

УДК 622.276.72

## **РАССМОТРЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

**В. С. ГОРБАЧЕНКО**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

**Н. А. ДЕМЯНЕНКО**

*Белорусский научно-исследовательский и проектный  
институт нефти, г. Гомель*

### **Введение**

В процессах добычи нефти преобладающим видом осложнений в работе скважинного оборудования являются асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) на скважинном оборудовании. В большинстве случаев, если не применяются технологии предупреждения образования АСПО, это приводит к значительному сокращению межремонтного периода эксплуатации оборудования. Интенсивное образование АСПО может привести к полному перекрытию проходного сечения насосно-компрессорных труб (НКТ), кольцевых каналов в затрубном пространстве, заклиниванию насосного оборудования, что ведет к прекращению работы оборудования в оптимальном режиме или выводу его из строя. Для ввода скважин в эксплуатацию необходимо проведение дорогих подземных ремонтов, связанных с подъемом насосного оборудования, проведением депарафинизации скважин, НКТ и насосного оборудования. Следствием этого являются простой скважины, потеря добычи нефти, дополнительные финансовые затраты на проведение подземного ремонта скважин и т. д.

Описанные выше последствия представляют серьезную проблему для предприятий нефтедобычи как с технической, технологической, экономической, так и экологической точек зрения, так как значительные объемы АСПО после очистки оборудования накапливаются в нефтешламных амбарах и ухудшают экологическую обстановку. Для исключения возникновения подобных ситуаций необходимо применять различные методы предупреждения и борьбы с возникновением этих осложнений. Необходимость борьбы с этими негативными явлениями ведет к удорожанию добычи нефти, снижает пропускную способность нефтепроводов, приводит к большим перерасходам энергии и неизбежным затратам на очистку оборудования. Все это усложняет технологию нефтедобычи и повышает себестоимость добычи нефти. При этом необходимо отметить, что образующиеся асфальтосмолопарафиновые отложения по своей ценности не являются неизбежными отходами нефтедобычи, напротив, сохранение их в составе товарной нефти могло бы расширить ассортимент получаемых из нее продуктов нефтепереработки.

Цель работы – исследовать основные физико-химические свойства АСПО нефтей месторождений Республики Беларусь для осуществления анализа процесса образования отложений при добыче нефти и определение критериев, позволяющих производить рациональный выбор способов борьбы и профилактики отложений на скважинном оборудовании.

### Используемые методы борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями

В настоящее время наиболее распространенными методами борьбы с отложениями АСПО на скважинном оборудовании является химический, тепловой и механизированный методы. Для эффективного предупреждения и борьбы с отложениями АСПО на насосном оборудовании необходимо постоянно совершенствовать технологии борьбы [1], [2].

Об актуальности проблемы борьбы с АСПО свидетельствуют следующие данные. В НГДУ «Речицанефть» 94 % скважин механизированного фонда работают в осложненных условиях, связанных с образованием АСПО, хлоридных и карбонатных солей, а также коррозионных повреждений. Для предупреждения этого негативного явления в период в 2009–2014 гг. на месторождениях НГДУ «Речицанефть» наблюдается интенсивное внедрение нефтехимии, направленной на борьбу с АСПО в процессе добычи нефти (рис. 1). За рассматриваемый период количество скважин, обрабатываемых нефтехимией, увеличилось на порядок – с 19 до 191 ед.

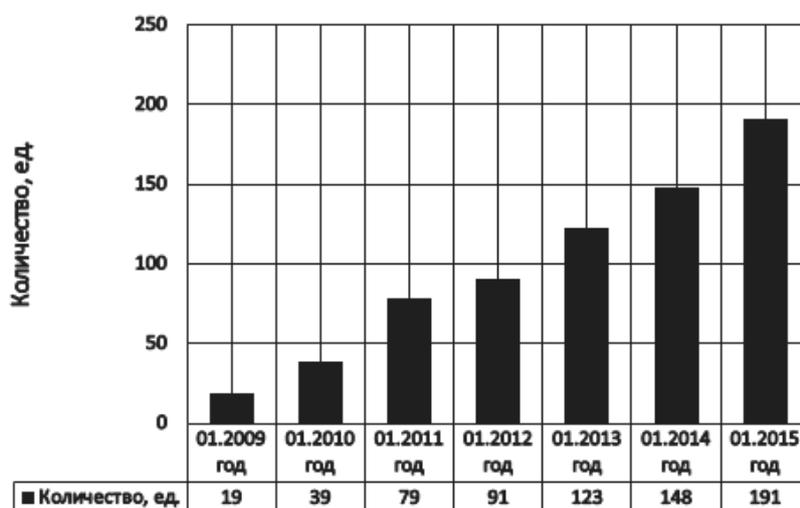


Рис. 1. Динамика внедрения промышленной нефтехимии за период 2009–2014 гг.

