

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПАКЕТА ПРИСАДОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ



В.Е. Константинов



Ф.Е. Шарыкин

Приведены результаты экспериментальных исследований применения СВЧ технологий приготовления пакета присадок для производства смазочных масел. Показано, что воздействие СВЧ излучением позволяет снизить энергетические затраты, сократить длительность и снизить температуру приготовления пакета, тем самым повышая эффективность процесса.

Ключевые слова: пакет присадок, СВЧ излучение, смазочное масло, технологии приготовления, энергетические затраты, эффективность процесса

DOI: 10.53883/20749325_2021_04_64

Развитие экономического сектора страны обуславливает внедрение высокоэффективных технологий, позволяющих повышать качество продукции, увеличивать производительность и снижать энергетические затраты при ее освоении и последующем производстве. Эти требования распространяются на все отрасли промышленности, включая железнодорожную. К таким технологиям относится СВЧ излучение, используемое в различных областях промышленности,

где требуется быстрый нагрев, воздействие поля на обрабатываемый продукт или материал [1].

В настоящее время для обеспечения моторного парка страны качественными смазочными маслами необходимы не только хорошие базовые масла и пакеты присадок (ПП) к ним, но и эффективные технологии пакетирования присадок основного функционального действия [2;3]. Присадки особенно важное значение имеют для машин, работающих с высокими

Константинов Виталий Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технических средств и технологий заправки горючего ФАУ «25-й ГосНИИ химмотологии Минобороны России». Область научных интересов: совершенствование способов и средств очистки горючего от механических загрязнений и воды. Автор более 60 научных работ.

Шарыкин Федор Евгеньевич, старший научный сотрудник отдела технических средств и технологий заправки горючего ФАУ «25-й ГосНИИ химмотологии Минобороны России». Область научных интересов: технические средства нефтепродуктообеспечения. Автор более 40 научных работ.

Егоров Юрий Михайлович, начальник лаборатории (филиал АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» МКБ «Горизонт»). Область научных интересов: разработка и применение СВЧ технологий. Автор 35 научных работ, в том числе двух монографий. Имеет 27 патентов и авторских свидетельств.

Пирогов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: энергосбережение, теплотехника, теплофизика, фильтрация. Автор более 80 научных работ, в том числе двух учебных пособий.

Мойкин Алексей Анатольевич, кандидат химических наук, заместитель директора ООО «Научно-производственное предприятие Квалитет». Область научных интересов: химмотология углеводородных масел. Автор более 30 научных работ.

Драбкина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экология на объектах теплоэнергетики железнодорожного транспорта, энергосбережение. Автор 32 научных работ.

энергетическими нагрузками. К ним можно отнести локомотивы, путевые и дорожно-строительные машины, эксплуатация которых предполагает, как реализацию высоких усилий, так и сложные условия работы машин.

Отрасль многотоннажного производства традиционно использует технологические схемы получения ПП различного состава простым смешением компонентов в нужном количественном соотношении с соблюдением определенной последовательности их ввода. Также известно о применении в этих целях СВЧ излучения [4].

Для определения эффективности применения таких технологий проведены экспериментальные исследования с последующим сравнением результатов, полученных по типовой (термической) технологии приготовления ПП и технологии с использованием СВЧ излучения, проведена оценка его влияния на дисперсность пакета. Исследования проводились на экспериментальной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

При типовой технологии приготовления ПП в рабочую камеру с перемешивающим устройством поэтапно добавляли присадки в порядке возрастания их индекса вязкости и нагревали ленточным нагревателем до температуры 60 °С, которую измеряли термомпарой. После каждого ввода присадок проводили перемешивание (10–15 мин) компонентов при цир-

куляционной работе насоса до получения однородного состава, далее нагревали и поддерживали температуру полученной смеси (60 °С) при одновременном перемешивании [4;5].

Способ, основанный на использовании СВЧ технологии, заключался в том, что вместо подогрева до установленной температуры, при перемешивании ПП для их равномерного распределения по всему объему на смесь производилось воздействие СВЧ излучением [4;6].

