

УДК 665.7

П.В. Бакулев, Р.Г. Шпенст

ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез», Пермь, Россия

А.С. Ширкунов, В.Г. РябовПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

В настоящее время при эксплуатации автомобильного транспорта широко применяются современные высокоэффективные моторные масла, выпускаемые российскими и зарубежными производителями в крупной и мелкой герметичной упакованной таре.

При покупке потребителем моторных масел в розничной сети зачастую единственный способ оценки качества приобретенного моторного масла – визуальное определение прозрачности, цвета и наличия осадка в емкости. Ввиду этого осадкообразование в маслах является нередким поводом для отказа потребителя от товара.

Механизм осадкообразования в товарном масле различен. Основные причины образования осадков следующие:

- выпадение полимеров загустителя при многократном застывании и отогревании масла в условиях зимнего хранения;*
- выпадение в осадок маслонерастворимой части пакета присадок;*
- выпадение воды в виде мути (эмульсии);*
- механические примеси, попадающие в масло в виде загрязнений при приготовлении, хранении и фасовке.*

В связи с тем, что в отличие от стандартного анализа свежих масел регламентированных методик определения причин осадкообразования нет, в исследовательских лабораториях методы анализа по каждому случаю образования осадков выбираются на усмотрение инженеров-химиков и технологов, что затрудняет сравнение с ранее полученными результатами.

Направлена на выработку общей методологии анализа причин осадкообразования в масле, поскольку быстрое определение

данной причины будет способствовать своевременному ее устранению и улучшению качества выпускаемой продукции.

В результате проведенной работы показано, что для выявления типа осадка и причин его образования может быть использован комплекс методов, включающий в себя отстаивание пробы, определение содержания в ней воды, фильтруемости, а также элементного анализ исходного масла и осадка после его отстаивания.

Использование данного комплекса методов продемонстрировано на двух образцах товарных масел с различными типами осадка, возвращенных потребителями.

Ключевые слова: осадки в моторном масле, моторные масла, присадки к моторным маслам, поверхностно-активные вещества, эмульсия.

P.V. Bakulev, R.G. Shpenst

LLC "LUKOIL-Permnefteorgsintez", Perm, Russian Federation

A.S. Shirkunov, V.G. Ryabov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF DEPOSIT FORMATION CAUSES DURING MOTOR OIL LONG-TERM STORAGE

Modern high-efficient motor oils are widely used in vehicle maintenance. These oils are produced by Russian and foreign manufacturers in large and small vacuum-packed containers.

When motor oils are purchased by customers often the only way to evaluate their quality is the visual determination of color, transparency and presence of sludge in the container. Therefore, sedimentation in oil is common cause for its rejection by consumers.

The mechanism of deposit formation in the commercial oil may vary. The most frequent causes of its formation are:

- precipitation of polymer viscosity modifiers during multiple cycles of cooling and warming during winter storage;*
- precipitation of oil insoluble part of additive package;*
- precipitation of water in the form of turbidity (emulsion);*
- mechanical impurities from contamination of oils during production, storage and packaging.*

Due to the fact that, in contrast to standard assays of fresh oils, there are no regulated procedures to determine the causes of

sedimentation, in the research laboratories the methods of analysis for each case of deposit formation are selected at the discretion of chemical engineers and technologists, making it difficult to compare with previous results.

The aim of this work was to develop a common method for analyzing the causes of deposit formation in the oil, since the rapid determination of this cause will facilitate the timely troubleshooting and product quality improvement.

It is shown that to detect the type of sediment and the causes of its formation range of methods can be used, including the separation of the sample, the determination of its water content and filterability, elemental analysis of the original oil and sediment after its separation.

Use of this method complex is demonstrated on two samples of commercial oils with different types of sludge that were returned by consumers.

Keywords: *deposits in motor oil, motor oil, motor oils additives, surfactants, emulsion.*

В настоящее время при эксплуатации автомобильного транспорта широко применяются высокоэффективные моторные масла, выпускаемые российскими и зарубежными производителями в крупной и мелкой герметичной упакованной таре (бочки объемом 200 л, полиэтиленовые канистры от 1 до 50 л). Такие масла имеют сроки хранения до 5 лет при соблюдении условий хранения (температура не ниже температуры застывания масла, герметичность упаковки, отсутствие контакта с воздухом и попадания влаги в масло, отсутствие воздействия прямого солнечного света на масло в таре).