По состоянию на 01.12.2015 г. обработкой нефтехимией разной направленности охвачено более 300 добывающих скважин НГДУ «Речицанефть», что составляет около 40 % от механизированного фонда. Данные на рис. 1 показывают, что отложения АСПО на скважинном оборудовании и борьба с ними являются серьезной проблемой нефтедобычи в Республике Беларусь. Подбор продуктивных способов по удалению и профилактике асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтепромысловом оборудовании требует хорошего знания физико-химических свойств АСПО для той или иной скважины и месторождения в целом.

### Исследование свойств асфальтосмолопарафиновых отложений

В данной работе рассмотрены физико-химические свойства и состав АСПО разгазированной нефти из скважин пяти залежей месторождений Республики Беларусь: межсолевой VII–IX пачек Речицкого, воронежской II пачки Барсуковского, семилукской западного блока Москвичевского, семилукской I блока Восточно-Первомайского и семилукской восточного блока Озерщинского. Состав физико-химических свойств разгазированной нефти перечисленных месторождений приведен в табл. 1. Как видно из данных табл. 1, для нефтей каждой из залежей характерно значительное различие в содержании асфальтенов–смола–парафинов.

Основным параметром, характеризующим физико-химическую природу АСПО, является плотность. Этот параметр можно приблизительно установить теоретическим путем, исходя из состава исходной нефти, из которой выделяются АСПО.

Таблица 1

## Физико-химические свойства разгазированной нефти

Месторождения	Залежь	Массовое содержание, %			Температура плавления парафина, °С	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>
		асфальтенов	смола	парафинов		
Речицкое	zd VII–IX пачки	1,28	13,76	4,74	59	869
Барсуковское	vr II пачка	0,56	5,13	8,4	54	832
Москвичевское	sm западное	0,89	6,19	8,02	57	822
Восточно-Первомайское	sm I блок	0,03	1,32	10,24	59	796
Озерщинское	sm восточное	0,16	1,65	6,33	54	795

Плотность АСПО, как правило, превышает плотность нефтей, что связано с большим содержанием в них смол и асфальтенов по сравнению с нефтью. Однако превышение плотностей АСПО исследуемых нефтей относительно друг друга будет пропорционально превышению плотностей рассматриваемых нефтей. Это четко прослеживается по данным табл. 1. На основании физико-химических свойств нефтей (табл. 1) производим разделение АСПО этих нефтей по типам (табл. 2).

Таблица 2

## Разделение АСПО на типы

Месторождение	Показатель АСПО	Тип АСПО
Речицкое	0,35	Асфальтеновый (А)
Барсуковское	1,48	Парафиновый (П)
Москвичевское	1,13	Смешанный (С)
Восточно-Первомайское	7,56	Парафиновый (П)
Озерщинское	3,49	Парафиновый (П)

Показатель АСПО в табл. 2 определяется как отношение содержания парафинов к сумме смол и асфальтенов исследуемых нефтей. Плотность АСПО будет наименьшая, если они выделились из парафиновых нефтей, а наибольшее значение плотности будет достигнуто из нефтей с высоким содержанием асфальто-смолистых веществ в АСПО. Различия в значениях плотности АСПО также могут быть за счет того, что в состав отложений входят и другие компоненты, такие как сера, азот, различные механические примеси и др.

Наличие в нефти частиц песка, глины и других механических примесей упрочняют АСПО, весьма часто выступая центрами кристаллизации парафина. Вода, содержащаяся в нефти в жидком состоянии, понижает растворимость парафина и повышает температуру начала его осадконакопления. Присутствие в нефти свободной воды, в виде тонкой эмульсии, оказывает на парафин действие, аналогичное механической примеси, а также повышает вязкость нефти. В условиях инверсии фаз при содержании в добываемой продукции вместе с нефтью около 58 % и более воды (это касается месторождений на поздней стадии разработки, когда вода становится сплошной фазой) она противодействует образованию АСПО [3], [4].

Также важным показателем для процессов удаления АСПО является температура плавления, которая позволяет оценить подвижность АСПО и определяется их химическим составом. Чем выше температура плавления АСПО, тем выше в нем содержание высокомолекулярных, тугоплавких соединений и тем хуже данные отложения поддаются удалению.

Как показывают данные из табл. 1, исследуемые АСПО занимают промежуточное значение между тугоплавкими и отложениями, имеющими низкую температуру плавления [5].

