

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛИАЛКИЛАКРИЛАТНЫХ ПРИСАДОК РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕПАРАФИНИЗАЦИИ МАСЛЯНЫХ РАФИНАТОВ

© 2023 г. И. Р. Арифиллин^{1,*}, О. А. Казанцев¹, Д. М. Каморин¹, А. А. Мойкин^{1,2},
А. С. Меджибовский², А. С. Симагин¹, А. П. Сивохин¹, С. А. Ожогин^{1,3}

¹ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, 603950 Россия

² ООО НПП «Квалитет», Москва, 115172 Россия

³ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород, 603022 Россия

*E-mail: i-arifullin@mail.ru

Поступила в редакцию 4 октября 2022 г.

После доработки 2 февраля 2023 г.

Принята к публикации 12 мая 2023 г.

Изучена эффективность введения полиакрилатных присадок разного состава при низкотемпературной депарафинизации в смешанном растворителе метилэтилкетон–толуол одиннадцати масляных фракций, различающихся вязкостью, содержанием парафинов, ароматических углеводородов и смол.

Для полиалкилакрилата с боковыми *n*-алкильными цепочками C16–20 рафинаты по степени увеличению выхода депарафинированных масел (по сравнению с процессом в отсутствие присадок) разделились на три группы – по увеличению выхода на 12–13%, 5–8% и 3–4%. Введение в состав такого полимера 5–30% полярных групп (аминоэфирных, аминокамидных, амидных, олигоэтиленгликолевых) в большинстве случаев позволило дополнительно повысить выход масла.

Ключевые слова: нефтяные масляные рафинаты, низкотемпературная растворная депарафинизация, выход масла, полиалкилакрилатные присадки, влияние полярных звеньев

DOI: 10.31857/S0028242123030139, **EDN:** JDAQNF

Низкотемпературная растворная депарафинизация масляных рафинатов – одна из самых дорогих стадий производства базовых нефтяных масел [1–3]. Это связано с высокой энергоемкостью технологии, которая представляет собой экстрактивную кристаллизацию высокомолекулярных *n*-алканов смесью растворителей с различной полярностью (обычно толуола и метилэтилкетона), осуществляемую при температурах от –10 до –65°C [4]. Один из способов повышения эффективности низкотемпературной растворной депарафинизации масляных рафинатов – использование полимерных присадок, которые в ряде случаев позволяют повы-

сить выход депарафинированного масла, а также улучшить другие технико-экономические показатели процесса.

В литературе в качестве присадок для депарафинизации (иногда их называют модификаторами структуры кристаллов парафинов) было предложено использовать множество маслорастворимых (со)полимеров различного состава, в том числе содержащих ограниченное количество полярных звеньев [5–11]. Лучшие результаты были достигнуты для высших полиалкил(мет)акрилатов с длиной алкильных групп не менее C16, способных участвовать в сокристаллизации с выс-

Таблица 1. Характеристики исследованных масляных рафинатов

Рафинаты	Тип рафината	Кинематическая вязкость		ПНУ, %	АУ _л , %	АУ _с , %	АУ _т , %	ΣАУ, %	Смолы, %
		ν_{40} , мм ² /с	ν_{100} , мм ² /с						
К-I	Вязкий	24.19	4.72	92.0	6.2	0.8	0.7	7.7	0.3
А-I	Высоковязкий	85.02	8.76	68.4	13.4	4.2	10.1	27.7	3.9
У-I	Маловязкий	13.90	3.56	88.1	7.4	1.4	2.6	11.4	0.5
У-II	Вязкий	26.10	4.97	85.8	9.2	1.5	3.0	13.7	0.5
М-III	Высоковязкий	56.03	7.37	83.6	10.7	1.7	3.4	15.8	0.6
Я-I	Вязкий	24.61	4.82	86.9	9.2	1.0	2.5	12.7	0.4
Я-II	Высоковязкий	—	7.94	85.5	9.3	1.4	3.3	14.0	0.5
Я-III	Высоковязкий	—	23.89	59.1	22.9	6.3	9.5	38.7	2.2
Н-I	Вязкий	22.13	4.35	77.1	10.4	12.2	—	22.6	0.3
Н-II	Высоковязкий	—	8.09	67.5	14.5	17.5	—	31.9	0.5
Н-III	Высоковязкий	—	18.06	57.2	19.0	22.7	—	41.7	1.1

шими нормальными парафинами. Предпочтение отдается полиалкиакилатам, содержащим в *n*-алкильных фрагментах от 16 до 20 атомов углерода (ПАА16–20) [12, 13, 14], хотя в некоторых работах предлагаются полимеры с более длинными алкильными цепочками, в частности, сополимеры бегенилакрилата (длина алкильной группы C22) с *n*-бутилметакрилатом или изонилметакрилатом [11], а также смесь полиалкилакрилатов C10–26 и полиалкилметакрилатов C10–20 [17]. Однако, к существенным преимуществам это не приводит. Например, в последнем случае выход депарафинированных масел при ведении присадки в количестве 0.1–0.2 мас. % возрастает на 5–8%, что соответствует данным по эффективности полиалкил(мет)акрилатов C16–20.