При покупке потребителем моторных масел в розничной сети частую единственную способ оценки качества приобретенного моторного масла – визуальное определение прозрачности, цвета и наличия осадка в емкости. Большинство претензий потребителей связано именно с наличием видимого осадка. Причем данная проблема особенно актуальна в зимний период.

Основные и наиболее распространенные причины образования осадка при хранении масел [1–3]:

1. Выпадение полимерной присадки загустителя при многократном застывании и отогревании масла в условиях зимнего хранения. Это связано в первую очередь со снижением растворяющей способности масла по отношению к длинным линейным молекулам загустителя при пониженной температуре. Последующее повышение

температуры частично возобновляет текучесть масла, но отсутствие перемешивания приводит к неспособности полимерной части присадки вновь полностью раствориться в масле. Данный вид осадка при попадании в двигатель, перемешивании и прогреве до рабочих температур полностью растворяется в масле, восстанавливая его вязкостные характеристики.

2. Выпадение в осадок части пакета присадок. Данный вид осадка определяется наличием в присадке маслонерастворимой части, что является результатом отклонения от технологии приготовления присадки или недостаточного ее фильтрования (центрифугирования). Данный осадок может вызвать забивку маслофильтра двигателя и каналов масла при эксплуатации, увеличение абразивного износа трущихся пар двигателя. Масло с таким осадком применяться не может.

3. Выпадение воды в виде мути при ее содержании выше предела растворимости в масле. Происходит либо при попадании воды в ходе производства масла, либо при выпадении растворенной воды из масла при значительном снижении температуры и, соответственно, снижении растворяющей способности масла по отношению к воде. Вода при образовании мути соосаждает на границе раздела фаз поверхностно-активные компоненты пакета присадок, что может придавать водной эмульсии дополнительную окраску. При длительном хранении масла с водой в свободной фазе может происходить гидролиз присадки, а также концентрация антипенной присадки на поверхности глобул воды [4, 5].

4. Механические примеси, попадающие в масло в виде загрязнений при приготовлении, хранении и фасовке. В связи с тем, что в отличие от стандартного анализа свежих масел регламентированных методик определения причин осадкообразования нет, в исследовательских лабораториях методы анализа по каждому случаю образования осадков выбираются на усмотрение инженеров-химиков и технологов, что затрудняет сравнение с ранее полученными результатами [6, 7].

Именно поэтому данная работа была направлена на выработку общей методологии определения причин осадкообразования в масле, поскольку быстрое определение данной причины будет способствовать своевременному ее устранению и улучшению качества выпускаемой продукции.

Объектами исследования выступали несколько образцов высокоэффективных моторных масел, выпускаемых в ООО «ЛУКОЙЛ-

Пермнефтеоргсинтез», в которых потребителями был зафиксирован осадок.

В ходе данного исследования был сформирован перечень различных способов анализа, необходимых для выявления причин осадкообразования в маслах. Были использованы следующие методики:

1. Отстаивание образца для разделения его на верхний (прозрачный) слой и нижний (мутный) слой, содержащий осадок. Процесс вели как в условиях естественного осаждения (в делительной воронке при комнатной температуре и длительности от 1 до 7 сут), так и с использованием центрифуги.

2. Определение содержания воды как в объеме масла, так и в мутном слое осадка. Вода при концентрации более 0,03 мас. % при температуре 20 °С переходит в отдельную фазу в виде микрокапель, образуя муть, которая в дальнейшем при увеличении концентрации воды и укрупнении капель может образовать на дне емкости (тары) отдельную водную фазу.

Определение содержания воды выполняли по ГОСТ 2477 (позволяет определить воду при ее концентрации выше 0,03 мас. %), а в случае меньшей концентрации воды – по методу Фишера (ASTM D 6304–07), который дает возможность определить фактическое содержание воды до концентраций порядка 0,001 мас. % (10 ppm). Обычно среднее содержание воды в кондиционном товарном масле находится в интервале 0,01–0,03 мас. % (100–300 ppm).