### **Процесс образования асфальтосмолопарафиновых отложений**

Экспериментальные и практические исследования многочисленных лабораторий нефтедобывающих предприятий показали, что, прежде чем парафин выделяется на поверхности скважинного оборудования, его кристаллы производят преобразование своих структур так, что, соединяясь между собой, образуют широкообразную сплошную решетчатую ленту. В такой форме адгезионные свойства парафина усиливаются во много раз, и его способность накапливаться на твердой поверхности значительно увеличивается. Но если нефть содержит асфальтены в достаточно большом объемном соотношении (4–6 % и выше), тогда сказывается их депрессорное действие. Так как асфальтены могут выступать центрами кристаллизации, то, участвуя в сокристаллизации с алкильными цепочками асфальтенов, парафиновые молекулы образуют точечную структуру. Таким образом, образование сплошной решетки не происходит. Вследствие этого парафин перераспределяется между множеством мелких центров и осаждение парафинов на поверхности существенно уменьшается [6].

Смолы способствуют созданию условий для образований широкоподобных ленточных парафиновых кристаллов и их осаждению на поверхности скважинного оборудования. При этом они своим присутствием препятствуют воздействию асфальтенов на парафин, нейтрализуя их. Как и асфальтены, смолы также влияют на величину температуры насыщения нефти парафином, но влияние их носит противоположный характер: с ростом их массового содержания в нефти температура насыщения нефти парафином возрастает [7].

Находящиеся в нефти АСПО могут выпадать в призабойной зоне пласта, на различных участках внутрискважинного и наземного оборудования. Толщина отложений и содержание в них парафина увеличиваются по мере приближения к устью скважины. Описанное явление происходит по следующей причине: по мере приближения от забоя скважины к устью происходит снижение давления в потоке жидкости, движущемся по насосно-компрессорным трубам. Когда давление в потоке становится меньше давления насыщения, происходит выделение газа из добываемой однофазной жидкости. Дальнейшее снижение давления в потоке добываемого пластового флюида сопровождается увеличением объема газовой фазы и созданием условий, при которых начнется интенсивное выделение твердых углеводородов, объем которых будет непрерывно возрастать от точки, в которой происходит выравнивание давления столба жидкости в потоке с давлением насыщения добываемой жидкости, до устья скважины. Это происходит благодаря наличию относительного движения газа, который движется быстрее, чем жидкость [8], что приводит к интенсивному изменению термобарических условий по длине насосно-компрессорных труб (по длине потока). Снижается как давление, так и температура в потоке добываемого пластового флюида.

Как правило, температура плавления отлагающего парафина уменьшается снизу-вверх, т. е. в нижней части выпадают кристаллы более тугоплавких парафинов, а в верхней – менее тугоплавких, что необходимо учитывать при проведении технологических обработок скважинного оборудования.

Интенсивность отложений АСПО во внутрискважинном оборудовании зависит от следующих факторов:

- 1) шероховатости стенок труб, способствующей выделению газа из нефти, а также охлаждению жидкости. Следовательно, растворимость парафина в нефти ухудшается, а скорость образования АСПО увеличивается;
- 2) температуры кристаллизации парафинов;
- 3) содержания механических примесей;
- 4) темпов снижения давления и температуры жидкости в потоке;
- 5) концентрации асфальтенов, смол и парафинов в нефти.

Все эти факторы должны учитываться при планировании и выполнении мероприятий по предупреждению и борьбе с отложениями АСПО на подземном оборудовании в процессе добычи нефти.

### Заключение

Исходя из представленной классификации АСПО (табл. 2) и вышеописанных условий, влияющих на процесс образования отложений АСПО на насосном оборудовании, можно предложить следующие методы борьбы с АСПО для основных способов добычи нефти в НГДУ «Речицанефть» (табл. 3) с использованием:

- установки штанговых глубинных насосов (УШГН);
- установки электроцентробежных насосов (УЭЦН);
- фонтанного способа добычи.

Таблица 3

### Мероприятия по борьбе с АСПО для основных способов добычи нефти

Порядковый номер мероприятия	Способ эксплуатации скважины		
	Фонтанный	УЭЦН	УШГН
1	Первый фактор борьбы с АСПО основан на совершенствовании внутренней поверхности насосно-компрессорных труб (НКТ). Выполнение данного способа можно организовать путем обработки поверхности НКТ лакокрасочными изделиями или применения полимерных НКТ. Этот метод применим для фонтанного способа эксплуатации, при использовании УЭЦН, а также при установке скребков-центраторов на штангах УШГН, что позволит, с одной стороны, снизить шероховатость внутренней поверхности НКТ, а соответственно, и интенсивность отложения АСПО, а с другой стороны – регулярно удалять центры кристаллизации АСПО при их образовании и избежать взаимодействия колонны штанг с НКТ		
2	В процессе выполнения работы была установлена зависимость между составом АСПО и температурой его плавления, а также было выяснено, что интенсивность асфальтосмолопарафиновых отложений на скважинном оборудовании в той или ином месте зависит от температуры добываемой жидкости. Следовательно, для предотвращения выпадения АСПО необходимо поддерживать температуру добываемой жидкости такой, чтобы ее значение по всей длине транспортировки в НКТ превышало значение температуры образования АСПО. В настоящее время НГДУ «Речицанефть» использует «греющий кабель». Принцип работы этой технологии основан на автоматическом управляемом нагреве греющим кабелем добываемой продукции и НКТ до температур, обеспечивающих плавление АСПО, их полное удаление и предотвращение дальнейшего образования в процессе добычи нефти. Кроме того, для увеличения температуры нефти, поступающей из пласта, возможна разработка и внедрение путем спуска в интервал перфорации на кабеле забойных нагревателей потока		