Исходным сырьем для синтеза полиалкил(мет)акрилатов являются алкиловые эфиры (мет)акриловой кислоты, получаемые на основе фракций высших жирных спиртов [15, 16]. Спирты с длиной алкильных групп выше C20 очень дороги, поэтому, соответственно, заметно возрастает стоимость полимеров, что делает их применение менее перспективным; это же касается метакриловых эфиров при сравнении с акриловыми эфирами.

Несмотря на имеющиеся литературные данные об эффективности добавок полиалкил(мет)акрилатов при растворной низкотемпературной депарафинизации нефтяных масляных рафинатов ряд связанных с этим важных аспектов ранее не ис-

следовался. Это относится к таким вопросам, как зависимость эффективности применения присадок от состава и строения рафинатов.

Цель работы – получение и обобщение экспериментальных данных по изучению и применению (со)полимеров алкилакрилата C16–20 в качестве присадок для низкотемпературной депарафинизации масляных рафинатов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Эффективность присадок оценивали при депарафинизации одиннадцати промышленных дистиллятных и остаточных масляных рафинатов пяти российских производителей. Для каждого производителя в обозначении использована своя буква – А, К, Н, У, Я, поскольку некоторые из них не разглашают составы своих масляных фракций

Для этих рафинатов в табл. 1 представлены кинематические вязкости при температурах 40°C (ν_{40}) и 100°C (ν_{100}), а также содержание парафино-нафтеновых углеводородов (ПНУ), легких (АУ_л), средних (АУ_с) и тяжелых ароматических углеводородов (АУ_т), сумма ароматических углеводородов (ΣАУ) и смол. Асфальтены отсутствовали во всех рафинатах, поскольку были полностью удалены в ходе селективной очистки масляных фракций.

В качестве полимерных присадок был использован ПАА16–20, а также сополимеры алкилакрилатов C16–20, содержащие звенья

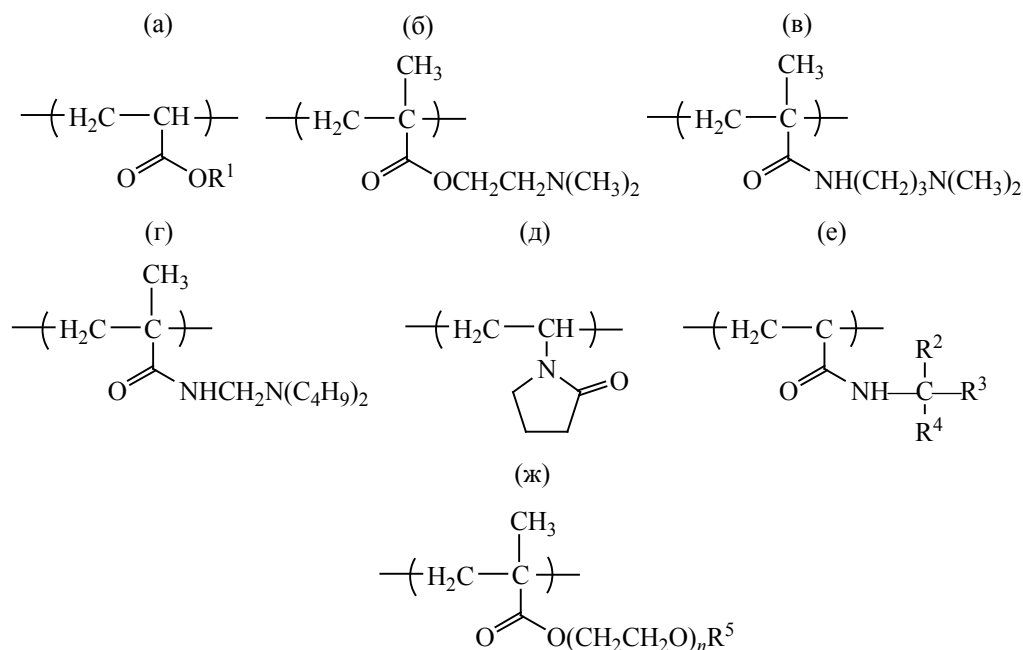


Рис. 1. Структуры звеньев в исследованных полимерах: а – звенья алкилакрилатов С16–20 ($R^1 = C_{16}H_{33}-C_{20}H_{41}$); б – звенья ДМАЭМ; в – звенья ДМАПМА; г – звенья ДБАММА; д – звенья N-ВП; е – звенья *m*НАА ($R^2 + R^3 + R^4 = C_8H_{19}$); ж – звенья алкоксилиго(этиленгликоль)метакрилатов (значения n и R^5 указаны ниже в табл. 3).