3. Элементный анализ по методу рентгенофлуоресцентной спектроскопии ASTM 6481 или атомно-эмиссионной спектрометрии ASTM D 5185 (более точный метод) для определения концентраций ряда элементов в пробах исходного масла, а также в верхнем и нижнем слоях после отстаивания. Определяются те элементы, которые содержатся в значительных концентрациях в составе базового масла, присадках и механических примесях. Как правило, это сера, фосфор, кальций, магний, цинк, кремний, железо. При необходимости перечень определяемых элементов можно расширить, ограничиваясь только технической возможностью данных методов.

4. Далее выполняли фильтрацию образца на лабораторной фильтровальной установке Pall с использованием стандартизованного полимерного фильтра с чистотой фильтрации 1,2 мкм. Фильтрация также позволяет определить класс чистоты анализируемого масла по методу ISO 4406 и визуально наблюдать частицы осадка в микроскоп

переменного увеличения ($\times 50$, $\times 100$, $\times 200$). После проведения фильтрации пробы масла визуально оценивали ее прозрачность до и после фильтрации, наличие осадка на фильтре и содержание элементов в пробе после фильтрации. Далее сравнивали концентрации элементов в пробах до и после фильтрации по методикам ASTM 6481 или ASTM D 5185.

5. При наличии значительного слоя осадка проводится его озоление и определение элементного состава по методу ASTM D 7111. Для определения источника маслонерастворимых соединений также выполняется элементный анализ используемых при получении масла присадок (по методам ASTM 6481 или ASTM D 5185). Далее при сравнении изменения элементного состава присадок и масла при проведении фильтрации возможно определение источника маслонерастворимого осадка и его содержания в присадке (зная норму вовлечения присадки в масло).

6. Механические примеси определяли по содержанию железа и кремния в нефилтрованной и филтрованной пробах и в осадке на фильтре, а также по классу чистоты (ISO 4406), определяемому в ходе фильтрации на филтровальной установке Pall.

7. Определение инфракрасного (ИК) спектра поглощения для нефилтрованной и филтрованной проб масла [8]. Использовались разборные кюветы с окнами из KBr, толщина слоя анализируемого вещества 0,22 мм. При наличии расхождений между наложенными ИК-спектрами филтрованной и нефилтрованной проб проводилось их сравнение с ИК-спектрами присадок, входящих в состав масла. ИК-спектр жидких присадок определяется при толщине слоя 0,1 мм. При анализе твердых присадок, в частности загущающих, требовалось предварительное их растворение в изопарафиновом базовом масле (VHVI-4) в концентрации от 1 до 5 мас. %.

8. Степень осаждения полимерного загустителя (или выпадения высокоплавких парафинов в виде микрочисталлов) при низкотемпературном хранении оценивалась по растворению осадков в ходе перемешивания при температуре 80 °С. Определение доли выпадающего загустителя проводили по изменению кинематической вязкости нефилтрованной и филтрованной проб масла с учетом загущающей способности вязкостной присадки (степени увеличения вязкости масла при вовлечении 1 % загустителя). Парафиновые осадки определяли по

изменению температуры застывания нефилътрированной и филътрированной проб (по ГОСТ 25371, метод Б).

Предлагаемый комплекс различных видов анализа для определения причин осадкообразования был выполнен на примере двух образцов моторных масел с осадками, возвращенных потребителями.

Первоначально образец моторного масла № 1 был помещен в делительную воронку объемом 1000 мл для отстаивания без перемешивания при комнатной температуре в течение 7 сут.

В результате такого выдерживания масло разделилось визуально на два слоя с подвижной границей (рис. 1):

- нижний (мутный) слой, имеет более темный цвет;
- верхний слой, более светлый и прозрачный.

Для дальнейшего анализа были отобраны три пробы:

- 50 мл с нижней части мутного слоя (так называемая донная проба);
- нижняя (мутная) часть, визуально составляющая около 15 % объема делительной воронки;
- прозрачная часть масла с верхней части делительной воронки.