Как правило, ПП для смазочных масел представляют собой сбалансированную композицию из антиокислительной, противоизносной, моющей, нейтрализующей и диспергирующей присадок. Важным аспектом при их приготовлении является взаимная совместимость компонентов, однородность пакета в объеме, стабильность в процессе транспортировки и хранения. В процессе исследования для приготовления ПП использовали следующие компоненты:

- А-22 (модифицированный бором диалкилдитиофосфат цинка) – 30 кг;
- А-23 (диалкилдитиофосфат цинка) – 14,4 кг;
- С-5А (концентрат алкенилсукцинимидов в минеральном масле и непрореагировавшем полибутене) – 35 кг;
- С-150 (среднещелочной сульфонат кальция) – 54 кг;
- ОЛОА-249S (высокощелочной синтетический сульфонат кальция) – 32,6 кг;

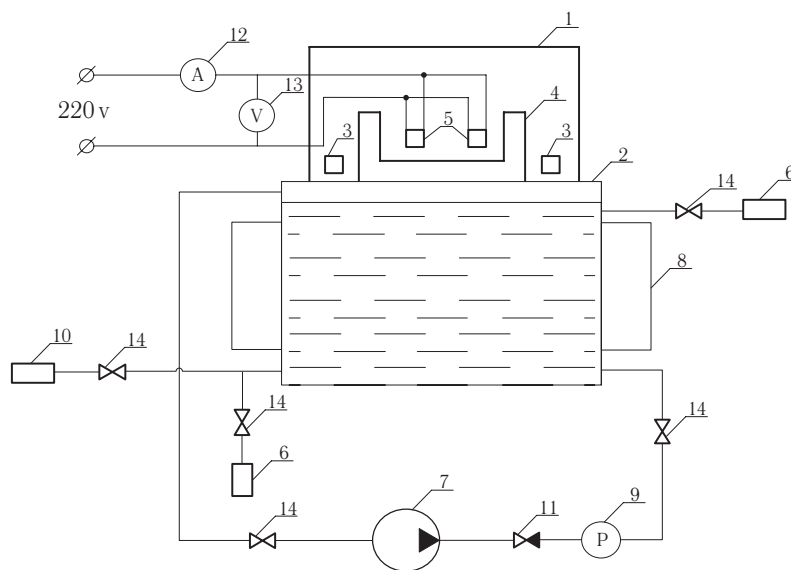


Рис. 1. Принципиальная схема установки для приготовления ПП: 1 – СВЧ генератор; 2 – рабочая камера (резонатор); 3 – магнетрон; 4 – волновой тракт; 5 – блок питания; 6 – термомпара; 7 – насос; 8 – ленточный нагреватель; 9 – расходомер; 10 – пробоотборник; 11 – обратный клапан; 12 – амперметр; 13 – вольтметр; 14 – шаровый кран

• OLOA-219 (высокощелочной синтетический фенат кальция) – 25 кг;

• масло индустриальное И-40 (растворитель) – 9 кг.

Отбор проб ПП в ходе эксперимента производили с двух уровней: из верхнего слоя рабочей камеры – пробоотборником, из нижнего слоя продукт отбирался через сливной кран.

При типовой технологии приготовления ПП процесс состоял из 4 этапов. В ходе эксперимента отбирали пробы смеси для определения полноты дозировки компонентов путем контроля элементов, перемешивали смесь без нагрева в течение 10 мин, снова отбирали пробы и определяли энергетические затраты (работу) на приготовление ПП при мощности используемого насоса 1500 Вт по следующей зависимости [5;7]:

$$A=IUt, \quad (1)$$

где I – сила тока, А;

U – напряжение, В;

t – время, затраченное на приготовление ПП по этапам, с.

Технологическая последовательность эксперимента показана в табл. 1, 2, схемы приготовления ПП представлены на рис. 2, 3.

Приготовление ПП по технологии с применением СВЧ излучения осуществляли в 7 этапов без подогрева используемых компонентов ленточным нагревателем. На первых 3 этапах в рабочую камеру загружали аналогичные присадки и перемешивали. На последующих 4 этапах компоненты перемешивали с воздействием СВЧ излучения (поэтапно) в течение

Таблица 1

Технологическая последовательность приготовления ПП по типовой технологии

№ п/п	Наименование технологической операции	Время, ч-мин	Температура, °С	Напряжение, В	Сила тока, А	Примечание
1	Загрузка присадок: А-22 – 15 кг; А-23 – 7,2 кг; С-5А – 17,5 кг					
2	Перемешивание и нагрев	10-54 12-15	15,0 60,0	205	4,8	81 мин (1,35 ч)
3	Загрузка присадок: OLOA-249S – 16,3 кг; С-150 – 27 кг					
4	Перемешивание и нагрев	12-24 13-36	35,0 60,0	205	4,8	72 мин (1,22 ч)
5	Отбор проб № 1 (верх, низ)					
6	Загрузка присадок и масла индустриального (растворителя): OLOA-219 – 12,5 кг; И-40 – 4,5 кг					
7	Перемешивание и нагрев	13-44 14-03	48,0 60,0	205	4,8	19 мин (0,32 ч)
8	Отбор проб №2 (верх, низ)					
9	Перемешивание без нагрева	14-16 14-26	55,0 60,0	—	—	10 мин (0,17 ч)
10	Отбор проб № 3 (верх) № 4 (низ)					
ВСЕГО (100 кг)						182 мин (3,04 ч)

