

**Е. К. ОНГАРБАЕВ<sup>1,2\*</sup>, Е. КАНЖАРКАН<sup>2</sup>, Е. ТИЛЕУБЕРДИ<sup>1,2</sup>,  
А. Б. ЖАМБОЛОВА<sup>2</sup>, Н. М. АБДУЛЛА<sup>1</sup>, С. К. ТАНИРБЕРГЕНОВА<sup>2</sup>,  
З. А. МАНСУРОВ<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт проблем горения, Алматы, Казахстан

## ПОДБОР РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ АСФАЛЬТЕНОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

*Статья посвящена подбору оптимальных растворителей для удаления асфальтеносмолопарафиновых отложений. Рассмотрена эффективность различных растворителей по отношению к асфальтеносмолопарафиновым отложениям (АСПО) месторождения Озен. По результатам экспериментов выявлено, что наиболее эффективным композиционным растворителем является состав, содержащий 50 % бензиновой фракции и 50 % керосиновой фракции. Данный композиционный состав за 5 часов показал потерю массы отложений 97,7 %, растворяющую способность 93,5 г/см<sup>3</sup>. Эффективность композиционного состава подтверждает парафинистый тип отложений, что объясняется высоким содержанием парафинов в составе нефти месторождения Озен. Ароматические растворители показали относительно низкую растворяющую способность по сравнению с алифатическими растворителями, что также подтверждает низкое содержание смол и асфальтенов в составе АСПО.*

**Ключевые слова:** асфальтеносмолопарафиновые отложения, растворитель, асфальтены, парафины, смолы.

**Введение.** Эффективность добычи и транспортировки нефти и газа снижается в результате образования в трубопроводах, подземном оборудовании и призабойной зоне продуктивного пласта асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО). АСПО в основном состоят из 40–60% твердого парафина, 10–56% смол и асфальтенов, воды, песка и неорганических солей. Они образуются в результате изменения термобарических условий. При снижении температуры в стволе скважины до температуры начала кристаллизации происходит образование в нефти кристаллов парафина, которые являются центрами кристаллизации.

В зависимости от содержания асфальтенов, смол и парафинов АСПО делят на три типа: асфальтеновый –  $\Pi/(A+C) < 1$ ; парафиновый –  $\Pi/(A+C) > 1$ ; смешанный –  $\Pi/(A+C) \sim 1$ , где  $\Pi$ ,  $A$  и  $C$  – массовое содержание парафинов, смол и асфальтенов, соответственно.

Борьба с АСПО ведется по двум направлениям: предотвращение образования и удаление образовавшихся отложений [1]. Для предотвращения образования АСПО применяют химические, физические методы и используют гладкие покрытия. Химические методы включают закачку ингибиторов: диспергаторов, депрессаторов, смазывателей и модификаторов.

Для удаления отложений используются тепловые, химические и механические методы [2]. Химические методы подразумевают применение растворителей в ка-

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [erdos.ongarbaev@kaznu.kz](mailto:erdos.ongarbaev@kaznu.kz)

честве реагентов для удаления АСПО. Растворители условно делят на несколько групп: индивидуальные растворители, природные растворители, продукты и отходы процессов нефтепереработки и нефтехимии, растворители и их смеси с добавками ПАВ.

Физико-химические подходы к выбору эффективных растворителей АСПО рассмотрены в работе [3]. Разработаны способы оценки эффективности реагентов для растворения АСПО на основе определения кинетики протекающих процессов при различных температурных режимах и оценки изменения температур плавления парафина после обработки различными реагентами. Раскрыты закономерности влияния химической природы соединений, входящих в состав композиционных алифатико-нафтеново-ароматических растворителей на температуры процессов кристаллизации и плавления, а также степень кристалличности промысловых парафинов.

Из индивидуальных растворителей наибольшую эффективность проявляют ароматические соединения, такие как бензол, толуол, ксилолы. Однако эти реагенты обладают высокой токсичностью и пожароопасны. Поэтому наибольшее распространение на промыслах получили природные растворители, такие как газовый конденсат, газовый бензин, смесь сжиженных нефтяных газов, гексановая фракция и др. Они доступны, однако их эффективность невысокая, так как смолы и асфальтены плохо растворимы в низкипящих алифатических углеводородах. Поэтому в природные растворители вводят различные присадки: спирты, эфиры, фенол и его производные с концентрацией 0,1-3 %.

Главным фактором, обуславливающим хорошую растворимость компонентов АСПО в том или ином классе углеводородов, следует признать возможность благоприятной сольватации растворяемого вещества растворителем, протекающую на молекулярном уровне [4]. С учетом данного фактора парафины хорошо растворимы в легких алканах, благодаря протеканию благоприятной сольватации и высокой энергии молекул растворителя. Широко распространенные в нефти нафтеновые углеводороды являются нежелательными компонентами растворителей, так как неспособны сольватировать парафины и смолисто-асфальтеновые вещества.