Анализ на содержание воды по ГОСТ 2477 показал в верхнем слое и в донной пробе содержание воды ниже предела определения метода (менее 0,03 мас. %). Анализ верхней пробы по методу Фишера показал содержание воды 0,0194 мас. % (194 ppm), что соответствует усредненному содержанию воды в товарном масле и удовлетворяет требованиям стандартов на моторные масла.

Далее для данных проб был выполнен анализ элементного состава методом рентгенофлюоресцентной спектроскопии, результаты которого представлены в табл. 1.

Как видно из полученных данных, в нижнем, мутном слое наблюдается повышенное содержание соединений цинка, фосфора и кальция, являющихся составными элементами присадок (в частности, сульфонатов и дитиофосфата цинка).

Содержание кальция в нижнем слое значительно (на 78 %) превосходит его концентрацию в верхнем слое, а также и среднее содержа-



Рис. 1. Разделение образца масла № 1 после отстаивания в делительной воронке в течение 7 сут

ние в товарном масле. Кальций входит в состав только моющей минеральной сульфонатной присадки из основного пакета присадок РА 2503-2, используемого при получении данной марки масла, следовательно, она и составляет основу наблюдаемого осадка в образце масла № 1.

Таблица 1

Результаты элементного анализа проб, полученных при отстаивании образца масла № 1 в сравнении с усредненным элементным составом товарных моторных масел

Элемент	Концентрация элемента в соответствующем слое, мас. %			Усредненный элементный состав товарных моторных масел	Отношение концентраций элемента в нижнем и верхнем слоях
	Верхний слой	Нижний (мутный) слой	Донная проба		
Кальций	0,290	0,516	0,582	0,287	1,78
Фосфор	0,101	0,118	0,122	0,081	1,17
Сера	0,485	0,543	0,551	–	1,12
Цинк	0,108	0,129	0,135	0,105	1,19

Результаты анализа элементного состава также указывают на то, что основная присадка, выпадающая в осадок, соосаждаст противоиононосную присадку – диалкилдитиофосфат цинка (что подтверждается примерно одинаковым повышением концентрации цинка, серы и фосфора в нижнем слое после отстаивания).

Таким образом, в случае образца моторного масла № 1 его помутнение и появление в нем осадка может быть вызвано недостаточной коллоидной устойчивостью частиц сульфоната кальция, которые при резких колебаниях температуры (и, соответственно, растворимости в масле) при длительном хранении выпадают из раствора.

Причинами недостаточной коллоидной устойчивости моющей сульфонатной присадки могут являться технология производства присадки и качество гидроокиси кальция, применяемой для ее приготовления. Исходя из этого выполненный анализ элементного состава может служить основанием для предъявления претензий фирме – изготовителю данного пакета присадок с целью дальнейшей ликвидации выявленного недостатка.

Для образца моторного масла № 2, также возвращенного потребителем по причине осадкообразования, было выполнено отстаивание по методике, описанной выше. Длительность отстаивания составила

1 сут. В результате в нижней части сосуда наблюдалось образование видимого мутного слоя осадка (рис. 2).

Для определения причин осадкообразования были проанализированы слой масла с осадком и прозрачный слой над ним на содержание отдельных элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Кроме этого, в данных слоях было определено содержание воды по методу Фишера.



Рис. 2. Разделение образца масла № 2 после отстаивания в течение суток

Концентрация воды в нижнем (мутном) слое составила порядка 0,6 мас. % (6000 ppm), что указывает на наличие свободной воды (предел растворимости воды в масле 0,03 мас. %). Плотность мути также больше, чем у масла (быстро отстаивается при центрифугировании со скоростью 1500 об/мин), при этом нет слияния частиц воды с образованием больших капель, что говорит о нахождении воды в виде весьма стабильной эмульсии.

Данная муть не отфильтровывалась на фильтре Pall 1,2 мкм (проходила без затруднений), что также указывает на ее жидкую или гелеобразную природу.

Результаты элементного анализа (табл. 2) свидетельствуют о значительно повышенном содержании кремния в нижнем (мутном) слое.