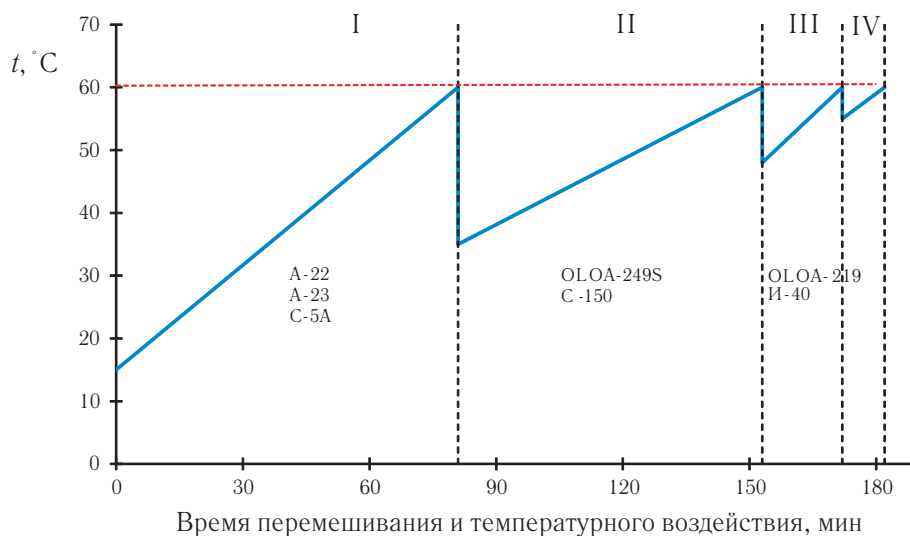


Рис. 2. Схема приготовления ПП по термической технологии

ние 10 мин. Время перемешивания на каждом этапе устанавливалось исходя из необходимости однократной обработки объема продукта в рабочей камере. Далее отбирали пробы для анализа и производили расчет энергетических затрат по известной зависимости (1).

Продолжительность приготовления ПП по типовой технологии с нагревом до 60 °C составила 182 мин (работа насоса и нагрев смеси — 172 мин, перемешивание без нагрева — 10 мин), по технологии с применением СВЧ излучения — 45 мин (работа насоса — 25 мин и работа насоса с воздействием СВЧ излучения — 20 мин) с учетом снижения стабильности пакета при воздействии СВЧ излучения более 20 мин, т.е. 6–7 этапы исключались.

Контроль элементов (цинка и кальция) осуществляли методом комплексонометрического титрования по ГОСТ 13538 [8]. Определение дисперсности ПП проводили путем измерения оптической плотности раствора методом ИК-спектроскопии на инфракрасном Фурье спектрофотометре Avatar 360-esr (Nicolette). Величину дисперсности вычисляли по формуле [9]:

$$C_k = \left(1 - \frac{D_{670}}{D_{490}}\right) 100, \quad (2)$$

где D_{670} и D_{490} — оптическая плотность раствора при длине волны 670 нм и 490 нм соответственно.

Результаты анализа проб ПП представлены в табл. 3.

Дисперсность ПП, приготовленного по типовой технологии (84,6%), оказалась незначительно

меньше, чем у ПП, приготовленного с применением СВЧ излучения (86,2%). При этом, обе технологии приготовления ПП дают практически одинаковые показатели при контроле элементов.

На рис. 4 показано влияние СВЧ излучения на дисперсность ПП на стадии приготовления. После 20 мин воздействия ($t=38$ °C) дисперсность ПП (86,2%) начинает снижаться, поэтому в дальнейшей обработке СВЧ излучением отсутствует необходимость.

Анализируя полученные данные, можно предположить, что СВЧ излучение, воздействуя на структуру молекул самих присадок, влияет на скорость агрегативных и химических реакций, является, своего рода, синергией. Однако, при повышении температуры ПП более 38 °C воздействие СВЧ излучения приводит к взаимодействию компонентов между собой, разрушению связей между присадками, снижая дисперсность пакета, и как следствие его стабильность.