N,N-диметиламиноэтилметакрилата (ДМАЭМ), N-(3-диметиламинопропил)метакриламида (ДМАПМА), N-(ди-*n*-бутиламинотил)метакриламида (ДБАММА), N-винилпирролидона (N-ВП), N-(*трет*-нонил)акриламида (*m*НАА), алкоксилиго(этиленгликоль)метакрилатов (АОЭГМ). Общие структуры звеньев разного типа в испытанных сополимерах представлены на рис. 1. Звенья АОЭГМ имели разное строение, для них в обозначениях слева указано число атомов углерода в концевой *n*-алкильной группе, а после буквы Е – среднее содержание этокси-групп (n) в полиэтиленгликолевом фрагменте. Например, звенья $C_{12-14}E_7M$ содержат в сложноэфирной группе концевой алкильный радикал C_{12-14} и цепочку из 7 этокси-групп.

Указанные полимеры были синтезированы на основе методик, разработанных ранее для получения полиалкил(мет)акрилатов [18, 19], сополимеров алкил(мет)акрилатов с аминоксодержащими (мет)акриловыми сомономерами [20], N-алкил(мет)акриламидами [21, 22] или АОЭГМ [23].

Оценку эффективности присадок проводили на лабораторной установке, представляющей собой

металлическую воронку, снабженную рубашкой, фильтрующим элементом, крышкой и закрепленным в крышке термометром. Требуемую отрицательную температуру поддерживали за счет циркуляции охлаждающей смеси из криостата через рубашку воронки. В качестве растворителя для депарафинизации использовали смесь метилэтилкетона и толуола в массовых соотношениях 65 : 35 (для маловязких), 55 : 45 (для средневязких), 50 : 50 (для вязких рафинатов). Концентрация вводимых присадок составляла 0.1 мас. %, от исходного рафината (предварительные эксперименты показали, что такой концентрации достаточно для достижения максимальной эффективности добавок).

Смесь 50 г исходного рафината, 200 г растворителя и, в случае использования присадок, 0.1 г 50 %-ного толуольного раствора соответствующего полимера, нагревали при перемешивании до температуры 70°C, затем раствор переносили в воронку, охлажденную до 10°C, и далее температуру в воронке понижали со скоростью 2–3°C/мин до достижения заданной температуры кристаллизации (–20°C) при постоянном перемешивании смеси

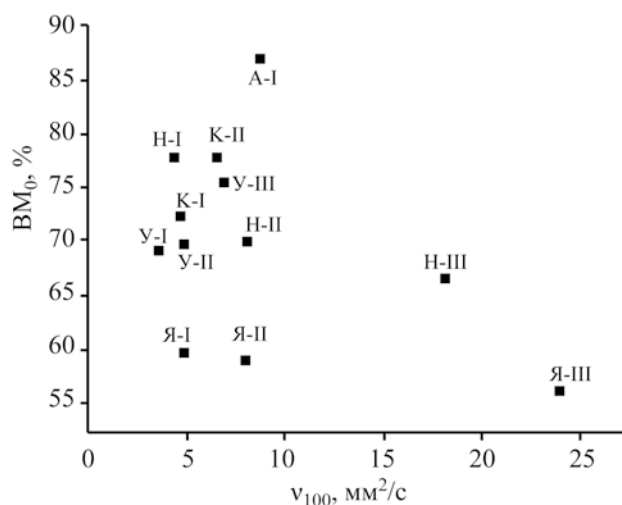


Рис. 2. Значения выходов депарафинированных масел (BM_0) для исходных рафинатов различной вязкости в отсутствие присадок. Обозначения точек соответствуют табл. 1.

рафината и растворителя. Затем смесь термостатировали при температуре -20°C в течение 30 мин; полученную суспензию фильтровали под вакуумом (давление $0.6\text{--}0.7$ кгс/см 2). Из полученного фильтра растворитель отгоняли на роторно-пленочном испарителе и получали депарафинированное масло, выход которого (B) рассчитывали по формуле:

$$B = \frac{m_{\text{деп}}}{m_{\text{исх}}} \times 100\%, \quad (1)$$

где $m_{\text{деп}}$ – масса депарафинированного масла, г; $m_{\text{исх}}$ – масса исходного масла, г.

Для определения скорости фильтрации суспензии, образовавшейся при охлаждении, измеряли время сбора 100 мл фильтрата. Коэффициент относительной скорости фильтрации рассчитывали по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{\tau_0}{\tau_{\text{прис}}}, \quad (2)$$

где τ_0 – время сбора 100 мл фильтрата без присадки, $\tau_{\text{прис}}$ – время сбора 100 мл фильтрата в присутствии присадки.