Таблица 2

Результаты элементного анализа проб, полученных при отстаивании образца масла № 2

Элемент	Концентрация элемента в соответствующем слое, мас. %		Отношение концентраций элемента в нижнем и верхнем слоях
	Верхний слой	Нижний (мутный) слой	
Кальций	0,4100	0,4356	1,06
Фосфор	0,1057	0,1067	1,01
Кремний	0,0016	0,0364	22,75
Цинк	0,1286	0,1276	0,99

В целях подтверждения природы данного осадка и имитации его образования в условиях лаборатории к серийному образцу масла была добавлена вода в концентрации выше предела растворимости для образования свободной фазы (содержание воды в полученной смеси со-

ставляло 0,05 мас. %). Далее образец масла помещали в термостат, где выдерживали 24 ч при температуре 80 °С.



Рис. 3. Внешний вид модельной смеси масла и воды (концентрация воды 0,05 мас.%) после термостатирования в течение 24 ч при температуре 80 °С

После охлаждения до комнатной температуры в данной модельной смеси наблюдалась подвижная муть, близкая по внешнему виду к образцу масла № 2 (рис. 3).

Полученная муть также не отфильтровывалась на фильтре Pall 1,2 мкм. Результаты элементного анализа методом атомно-эмиссионной спектроскопии верхнего и нижнего слоев модельной смеси представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты элементного анализа проб, полученных при отстаивании модельной смеси масла и воды (концентрация воды 0,05 мас. %) после термостатирования в течение 24 ч при температуре 80 °С

Элемент	Концентрация элемента в соответствующем слое, мас. %		Отношение концентраций элемента в нижнем и верхнем слоях
	Верхний слой	Нижний (мутный) слой	
Кальций	0,2786	1,0258	3,68
Фосфор	0,0915	0,2201	2,41
Кремний	0,00004	0,0016	40,00
Цинк	0,1320	0,1630	1,23

Как видно из полученных результатов, в мути помимо воды также наблюдается повышенная концентрация кальция и фосфора, а также резкое увеличение содержания кремния (в 40 раз), что позволяет сделать вывод о протекании реакции гидролиза основной щелочной присадки (сульфоната кальция) при 80 °С с выпадением в виде мути соединений кальция и в меньшей степени цинка и фосфора. При этом на поверхности раздела фаз частиц мути адсорбируются соединения кремния, входящие в состав антипенной присадки.

Результаты исследований модельной смеси подтверждают, что причиной осадкообразования в образце моторного масла № 2 является осаждение микрокапель воды при превышении предела ее растворимо-

сти в масле (причем растворимость воды дополнительно снижается при понижении температуры), с адсорбцией на границе раздела фаз поверхностно-активной антипенной присадки, представляющей собой соединения кремния. Причем в ходе образования мути в данном случае без нагрева не приводит к протеканию реакций гидролиза и, следовательно, к образованию маслонерастворимых соединений кальция, фосфора и цинка.

Для предотвращения осадкообразования в данном случае необходим тщательный контроль производства и упаковки масел для исключения попадания воды в количествах, превышающих предел растворимости. Кроме того, необходимо соблюдение температурного режима при хранении масла, поскольку чрезмерное снижение температуры также приведет к снижению растворимости воды и выпадению ее в отдельную фазу.

Таким образом, в результате выполненных исследований была предложена общая методология анализа причин осадкообразования в моторных маслах, позволяющая определить тип осадка и рекомендовать возможные способы предотвращения его образования.

Список литературы

1. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. – Л.: Химия, 1985. – 312 с.
2. Шашкин П.И., Брай И.В. Регенерация отработанных нефтяных масел. – М.: Химия, 1970. – 303 с.
3. Тертерян Р.А. Депрессорные присадки к нефтям, топливам и маслам. – М.: Химия, 1990. – 238 с.
4. Корнеев С.В., Дудкин В.М., Колунин А.В. Обводнение и коллоидная стабильность моторных масел // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 4. – С. 33–34.
5. Дорошенко Н.В. Экспериментальное исследование влияния воды на трибологические характеристики трансмиссионных масел группы ТМ-5 // Омский научный вестник. – 2006. – № 8–1 (44). – С. 103–106.
6. Методы разделения и идентификации в выяснении причин образования осадка в масле М-10-Г₂ЦС / И.И. Занозина, Н.В. Полищук, В.В. Григорьев, О.Е. Шабалина, М.В. Бабинцева, М.А. Хлопцев, И.Ю. Занозин // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2006. – № 4. – С. 41–43.