Влияние алифатических, нафтеновых и ароматических углеводородов на содержание кристаллической фазы и температуру плавления парафинов в композиционных растворителях показано в работе [5]. Установлено, что степень кристалличности парафинов зависит от степени алифатичности растворителя и уменьшается в последовательности алифатический → алифатико-ароматический → алифатико-нафтеново-ароматический растворитель, а их температуры плавления увеличиваются в ряду алифатико-ароматический → алифатический → алифатико-нафтеново-ароматический растворитель.

Хлорированные углеводороды различных типов являются эффективными растворителями, потому что они относительно недорогие и имеют высокий удельный вес [6]. Высокий удельный вес – важный фактор, который поможет проникновению растворителей и растворяют парафиновые отложения, как правило, внизу проточной части. Однако хлорированные углеводороды вызывают отравление, а ароматические растворители имеют низкий удельный вес и их трудно использовать на забое скважин. Они также имеют низкую температуру вспышки, и обращение с ними становит-

ся трудным, в то время как сероуглерод очень эффективен, но так же легко воспламеняется с токсичными парами.

Таким образом, обзор литературных источников показал, что не существует универсального растворителя для удаления АСПО. Выбор наиболее оптимального растворителя АСПО в скважинах осуществляют с учетом условий эксплуатации и особенностями конструкции скважин, а также с учетом свойств и состава добываемой продукции.

В данной работе проведено исследование подбора эффективного растворителя для удаления АСПО месторождения Озен.

**Методы и материалы.** Определение растворимости АСПО из нефти месторождения Озен проводили в статических условиях при заданной температуре. Статический режим моделирует технологию очистки путем закачки растворителя в остановленный нефтепровод или скважину с последующим выдерживанием на реагирование в течение нескольких часов [7].

В предварительно взвешенные с точностью до 0,001 г корзинки из металлической сетки помещали уплотненные до однородного состояния парафиновые отложения массой 2,5 г. В сосуд наливали заданное количество растворителя, соотношение количества отложений и реагента изменяется от 1:5 до 1:50. Корзинки с отложениями помещали в емкости с растворителем. Время контакта АСПО с растворителем составило от 3 до 24 часов. Испытания проводились при комнатной температуре.

По окончании опыта корзинки извлекали из растворителя и высушивали до постоянной массы при комнатной температуре в течение нескольких часов.

Потерю массы отложений для каждого опыта (П) в мас. % вычисляли по формуле 1:

$$\text{П} = [(m_1 - m_2) / m_1] \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса исследуемого образца отложений до контакта с реагентом, г;  $m_2$  – масса нерастворимого остатка отложений после контакта с реагентом.

Растворяющую способность реагента (С) в г/см<sup>3</sup> вычисляли по формуле 2:

$$\text{С} = [(m_1 - m_2) / V] \cdot 1000, \quad (2)$$

где V – объем растворителя, см<sup>3</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Была исследована эффективность нескольких видов растворителей, которые были поделены на две группы: алифатической и ароматической природы. Деление на группы связано с тем, что парафины хорошо растворяются в алифатических и ароматических растворителях, а смолы и асфальтены хорошо растворяются в ароматических растворителях. В качестве растворителей алифатической природы были выбраны: гексан, уайт-спирит, бензиновая и керосиновая фракции. В качестве растворителей ароматической природы были выбраны: бензол, толуол и о-ксилол.

Результаты испытаний с растворителями алифатической природы приведены в таблице 1. Из полученных результатов следует, что практически все растворители алифатической природы за 5 часов показали близкое значение потери массы отложений в пределах от 96 до 98,9%. Однако растворяющая способность растворителей сильно отличается. Максимальную растворяющую способность 78 г/см<sup>3</sup> за 3 часа проявляет

бензиновая фракция. Керосиновая фракция и уайт-спирит уступают по растворяющей способности, гексан, несмотря на высокое значение потери массы отложений, показал минимальное значение данного показателя. Поэтому для составления композиционного состава растворителей были выбраны бензиновая, керосиновая фракции и уайт-спирит. Результаты испытаний композиционных составов растворителей показали, что максимальными значениями потери массы АСПО и растворяющей способностью обладает смесь, состоящая из 50 % бензиновой фракции и 50% керосиновой фракции. Данная смесь за 5 часов показала значение потери массы отложений 97,7 % и растворяющую способность 93,5 г/см<sup>3</sup>.

Результаты испытаний эффективностей растворителей ароматического ряда представлены в таблице 2. Здесь также потеря массы отложений находится в пределах от 93 до 98 %, однако значение растворяющей способностей растворителей сильно отличаются. Наиболее эффективным по данному показателю (76,48 г/см<sup>3</sup>) оказался о-ксилол. Бензол и толуол показали более высокие значения потери массы отложений, но их растворяющая способность оказалась низкой.