Состав масляных рафинатов определяли на хроматографе ГРАДИЕНТ-М, анализ проводили

в соответствии с «Методикой измерений группового химического состава тяжелых нефтепродуктов методом жидкостно-адсорбционной хроматографии с градиентным вытеснением» (МВИ № 222.0223/01.00258/2014) [24]

Кинематические вязкости рафинатов определяли в стеклянных вискозиметрах ВПЖ-2 по стандартной методике (ГОСТ 33768-2015). Молекулярно-массовые характеристики полимеров оценивали методом гель-проникающей хроматографии с использованием прибора Хромос ЖХ-301 с УФ-детектором марки Sapphire и колонками Phenogel 10E4A, 10E6A фирмы Phenomenex; в качестве элюента использовали тетрагидрофуран. Для расчета молекулярной массы применяли калибровку по полистирольным стандартам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опубликованных литературных данных при оценке эффективности полимерных присадок в процессах депарафинизации в качестве характеристики исходных рафинатов обычно указывается только кинематическая вязкость. На первом этапе исследований, для оценки влияния этого параметра на выходы депарафинированных масел была проведена серия экспериментов для всех исходных рафинатов в отсутствие присадок. Из рис. 2 видно, что отсутствует корреляция между вязкостями рафинатов и достигнутыми выходами (BM_0) депарафинированных масел. При сравнении выходов депарафинированных масел при переходе от менее вязких к более вязким рафинатам одного производителя (т.е. при постепенном утяжелении масляных фракций одной и той же нефти), зафиксированы противоположные тенденции. Например, для рафинатов серии Я значения BM_0 мало изменялись при росте вязкости, для серии У – возрастали, а для серии Н – снижались (рис. 3).

Согласно [25], при низкотемпературной депарафинизации рафинатов рост их вязкости должен затруднять диффузию высших n -алканов и церезинов к растущим центрам кристаллизации, что может снижать селективность кристаллообразования. Поэтому часто при использовании высоковязких остаточных рафинатов достигаются меньшие выходы депарафинированных масел, чем при использовании маловязких. С другой стороны, при

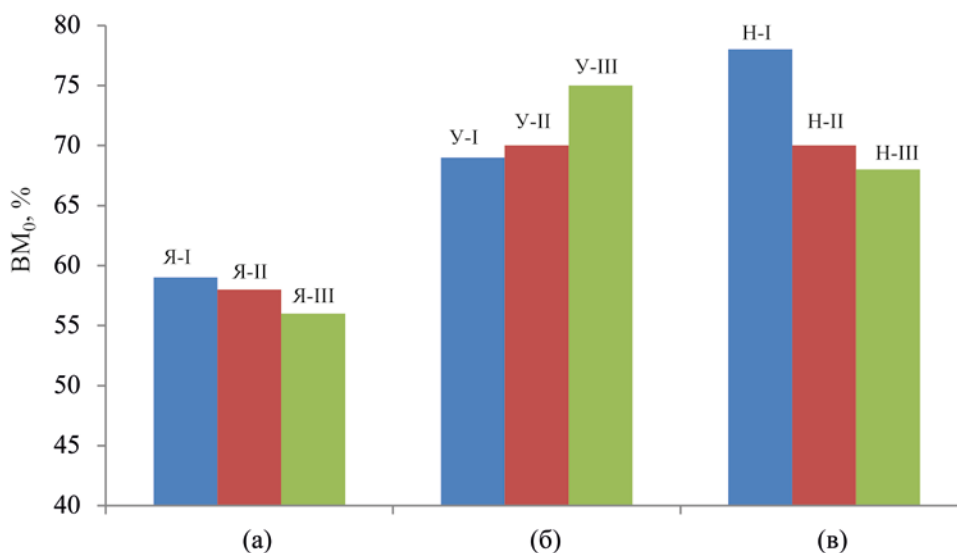


Рис. 3. Значения BM_0 , полученные при депарафинизации в отсутствие присадок масляных рафинатов: а – Я-I, Я-II, Я-III; б – У-I, У-II, У-III; в – Н-I, Н-II, Н-III.

депарафинизации низковязких рафинатов, содержащих мало смол и много высших *n*-парафинов, слишком большая скорость кристаллообразования также может стать негативным фактором, поскольку в условиях очень быстрого роста кристаллов в них вовлекается часть таких углеводородов, которые имеют более низкую индивидуальную температуру кристаллизации и потенциально могли бы остаться компонентами депарафинированного масла. Поэтому, одним из условий повышения выходов депарафинированных масел является оптимизация скорости роста кристаллов, которая может быть достигнута при определенных сочетаниях вязкости растворов рафинатов и содержания в них способных к легкой кристаллизации УВ разной структуры. К таким УВ относятся не только высшие *n*-парафины и церезины, но и многие тяжелые ароматические углеводороды, которые способны участвовать в кристаллизации, но нарушают форму растущих кристаллов и замедляют их рост. В результате действия двух указанных факторов, при изменении вязкости рафината скорость роста кристалла может как отдалиться от оптимальной, так и приблизиться к ней. В последнем случае выход депарафинированного масла повышается.