Порядковый номер мероприятия	Способ эксплуатации скважины		
	Фонтанный	УЭЦН	УШГН
3	С количеством механических примесей в добываемой газодонефтяной смеси рациональней всего бороться путем установки фильтров очистки жидкости на приеме насосов (при способах механизированной добычи) или на конце НКТ (если способ добычи – фонтанный)		
4	Концентрацию асфальтенов, смол и парафинов в нефти можно разбавлять путем одновременной с добычей закачкой пресной воды, так как поверхность металла лучше смачивается водой, чем нефтью. Поэтому между основным потоком, содержащим парафины, и поверхностью подъемных труб образуются тонкие гидратные слои, препятствующие отложению АСПО. Исходя из вышеописанного способа образования АСПО, исследования их физико-химических свойств, можно сделать выводы, что, манипулируя концентрацией и плотностью АСПО путем добавления в добываемую нефть необходимого количества этих же асфальтенов, смол и парафинов, осадконакопление на поверхности оборудования можно существенно уменьшать		
5	Для предупреждения отложений АСПО в ряде случаев следует продолжать применять нефтехимию – защиту оборудования с использованием ингибиторов предупреждения отложений АСПО. Необходимо проводить постоянный поиск, исследование и адаптацию к свойствам АСПО залежей месторождений Республики Беларусь с целью нахождения новых эффективных ингибиторов		

Решение проблемы, связанной с предотвращением отложения и борьбой с образованием АСПО на скважинном оборудовании, является весьма актуальным. Чтобы решить эту проблему, разработать технологии, оказывающие сильное противодействие отложению АСПО, необходимо, прежде чем использовать какие-либо методы борьбы с ним, основательно изучить состав, свойства и строение АСПО. После чего обосновать, исследовать и адаптировать наиболее рациональный способ борьбы, и используя его как можно в большей степени, нейтрализовать отложения АСПО на скважинном оборудовании.

### Литература

1. Персиянцев, М. Н. Добыча нефти в осложненных условиях / М. Н. Персиянцев. – М. : Недра. Бизнесцентр, 2000. – 653 с.
2. Иванова, Л. В. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения / Л. В. Иванова, Е. А. Буров, В. Н. Кошелев // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 1. – Режим доступа: [http://ogbus.ru/authors/IvanovaLV/IvanovaLV\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/IvanovaLV/IvanovaLV_1.pdf). – Дата доступа: 22.02.2016.
3. Шарифуллин, А. В. Состав и структура асфальтено-смоло-парафиновых отложений Татарстана / А. В. Шарифуллин, Л. Р. Байбекова, Р. Ф. Хамидуллин // Технологии нефти и газа. – 2006. – № 4. – С. 34–41.
4. Учет особенностей образования асфальтосмолопарафиновых отложений на поздней стадии разработки нефтяных месторождений / М. Ш. Каюмов [и др.] // Нефтяное хоз-во. – 2006. – № 3. – С. 48–49.
5. Иванова, Л. В. Асфальтосмолопарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения / Л. В. Иванова, Е. А. Буров, О. А. Стоколос // Нефтегазовое дело. –

2011. – № 1. – Режим доступа: [http://ogbus.ru/authors/IvanovaLV/IvanovaLV\\_2.pdf](http://ogbus.ru/authors/IvanovaLV/IvanovaLV_2.pdf). – Дата доступа: 22.02.2016.
6. Баймухаметов, М. К. Совершенствование технологий борьбы с АСПО в нефтепромысловых системах на месторождениях Башкортостана : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. К. Баймухаметов. – Уфа, 2005.
  7. Тронов, В. П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними / В. П. Тронов. – М. : Недра, 1970. – 192 с.
  8. Сорокин, А. В. Влияние газосодержания нефти на формирование АСПО в подъемнике скважины / А. В. Сорокин, А. В. Табакаева // Бурение и нефть. – 2009. – № 2. – С. 25–26.

*Получено 03.04.2016 г.*