Так как АСПО содержит не только парафиновые углеводороды, но и смолисто-асфальтеновые вещества, был испытан комбинированный композиционный состав растворителей из 75 % уайт-спирита и 25 % о-ксилола. Использование данной смеси привело к незначительному повышению растворяющей способности до 77,6 г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 1** – Результаты испытаний эффективности растворителей алифатической природы по отношению к АСПО месторождения Озен

Растворитель	Время, ч	П, %	С, г/см <sup>3</sup>
1	2	3	4
Гексан	3	95,63	61,25
	4	97,23	62,28
	5	97,23	62,28
Уайт-спирит	3	54,71	38,88
	4	74,42	52,87
	5	81,88	58,18
	24	98,91	70,28
Бензин	3	98,42	78,00
Керосин	3	74,27	56,95
	4	85,69	65,70
	5	91,03	69,80
	24	96,67	74,13
50 % бензин + 50 % уайт-спирит	3	94,90	87,55
	4	96,07	88,63
50% бензин + 50% керосин	3	90,00	86,10
	4	94,90	90,80

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
	5	97,70	93,50
50 % керосин + 50 % уайт-спирит	3	66,84	52,25
	4	78,22	61,15
	5	83,91	65,60
	24	97,35	76,10

**Таблица 2** – Результаты испытаний эффективности растворителей ароматической природы по отношению к АСПО месторождения Озен

Растворитель	Время, ч	П, %	С, г/см <sup>3</sup>
Бензол	3	98,29	58,90
	4	99	59,35
	5	99	59,35
Толуол	3	99,15	72,98
о-ксилол	3	97,38	75,30
	4	98,90	76,48
75% уайт-спирит + 25% о-ксилол	3	93,82	74,05
	4	98,32	77,6

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных исследований определена эффективность растворителей по отношению к асфальтеносмолопарафиновым отложениям (АСПО) месторождения Озен. Результаты испытаний показали, что наиболее эффективным композиционным растворителем является смесь, состоящая из 50% бензиновой фракции и 50 % керосиновой фракции. Данная композиция за 5 часов позволяет достичь потерю массы отложений 97,7 %, при этом имеет растворяющую способность 93,5 г/см<sup>3</sup>. Эффективность данной композиции подтверждает парафинистый тип отложений, что объясняется высоким содержанием парафинов в составе нефти месторождения Озен. Ароматические растворители показали относительно низкую растворяющую способность по сравнению с алифатическими растворителями, что также подтверждает низкое содержание смол и асфальтенов в составе АСПО.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК по программно-целевому финансированию по теме «OR11465430 Разработка новых композиционно-конструкционных материалов для развития инновационной индустрии Республики Казахстан» по подпрограмме «Разработка новых видов реагентов с улучшенными реологическими свойствами для нефтедобывающей промышленности».

## ЛИТЕРАТУРА

1 Sousa A.L., Matos H.A., Guerreiro L.P. Preventing and removing wax deposition inside vertical wells: a review // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2019. 9:2091-2107. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0609-x>.

2 Иванова Л.В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. – 2011. – № 1. – С. 268-284.

3 Иванова И.К. Физико-химические подходы к выбору эффективных растворителей асфальтосмолопарафиновых отложений // *Диссертация на соискание ученой степени д-ра хим. наук*. – Якутск, 2019. – 266 с.

4 Турукалов М.Б., Строганов В.М., Ясьян Ю.П. Образование асфальто-смоло-парафиновых отложений в нефтедобыче: альтернативный взгляд на механизм // *Нефтепереработка и нефтехимия*. – 2007. – № 7. – С. 31-34.

5 Иванова И.К., Каширцев В.А., Семенов М.Е., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н., Поргнягин А.С. Влияние состава растворителя на содержание кристаллической фазы и температуры плавления парафинов // *Журнал прикладной химии*. – 2020. – Т. 93, Вып. 4. – С. 600-608

6 Theyab MA (2020) A Review of Wax Mitigation Methods through Hydrocarbon Production // *J. Pet. Environ. Biotechnol*. 9:412.

7 Насыбуллина А.Ш., Галиева А.М., Сабитов Р.Ф. Разработка композиционного растворителя для очистки магистрального нефтепровода Ножовского месторождения // *Вестник технологического университета*. – 2016. – Т. 19, № 14. – С. 83-85.

## REFERENCES

1 Sousa A.L., Matos H.A., Guerreiro L.P. Preventing and removing wax deposition inside vertical wells: a review // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2019. 9:2091-2107. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0609-x>.

2 [Ivanova LV, Burov YA, Koshelev VN. Asfaltosmoloparafinovye otlozhenia v processah dobychi, transporta i hranenia. *Neftgazovoe delo*. 2011. 1:268-284.].