Такой подход позволяет объяснить полученные результаты, показанные на рис. 2. Например,

рафинат А-I содержит относительно немного (по сравнению с другими исследуемыми рафинатами) нормальных парафинов и много тяжелых аренов, а также имеет «умеренную» вязкость ($v_{100} = 8.76 \text{ мм}^2/\text{с}$). Такое сочетание обеспечило близкую к оптимальной скорость кристаллизации и очень высокое значение BM_0 – 87%. Для маловязкого рафината У-I, имеющего низкое содержание тяжелых аренов и большое содержание ПНУ, значение BM_0 составляет всего 69%, поскольку кристаллизация протекает слишком быстро (и в нее вовлекается много «лишних» УВ). Скорость кристаллизации замедляется для более вязкого рафината У-III, что приводит к более высокому значению BM_0 – 76 %. Для рафинатов серии Н, также содержащих мало тяжелых аренов, но имеющих более низкое содержание ПНУ, оптимизация роста кристаллов наблюдается, напротив, для менее вязкого рафината Н-I, а наиболее вязкий рафинат Н-III дает наименьший выход депарафинированного масла. Для трех фракций серии Я достигнуты довольно близкие низкие значения BM_0 . Дистиллятные рафинаты Я-I и Я-II имеют гораздо более низкую вязкость и высокое содержание ПНУ по сравнению с остаточным рафинатом Я-III, что способствует слишком высокой скорости кристаллизации. В остаточном рафинате Я-III больше легкокристаллизующихся компонен-

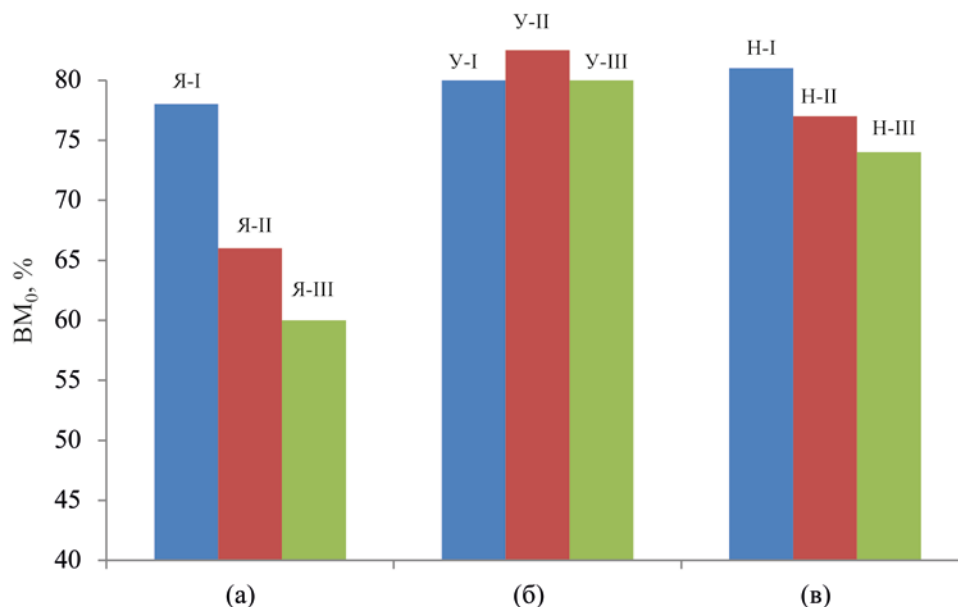


Рис. 4. Выходы депарафинированных масел в присутствии присадки ПАА16–20 (0.1 мас. %) при использовании масляных рафинатов серий Я (а), У (б) и Н (в).

тов, но скорость кристаллизации снижается, что уменьшает «переход в гач» индивидуально трудно кристаллизующихся УВ. Таким образом, полученные результаты показали, что значения BM_0 определяются и вязкостью рафината, и его составом.

Во второй серии экспериментов проводилась депарафинизация разных рафинатов в присутствии базовой присадки ПАА16–20, а полученные выходы депарафинированных масел обозначались BM . В этом случае также не наблюдалось однонаправленных тенденций в зависимостях эффективности присадок от вязкости исходных рафинатов. Так, выходы депарафинированных масел (BM) уменьшались при росте вязкости исходных рафинатов серий Я и Н, но для рафинатов серии У – почти не изменялись (рис. 4). Следовательно, кинематическая вязкость рафинатов не является единственным фактором, определяющим выходы депарафинированных масел не только в отсутствие присадок, но и в их присутствии. В случае введения присадок, механизм кристаллообразования усложняется, поскольку влияние синтетических полимерных присадок связано с подстройкой их макромолекул к растущим кристаллам. Это приводит к нарушениям правильной структуры кристаллов, замедлению (или даже ингибированию) их роста.

Логично было предположить, что введение присадок должно давать более высокий эффект в тех случаях, когда оно снижает слишком высокую скорость образования кристаллов, приближая ее к оптимальной. А в тех случаях, когда высокий выход масел достигается и в отсутствие присадки (т.е. скорость роста кристаллов уже близка к оптимальной), то эффективность введения присадки будет менее высокой (поскольку скорость роста кристалла отдалится от оптимальной). Действительно, обобщение полученных нами результаты показало, что можно предсказать эффективность действия полиалкилакрилатных присадок при депарафинизации на основании двух параметров – значений BM_0 и вязкостей исходных рафинатов. По достигаемой эффективности присадки ПАА16–20 (повышение выхода депарафинированных масел), все использованные рафинаты разделились на три группы (табл. 2). В группу $\Delta BM-1$ вошли три рафината с наибольшим эффектом от введения присадки (ΔBM более 12%). Они сочетают небольшие значения BM_0 (не более 70%) и низкие вязкости (v_{100} до 5.0 мм²/с). Группу $\Delta BM-2$ составили пять рафинатов с умеренной эффективностью действия присадки ($\Delta BM = 5–8\%$); эти исходные рафинаты сочетают более высокие значения BM_0

