фронта вытеснения и повышение охвата слоисто-неоднородного пласта процессом внутрислоевого горения за счет применения пенных систем. – Материалы международной научно-практической конференции «Современные методы разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами и нетрадиционными коллекторами». – Актау, 2019, т. 1, с. 276–287. // Mamalov E.N., Gorshkova E.V. Regulirovanie peremeshheniya fronta vytesneniya i povyshenie ohvata sloisto-neodnorodnogo plasta processom vnutriplastovogo goreniya za schet primeneniya pennyyh sistem [Controlling the migration of the displacement front and increasing the coverage of a layered-heterogeneous reservoir by the process of in-situ combustion through the use of foam systems]. – Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii «Sovremennye metody razrabotki mestorozhdenii s trudnoizvlekaemyimi zapasami i netraditsionnymi kollektorami» [Proceedings of the international scientific-practical conference "Modern methods of field development with hard-to-recover reserves and unconventional reservoirs"]. – Aktau, 2019, v. 1, pp. 276–287.

## АРАЛАС ТЕХНОЛОГИЯНЫ ҚОЛДАНУ ЕСЕБІНЕН ҚАБАТТЫҢ МҰНАЙ БЕРУІН АРТТЫРУ

Е.Н. Мамалов, Е.В. Горшкова

Әзірбайжан Ғылым Ұлттық Академиясы, Мұнай және Газ институты, Баку қ-сы, Әзірбайжан

Әлемде игерудің соңғы сатысында тұрған кен орындарының саны өсуде. Бұл кен орындары үлкен қалдық мұнайдың қанығуымен және судың қанығуымен сипатталады. Сонымен қатар, жаңадан ашылған кен орындары жоғары тұтқырлы мұнайдың құрамымен сипатталады. Мұндай қабаттардың дамуы үлкен қиындықтармен байланысты. Бұл жұмыс мұнай қабаттарынан мұнай өндіруді күшейтуге мүмкіндік беретін біріктірілген технологияны қарастырады. Зерттеулер біртекті қабат моделінде келесі ретпен жүргізілді. Біріншіден, біз мұнайды электрохимиялық модификацияланған сумен (католитпен) алмастырамыз. Содан кейін біз сумен немесе католитпен итеретін газ сұйықтығы эмульсиясының жиегін айдаймыз. Эмульсия мен католиттің бірлескен әрекеті қысымның төмендеуіне және сұзу жылдамдығының өзгеруіне әкеледі. Нәтижесінде бұл мұнайды ығыстыру коэффициентінің өсуіне әкеледі.

Негізгі сөздер: мұнай, тұтқырлық, электрохимиялық түрлендірілген су, католит, эмульсия, жиек, мұнай шығару, pH орта, қалдық кедергі факторы, айырмашылық, қысым, сұйықтық шығыны.

## INCREASED OIL RECOVERY THROUGH THE USE OF COMBINED TECHNOLOGY

E.N.Mamalov, E.V.Gorshkova

Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Oil and Gas, Baku, Azerbaijan

There is a growing number of fields in the world that are at the last stage of development. These fields are characterized by high residual oil saturation and water saturation. In addition, newly discovered fields are characterized by the content of high-viscosity oil. The development of such reservoirs is associated with great difficulties. This paper considers a combined technology that allows to intensify oil production from oil reservoirs. The studies were carried out on a homogeneous reservoir model in the following sequence. First, we carry out the displacement of oil by injecting electrochemically modified water (catholyte). Then we pump in a gas-liquid emulsion slug, which we push through with water or catholyte. The combined action of the emulsion and catholyte leads to an increase in the pressure drop and a change in the filtration rate. As a result, this leads to an increase in the oil recovery factor.

Keywords: oil, viscosity, electrochemically modified water, catholyte, emulsion, slug, oil recovery, medium pH, residual resistance factor, differential pressure, fluid flow.

### Информация об авторах

**Мамалов Евгений Николаевич** – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, [evgeniy\\_mamalov@rambler.ru](mailto:evgeniy_mamalov@rambler.ru).

**Горшкова Евгения Вячеславовна** – докт. наук PhD в области геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, [jenyagarshkova@rambler.ru](mailto:jenyagarshkova@rambler.ru).

Институт Нефти и Газа Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

\*Автор, ответственный за переписку