3 [Ivanova IK. Fiziko-himicheskie podhody k vyboru effektivnykh rastvoritelei asfaltosmoloparafinovyyh otlozhenii. Dissertation for the degree of dr. chem. sciences. Yakutsk. 2019. 266 p.].

4 [Turukalov MB, Stroganov VM, Yasian YP. Obrazovanie asfalto-smolo-parafinovyyh otlozhenii v nefteдобыче: alternativnyi vzglyad na mehanizm. *Neftepererabotka i neftehimia*. 2007. 7:31-34.].

5 [Ivanova IK, Kashircev VA, Semenov ME, Glyaznecova YS, Chalaya ON, Zueva IN, Portnyagin AS. Vlianie sostava rastvoritelya na sodержanie kristallicheskoj fazy i temperatury plavlenia parafinov. *Zhurnal prikladnoi himii*. 2020. 93 (4): 600-608.]. DOI: 10.31857/S0044461820040155.

6 Theyab MA (2020) A Review of Wax Mitigation Methods through Hydrocarbon Production // *J. Pet. Environ. Biotechnol*. 9:412.

7 [Nasybullina AS, Galieva AM, Sabitov RF. Razrabotka kompozitsionnogo rastvoritelya dlya oчитки magistralnogo nefteпровода Nozhovskogo mestorozhdenia. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2016. 19 (14): 83-85.].

**Е. К. ОҢҒАРБАЕВ<sup>1,2</sup>, Е. ҚАНЖАРҚАН<sup>2</sup>, Е. ТІЛЕУБЕРДІ<sup>1,2</sup>, А. Б. ЖАМБОЛОВА<sup>2</sup>,  
Н. М. АБДУЛЛА<sup>1</sup>, С. К. ТАНИРБЕРГЕНОВА<sup>2</sup>, З. А. МАНСУРОВ<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан

## **АСФАЛЬТЕН-ШАЙЫР-ПАРАФИНДІ ШӨГІНДІЛЕРДІ ЕРІТУ ҮШІН ЕРІТКІШТЕРДІ ТАҢДАУ**

Мақала асфальтен-шайыр-парафинді шөгінділерді еріту үшін оңтайлы еріткіштерді таңдауға арналған. Өзен кен орнының асфальтен-шайыр-парафинді шөгінділеріне (АШПШ) қатысты әртүрлі еріткіштердің тиімділігі қарастырылды. Эксперимент нәтижелері бойынша ең тиімді композитті еріткіш құрамы 50% бензин фракциясы мен 50% керосин фракциясынан тұратындығы анықталды. Бұл композитті құрам 5 сағатта шөгінділер массасының 97,7% жоғалуын көрсетті, еріту қабілеті 93,5 г/см<sup>3</sup> болды. Композитті құрамның тиімділігі шөгінділердің парафиндік түрін растайды, бұл Өзен кен орнының мұнайының құрамында парафиндердің мөлшерінің жоғары болуымен түсіндіріледі. Ароматты еріткіштер алифатты еріткіштермен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен еру қабілеттілігін көрсетті, бұл сонымен қатар АШПШ құрамындағы шайырлар мен асфальтендердің мөлшерінің аздығын растайды.

**Түйін сөздер:** асфальтен-шайыр-парафинді шөгінділер, еріткіш, асфальтендер, парафиндер, шайырлар.

**Y. K. ONGARBAYEV<sup>1,2</sup>, Y.KANZHARKHAN<sup>2</sup>, Y.TILEUBERDI<sup>1,2</sup>,  
A. B. ZHAMBOLOVA<sup>2</sup>, N. M. ABDULLA<sup>1</sup>, S. K. TANIRBERGENOVA<sup>2</sup>,  
Z. A. MANSUROV<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

## **SELECTION OF SOLVENTS FOR REMOVING ASPHALTEN RESIN PARAFFIN DEPOSITS**

The article is devoted to the selection of optimal solvents for the removal of asphaltene-resin-paraffin deposits. The efficiency of various solvents in relation to asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD) of the Ozen deposit is considered. According to the results of the experiments, it was revealed that the most effective composite solvent is a composition containing 50% of the gasoline fraction and 50% of the kerosene fraction. This compositional composition for 5 hours showed a loss of mass of deposits of 97.7%, a dissolving capacity of 93.5 g/cm<sup>3</sup>. The effectiveness of the compositional composition is confirmed by the paraffinic type of deposits, which is explained by the high content of paraffins in the oil composition of the Ozen field. Aromatic solvents showed a relatively low dissolving power compared to aliphatic solvents, which also confirms the low content of resins and asphaltenes in the ARPO composition.

**Key words:** asphaltene-resin-paraffin deposits, solvent, asphaltenes, paraffins, resins.