Таблица 2. Разделение рафинатов по эффективности действия присадки ПАА16–20

Группа	Рафинат	ВМ ₀ , %	ν_{100} , мм ² /с	Δ ВМ, %	K_{ϕ}
Δ ВМ-1	Я-I	60	4.8	12.5	15.6
	У-II	70	5.0	12.6	12.2
	У-I	69	3.6	12.1	3.3
Δ ВМ-2	Я-II	59	7.9	7.8	3.0
	Н-III	67	18.1	7.6	1.4
	Н-II	70	8.1	7.4	4.3
	К-I	72	4.7	5.7	2.9
	У-III	76	7.4	5.5	3.4
Δ ВМ-3	Н-I	78	4.4	3.6	2.7
	Я-III	56	23.8	3.2	1.3
	А-I	87	8.8	3.8	4.5

(72–76%) и низкие вязкости, или имеют низкие ВМ₀ (менее 72%) при повышенной вязкости ν_{100} (8–18 мм²/с). В группу Δ ВМ-3 (повышение выхода депарафинированного масла на 3–4%) вошли 3 рафината с большими значениями ВМ₀ (78% и более), или с сочетанием более низких значений ВМ₀ и очень высокой вязкости (ν_{100} более 20 мм²/с).

Из табл. 2 видно также, что введение присадок значительно повышает скорость фильтрации образовавшихся при охлаждении суспензий (время фильтрации снижается в 1.3–15.6 раз, преимущественно, в 2.7–4.5 раз). В трех выделенных группах рафинатов, отличающихся по степени роста выхода депарафинированных масел, усредненные значения K_{ϕ} были наиболее высоки для группы Δ ВМ-1 и примерно одинаковы для групп Δ ВМ-2 и Δ ВМ-3, но при этом в рамках каждой группы увеличение скорости фильтрации очень сильно варьировалось.

В третьей серии экспериментов была определена эффективность в качестве присадок сополимеров, в которые, наряду со звеньями алкилакрилата 16–20, были введены полярные звенья разной природы. Для испытаний были использованы 16 сополимеров, содержащих полярные звенья с двумя атомами азота – аминоэфирные (ДМАЭМ), аминоксидные (ДМАПМА, ДБАММА), амидные (*m*-НАА, N-ВП) или звенья алкоксиолиго(этиленгликоль)метакрилатов (АОЭГМ), боковые цепочки которых содержат от 7 до 23 атомов кислорода. В качестве исходного сырья использовались рафинат У-I (из группы Δ ВМ-1), рафинаты К-I и Н-II (из

группы Δ ВМ-2), рафинаты А-I и К-II (из группы Δ ВМ-3). В табл. 3 представлены данные по изменению выхода депарафинированных масел (Δ ВМ_{доп}) в присутствии различных полярных сополимеров относительно результатов, достигнутых во второй серии экспериментов для присадки ПАА16–20. В большинстве опытов (в 13 случаях из 16) были получены небольшие дополнительные повышения выходов депарафинизованных масел, но только в присутствии двух полярных присадок повышение достигло 2–3%. При этом характеристики рафинатов и структура вводимых в полимеры полярных групп заметной роли не играли. Наименьший положительный эффект оказало введение в сополимеры звеньев ДБАММА, которые лишь при повышении их мольной доли до 30 % обеспечили минимальное повышение выхода масла. Для остальных аминоксидных сополимеров оптимальная доза полярных звеньев составила 10%. Для сополимеров АОЭГМ для получения дополнительного выхода масел 0.8–1.5% в двух случаях было достаточно введения 5% полярных звеньев. Коэффициенты фильтрации K_{ϕ} составили 1.8–5.6 и были близки к значениям, полученным для соответствующих рафинатов в присутствии присадки ПАА16–20.

Таким образом, на примере полиалкилакрилатной присадки ПАА16–20 показано, что эффективность применения присадок такого типа при низкотемпературной растворной депарафинизации масляных рафинатов сильно зависит от сочетания их кинематической вязкости и состава. Лучшие

Таблица 3. Дополнительное изменение выхода масел $\Delta BM_{\text{доп}}$ (по сравнению с базовым полимером ПАА16–20) и значения $K_{\text{ф}}$ при депарафинизации масляных рафинатов в присутствии полярных сополимеров (указаны также обозначения, содержание полярных звеньев и молекулярные массы полимеров)