В табл. 4 приведены расчеты энергетических затрат при приготовлении ПП по типовой технологии и с использованием СВЧ излучения, выраженных во внесистемных единицах (кВт·ч).

Согласно данным табл. 4, при приготовлении ПП в количестве 100 кг по типовой технологии удельный расход энергии составил $7,37/100=0,0737$ кВт·ч/кг, затраты энергии в единицу времени (1 ч) — $7,37/3,04=2,42$ кВт·ч/ч. При приготовлении того же ПП с воздействием СВЧ излучения удельный расход энергии составил $2,08/100=0,0208$ кВт·ч/кг, расход энергии в единицу времени (1 ч) — $2,08/0,76=2,74$ кВт·ч/ч.

Таблица 2

**Технологическая последовательность приготовления ПП по технологии
с воздействием СВЧ излучения**

№ п/п	Наименование технологической операции	Время, ч-мин	Температура, °С	Напряжение, В	Сила тока, А	Примечание
1	Загрузка присадок: А-22 – 15 кг; А-23 – 7,2 кг; С-5А – 17,5 кг					
2	Перемешивание насосом без нагрева	9-20 9-28	18,0	—	—	8 мин (0,13 ч)
3	Загрузка присадок: OLOA-249S – 16,3 кг; С-150 – 27 кг					
4	Перемешивание насосом без нагрева	9-33 9-40	18,0 19,0	—	—	7 мин (0,12 ч)
5	Загрузка присадок и масла индустриального (растворителя): OLOA-219 – 12,5 кг; И-40 – 4,5 кг					
6	Перемешивание без нагрева	9-41 9-51	19,0 21,0	—	—	10 мин (0,17 ч)
7	Перемешивание с воздействием СВЧ излучения	10-06 10-16	21,0 29,0	200	13,8	10 мин (0,17 ч) (СВЧ)
8	Отбор проб №5 (верх, низ)					
9	Перемешивание с воздействием СВЧ излучения	10-42 10-52	29,0 38,0	200	13,8	10 мин (0,17 ч) (СВЧ)
10	Отбор проб №6 (верх, низ)					
11	Перемешивание с воздей- ствием СВЧ излучения	10-45 10-55	38,0 44,0	200	13,8	10 мин (0,17 ч) (СВЧ)
12	Отбор проб №7 (верх, низ)					
13	Перемешивание с воздей- ствием СВЧ излучения	10-59 11-09	44,0 48,0	200	13,8	10 мин (0,17 ч) (СВЧ)
14	Остановка, отбор проб №8 (низ)					
ВСЕГО (100 кг)						65 мин (1,1 ч)