№	Сомономерные звенья. мол. %	M_n	M_w	Рафинат	$\Delta BM_{\text{доп}}$	$K_{\text{ф}}$
Аминные звенья						
1	ДМАЭМ (5)	20000	40000	А-I	+1.1	5.6
2	ДМАЭМ (10)	19000	33000	К-I	+1.6	3.7
3	ДМАЭМ (10)	19000	33000	А-I	+2.9	3.2
4	ДМАРМА (10)	—	8000	А-I	+0.5	4.1
5	ДВАММА (8)	19000	44000	U-I	–0.9	3.8
6	ДВАММА (30)	15000	31000	U-I	+0.1	—
Звенья АОЭГМ						
7	$C_{12}E_{12}M$ (10)	—	44000	А-I	+1.2	3.4
8	$C_{12}E_{17}M$ (20)	10000	12000	А-I	+0.2	2.3
9	$C_{12}E_{17}M$ (20)	10000	12000	К-I	+1.7	4.1
10	$C_{12}E_{23}M$ (5)	—	30000	А-I	+1.6	2.6
11	$C_{12}E_{23}M$ (10)	7000	10000	А-I	+0.9	1.5
12	$C_{12}E_{23}M$ (10)	7000	10000	К-I	+0.9	—
13	$C_{12-14}E_7M$ (5)	31000	109000	N-II	–0.2	1.9
14	$C_{12-14}E_{10}M$ (10)	35000	56000	N-I	–0.9	1.8
Амидные звенья						
15	<i>m</i> -НАА (10)	37000	172000	К-I	+1.6	—
16	N-ВП (10)	47000	586000	К-I	+2.1	—

результаты (повышение выхода депарафинированного масла более, чем на 12%) достигнуты для маловязких рафинатов, для которых в отсутствие присадок выходы не превышали 70%. Наименьший эффект от введения присадки (повышение выхода на 3–4%) получен для рафинатов с высокими значениями BM_0 (78% и более) или с очень высокой вязкостью. Введение в состав сополимера полярных групп (аминоэфирных, аминокамидных, амидных, олигоэтиленгликолевых) в большинстве случаев позволяет дополнительно повысить выход масла (максимально – на 2.9%).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Представленные результаты, связанные с синтезом и испытаниями сополимеров АОЭГМ, получены в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2020-0008), работы по аминоксодержащим сополимерам проведены в рамках стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспи-

рантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (СП-4035.2021.1).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Арифиллин Ильдар Раисович, к.х.н., н.с.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0154-2552>

Казанцев Олег Анатольевич, д.х.н., проф.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1536-3966>

Каморин Денис Михайлович, к.х.н., с.н.с.,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8712-5062>

Мойкин Алексей Анатольевич, к.х.н., ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-8339-0088>

Меджибовский Александр Самойлович, д.т.н.
Симагин Александр Сергеевич, м.н.с., ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-6985-2098>

Сивохин Алексей Павлович, к.х.н., с.н.с.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6387-6574>