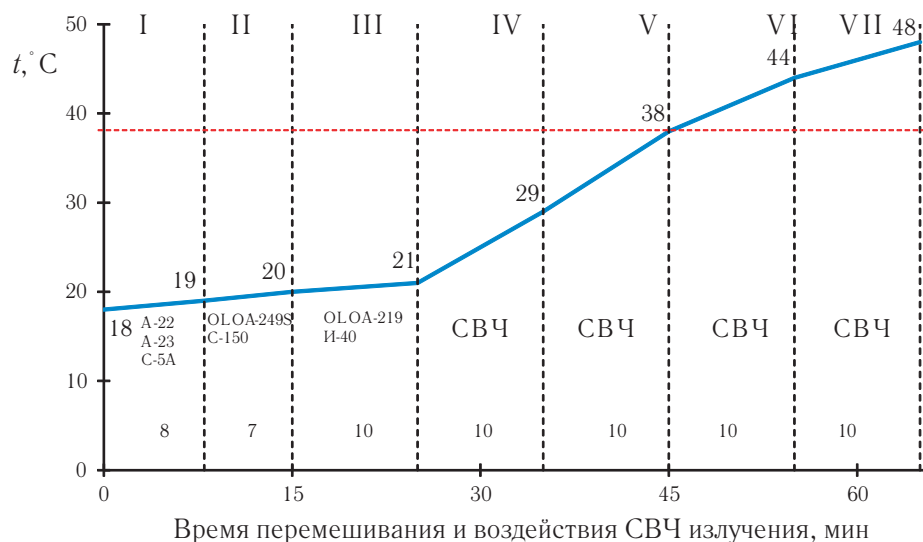


Рис. 3. Схема приготовления ПП с воздействием СВЧ излучения

Таблица 3

Результаты контроля элементов в пробах ПП, их дисперсность

№ п/п	Номер пробы	Содержание, %		Дисперсность, %
		кальций	цинк	
типовая (термическая) технология приготовления				
1	№ 1 (верх)	5,1	2,65	84,0
2	№ 1 (низ)	5,18	2,62	84,2
3	№ 2 (верх)	5,24	2,46	84,6
4	№ 2 (низ)	5,22	2,41	78,4
5	№ 3 (верх)	5,24	2,33	72,0
6	№ 4 (низ)	5,27	2,32	75,4
технология приготовления с воздействием СВЧ излучения				
1	№ 5 (верх)	5,31	2,24	86,0
2	№ 5 (низ)	5,31	2,23	86,0
3	№ 6 (верх)	5,37	2,21	86,0
4	№ 6 (низ)	5,32	2,21	86,2
5	№ 7 (верх)	5,35	2,14	86,2
6	№ 7 (низ)	5,34	2,18	82,7
7	№ 8 (низ)	5,38	2,16	68,8

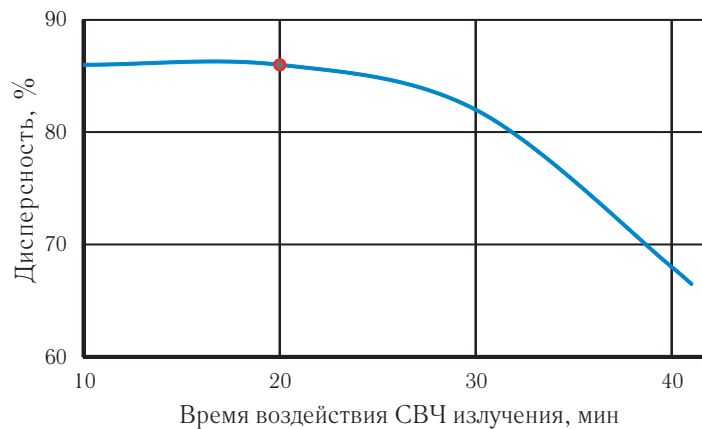


Рис. 4. Зависимость дисперсности ПП от времени воздействия СВЧ-излучения

Таблица 4

**Энергетические затраты при приготовление ПП
по типовой технологии и с применением СВЧ излучения**

№ п/п	Наименование технологической операции	Время, мин (ч)	Затраченная энергия, кВт·ч
типовая (термическая) технология приготовления			
1	Перемешивание и нагрев	81 (1,35)	$((205 \times 4,8 \times 81 \times 60) + (1500 \times 81 \times 60)) / 1000 \times 3600 = 3,35$
2	Перемешивание и нагрев	72 (1,2)	$((205 \times 4,8 \times 72 \times 60) + (1500 \times 72 \times 60)) / 1000 \times 3600 = 2,98$
3	Перемешивание и нагрев	19 (0,32)	$((205 \times 4,8 \times 19 \times 60) + (1500 \times 19 \times 60)) / 1000 \times 3600 = 0,79$
4	Перемешивание без нагрева	10 (0,17)	$1500 \times 10 \times 60 / 1000 \times 3600 = 0,25$
ИТОГО		182 (3,04)	7,37
технология приготовления с воздействием СВЧ излучения			
1	Перемешивание без нагрева	8 (0,13)	$(1500 \times 8 \times 60) / 1000 \times 3600 = 0,2$
2	Перемешивание без нагрева	7 (0,12)	$(1500 \times 7 \times 60) / 1000 \times 3600 = 0,18$
3	Перемешивание без нагрева	10 (0,17)	$(1500 \times 10 \times 60) / 1000 \times 3600 = 0,26$
4	Перемешивание с обработкой СВЧ излучением	10 (0,17)	$(200 \times 13,8 + 1500) \times 10 \times 60 / 1000 \times 3600 = 0,72$
5	Перемешивание с обработкой СВЧ излучением	10 (0,17)	$(200 \times 13,8 + 1500) \times 10 \times 60 / 1000 \times 3600 = 0,72$
6	Перемешивание с обработкой СВЧ излучением	10 (0,17)	$(200 \times 13,8 + 1500) \times 10 \times 60 / 1000 \times 3600 = 0,72$
7	Перемешивание с обработкой СВЧ излучением	10 (0,17)	$(200 \times 13,8 + 1500) \times 10 \times 60 / 1000 \times 3600 = 0,72$
ИТОГО			
(общее время эксперимента):		65 (1,1)	3,52
время готовности ПП:		45 (0,76)	2,08

Сравнение энергетических показателей приготовления ПП по типовой технологии и с воздействием СВЧ излучения при практически одинаковых характеристиках пакета и затратах энергии в единицу времени (2,42 и 2,74 кВт · ч/ч) свидетельствует о преимуществе последней:

- сокращение времени приготовления ПП в 4 раза ($3,04/0,76=4$);
- уменьшение энергетических затрат на единицу смеси более чем в 3,5 раза ($0,0737/0,0208=3,54$);
- снижение температуры приготовления ПП на 22 °С ($60^{\circ}-38^{\circ}=22^{\circ}\text{C}$).