Ожогин Сергей Андреевич, м.н.с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lynch R. Process Chemistry of Lubricant Base Stocks. New York: CRC Press, 2008. 369 p.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
3. Антонов С.А., Косарева О.А., Заглядова С.В., Рудяк К.Б., Догадин О.Б. Способы интенсификации процесса сольвентной депарафинизации масляного сырья // Нефтяное хозяйство. 2017. № 11. С. 70–72.
4. Шевченко А.А., Агафонов И.С., Пимерзин А.А., Томина Н.Н., Антонов С.А. Технология производства смазочных масел и специальных продуктов. М.: Ленанд, 2014. 240 с.
5. Кулиев Р.Ш., Ширинов Ф.Р., Велиев И.К. Депарафинизация остаточного сернистого рафината в присутствии добавок // Химия и технология топлив и масел. 1998. № 3. С. 13–14.
6. Zhang H., Zou R., Chen X., Zhou X. Effect of comb-type copolymer on crystallization of paraffin from waxy oils and methyl ethyl ketone (MEK)–toluene dewaxing // Petroleum Science and Technology. 2019. V. 37. № 11. P. 1323–1330. DOI: 10.1080/10916466.2019.1581811
7. Koschabek R., Stoehr T., Weber M., Unglert A., Tschapat W. Method for dewaxing mineral oil compositions // Patent USA № 9540575. Evonik Oil Additives GmbH. appl. 06.02.2012; publ. 21.11.2013.
8. Ashbaugh H.S., Guo X., Schwahn D., Prud'homme R.K., Richter D., Fetters L.J. Interaction of paraffin wax gels with ethylene/vinyl acetate Co-polymers // Energy & Fuels. 2005. V. 19. № 1. P. 138–144. <https://doi.org/10.1021/ef049910i>
9. Велиев И.К. Влияние сополимерного модификатора на депарафинизацию масляных рафинатов // Химия и технология топлив и масел. 2007. № 1. С. 42–43.
10. Кулиев Р.Ш., Велиев И.К., Кулиева С.Р. Добавки-модификаторы в процессе депарафинизации // Химия и технология топлив и масел. 2003. № 6. С. 11–13.
11. Scherer M., Mueller M., Herbeaux J., Janssen D., Croessman M. Copolymers as dewaxing additives // Patent USA № 7728093. Evonik RohMax Additives GmbH. appl. 14.02.2003; publ. 01.06.2010
12. Antonov S.A., Bartko R.V., Matveeva A.I., Tonkono-gov B.P., Kilyakova A.Y., Filatov R.V., Dogadin O.B., Nikul'shin P.A. Use of modifying additives in solvent dewaxing // Chem. and Technology of Fuels and Oils. 2020. V. 56. P. 535–549. <https://doi.org/10.1007/s10553-020-01166-y>
13. Hasegawa K. Additive for dewaxing and method of dewaxing // Patent WO № 2002100986A1. World. appl. 11.06.2001; publ. 19.12.2002.
14. Манапов Р.С., Ольков П.Л., Азнабаев Ш.Т. Применение модификаторов кристаллов твердых углеводородов при депарафинизации рафинатов // Башкирский хим. журн. 2007. Т. 14. № 4. С. 43–46.
15. Kazantsev O.A., Litvinets I.V., Prozorova I.V., Yudin N.V., Sivohin A.P. Effect of ammonium-containing polyalkyl acrylate on the rheological properties of crude oils with different ratio of resins and waxes // J. of Petroleum Science and Engineering. 2016. V. 146. P. 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.04.026>.
16. Казанцев О.А., Волкова Г.И., Прозорова И.В., Литвинец И.В., Орехов Д.В., Самодурова С.И., Каморин Д.М., Мойкин А.А., Меджибовский А.С. Полиалкил(мет)акрилатные депрессорные присадки для парафинистых нефтей // Нефтехимия. 2016. Т. 56. № 1. С. 76–81. <https://doi.org/10.1134/S0965544115060079> [Kazantsev O.A., Orekhov D.V., Samodurova S.I., Kamorin D.M., Moikin A.A., Volkova G.I., Prozorova I.V., Litvinets I.V., Medzhibovskii A.S. // Petrol. Chemistry. 2016. V. 56. P. 68–72. <https://doi.org/10.7868/S0028242115040073>].
17. Siva K., Srinivasa R., Naresh K., Gnanasekaran V., Venkat C., Nettem V., Gandham S., Sesha S., Suryanarayana R., Tammishetti S. A dewaxing aid for petroleum refining // Patent WO № 2019030769A1. World / appl. 08.08.2017; publ. 14.02.2019.
18. Kazantsev O.A., Samodurova S.I., Sivokhin A.P., Goncharova O.S., Kamorin D.M., Shirshin K.V., Orekhov D.V. Homopolymerization of higher alkyl (meth)acrylates and N-alkyl acrylamides in toluene: An effect of monomer self-organization // J. Polymer Research. 2013. V. 20. № 1. P. 52. <https://doi.org/10.1007/s10965-012-0052-x>
19. Kazantsev O.A., Kamorina S.I., Rumyantsev M., Kamorin D.M., Sivokhin A.P. Radical copolymerization of higher alkyl methacrylates with acrylic esters and amides in toluene: influence of monomer association on copolymer composition // J. Polymer Research. 2016. V. 23. № 5. P. 89. <https://doi.org/10.1007/s10965-016-0991-8>.
20. Kazantsev O., Kamorin D., Sivokhin A.P., Samodurova S., Orekhov D., Korotkova T. Copolymerization of amine-containing monomers and dodecyl (meth)acrylate in toluene: controlling compositional heterogeneity // J. Polymer Research. 2014. V. 21. № 2. P. 353. <https://doi.org/10.1007/s10965-013-0353-8>

21. Казанцев О.А., Сивохин А.П., Самодурова С.И., Каморин Д.М., Орехов Д.В. Влияние условий синтеза на композиционную неоднородность сополимеров высших N-алкилакриламидов и бутил(мет)акрилата // Журн. прикл. химии. 2012. Т. 85. № 5. С. 805–812.
22. Казанцев О.А., Сивохин А.П., Ширишин К.В., Гурьянов О.П., Самодурова С.И. Синтез N-алкилакриламидов по реакции Риттера на основе промышленных фракций высших олефинов // Журн. прикл. химии. 2010. Т. 83. № 6. С. 1009–1014 [Kazantsev O.A., Sivokhin A.P., Shirshin K.V., Gur'yanov O.P., Samodurova S.I. Synthesis of N-alkylacrylamides from commercial fractions of higher olefins by the Ritter reaction // Russian J. of Applied Chemistry. V. 83. № 6. P. 1062–1068. <https://doi.org/10.1134/s1070427210060261>].
23. Orekhov D.V., Kamorin D.M., Simagin A.S., Arifullin I.R., Kazantsev O.A., Sivokhin A.P., Savinova M.V. Molecular brushes based on copolymers of alkoxyoligo(ethylene glycol) methacrylates and dodecyl(meth)acrylate: features of synthesis by conventional free radical polymerization // Polymer Bulletin. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03390-2>
24. Виноградов, О.В. Лабораторная установка для хроматографического анализа «Градиент-М» конструкции ИНХП РБ. Методика определения группового состава нефтепродуктов, выкипающих выше 300°C. Уфа, 2009. 15 с.
25. Капустин, В.М., Тонконозов Б.П., Фукс И.Г. Технология переработки нефти: Учеб. пособие. В 4-х частях. Часть третья. Производство нефтяных смазочных материалов. М.: Химия, 2014. 328 с.