Результаты проведенных исследований показали, что использование СВЧ излучения для приготовления ПП позволяет создать стабильные маслорастворимые пакеты, снизить энергетические затраты, тем самым повышая эффективность технологического процесса их приготовления [10;11]. Изучение влияния параметров СВЧ излучения на агрегативные и химические процессы в нефтепродуктах, в том числе смазочных маслах, представляет важный практический интерес и является предметом дальнейших исследований. 

Литература

1. Установка для исследования влияния воздействия электромагнитного поля СВЧ на изменение физико-химических свойств нефтепродуктов в потоке. Патент 113586 РФ / О.В. Бельский, Ю.М. Егоров, С.А. Галко, Н.Е. Сыроедов, Ф.Е. Шарыкин. Оpubл. 20.02.2012, бюл. № 5.
2. Черножуков, Н.И. Технология переработки нефти и газа. Ч.3. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов / Н.И. Черножуков; под ред. А.А. Гуреева, Б.И. Бондаренко. —6-е изд., перераб. и доп. —Москва: Химия, 1978. —424 с. —Текст: непосредственный.
3. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Банатов и др.; под ред. В.М. Школьников. —2-е изд., перераб. и доп. —Москва: Техинформ, 1999. —596 с. —Текст: непосредственный.
4. Юсупалиев, У. Удельная энергия образования вещества, синтезированного с помощью СВЧ излучения / У. Юсупалиев, Ю.М.Егоров. —Текст: непосредственный // Краткие сообщения по физике ФИАН. —2006. —№ 9. —С. 38—43.
5. Способ смешивания жидких веществ. Патент 2158175 РФ /Ю.М. Егоров, С.Н. Бобков, В.В. Люшин, А.Н. Ларюшкин, С.В. Дьячков. Оpubл. 27.10.2000, бюл. №30.
6. Дорогинская, В.А. Присадки к топливам и смазочным материалам: учебное пособие / В.А. Дорогинская, А.М. Данилов, Б.П. Тонконогов. —Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2017. —290 с. —ISBN 978-5-91961-240-7. —Текст: непосредственный.
7. Бутиков, Е.И. Физика для углубленного изучения. Электродинамика. Оптика / Е.И.Бутиков, А.С. Кондратьев. Кн. 2. —Москва: Физ-матлит, 2004. —336 с. —Текст: непосредственный.
8. ГОСТ 13538-68. Присадки и масла с присадками. Метод определения содержания бария, кальция и цинка комплексометрическим титрованием = Additives and lubricating oils with additives. Method for determination of barium, calcium and zinc contents by complexometric titration: межгосударственный стандарт: издание официальное :утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23.02.68. №297: взамен ГОСТ 7187-58, ГОСТ 9807-61,ГОСТ 12060-66: дата введения 1969-01-01: переиздание (март 1999 г.) с Изменениями № 1, 2, 3, 4, утвержденными в марте 1978 г., ноябре 1981 г., июне 1986 г. и июне 1990 г. (ИУС 3-78, 2-82, 9-86, 10-90): разработан и внесен Министерством химической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР. —Москва: ИПК Издательство стандартов, 1999. —10 с. —Текст: непосредственный.
9. Бескова, А.В. Разработка пакета присадок к минеральным гидравлическим маслам: специальность 02.00.13 «Нефтехимия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бескова Анастасия Викторовна. —Уфа, 2018. —168 с. —Текст: непосредственный.
10. Галко, С.А. Совершенствование технологий обеспечения качества нефтепродуктов / С.А. Галко, Н.Е. Сыроедов, Ф.Е. Шарыкин. —Текст: непосредственный // Нефтепереработка и нефтехимия. —2012. —№4. —С. 49—51.
11. Кулиев, А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам/ А.М. Кулиев. —2-е изд., перераб.—Ленинград: Химия, 1985. —312 с. —Текст: непосредственный.