7. Метод малоугловой интроскопии и его использование для оценки коллоидной устойчивости детергентно-диспергирующих присадок в масляной среде / В.М. Шуверов, Н.Б. Ходяшев, В.А. Крылов, М.Б. Ходяшев, Я.А. Тресков, А.Н. Ходяшев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2010. – № 11. – С. 99–105.

8. ИК-спектрометрия в анализе нефти и нефтепродуктов / Л.В. Иванова, Р.З. Сафиева, В.Н. Кошелев // Вестник Башкирского университета. – 2008. – Т. 13, № 4. – С. 869–874.

References

1. Kuliev A.M. *Khimiya i tekhnologiya prisadok k maslam i toplivam* [Chemistry and technology of oil and fuel additives]. Leningrad: Khimiya, 1985. 312 p.

2. Shashkin P.I., Bray I.V. *Regeneratsiya otrabotannykh neftyanykh masel* [Regeneration of used mineral oils]. Moscow: Khimiya, 1970. 303 p.

3. Terteryan R.A. *Depressornye prisadki k neftyam, toplivam i maslam* [Fuel and oil pour point depressant additives]. Moscow: Khimiya, 1990. 238 p.

4. Korneev S.V., Dudkin V.M., Kolunin A.V. *Obvodnenie i kolloidnaya stabilnost motornykh masel* [Water contamination and colloidal stability of motor oils]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*, 2006, no. 4, pp. 33-34.

5. Doroshenko N.V. *Eksperimentalnoe issledovanie vliyaniya vody na tribologicheskie kharakteristiki transmissionnykh masel gruppy TM-5* [Experimental research on the effect of water contamination on tribological properties of gear oils in operation group TM-5]. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2006, no. 8–1 (44), pp. 103-106.

6. Zanozina I.I., Polischuk N.V., Grigorev V.V., Shabalina O.E., Babinseva M.V., Khloptsev M.A., Zanozin I.Yu. *Metody razdeleniya i identifikatsii v vyyasnenii prichin obrazovaniya osadka v masle M-10-G2TsS* [Methods of division and identification at finding-out reasons for residue formation in lube oil M-10-G2TsS]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt*, 2006, no. 4, pp. 41-43.

7. Shuverov V.M., Khodyashev N.B., Krylov V.A., Khodyashev M.B., Treskov Ya.A., Khodyashev A.N. *Metod malouglovoy introskopii i ego ispolzovanie dlya otsenki kolloidnoy ustoychivosti detergentno-dispergiroyuschikh prisadok v maslyanoy srede* [Evaluating of colloid stability of

detergent and dispersant additives in oil media with low-angle introscopy]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2010, no. 11, pp. 99-105.

8. Ivanova L.V., Safieva R.Z., Koshelev V.N. ИК-спектрометрия в анализе нефти и нефтепродуктов [Analysis of oil and petrochemicals with infrared spectrometry]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2008, vol. 13, no. 4, pp. 869-874.

Об авторах

Бакулев Павел Викторович (Пермь, Россия) – инженер-технолог опытно-исследовательского цеха ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» (614055, г. Пермь, ул. Промышленная, 84; e-mail: Pavel.Bakulev@pnos.lukoil.com).

Шпенст Рудольф Гергардович (Пермь, Россия) – заместитель начальника производства компонентов масел ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» (614055, г. Пермь, ул. Промышленная, 84; e-mail: Rudolf.Shpenst@pnos.lukoil.com).

Ширкунов Антон Сергеевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: ashirkunov@rambler.ru).

Рябов Валерий Германович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, декан химико-технологического факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: rvg@pstu.ru).

About the authors

Pavel V. Bakulev (Perm, Russian Federation) – process engineer, R&D Department, LLC “LUKOIL-Permnefteorgsintez”, (Promyshlennaya st., 84, Perm, 614055, Russian Federation; e-mail: Pavel.Bakulev@pnos.lukoil.com).

Rudolf G. Shpenst (Perm, Russian Federation) – deputy head of oil component department LLC “LUKOIL-Permnefteorgsintez” (Promyshlennaya st., 84, Perm, 614055, Russian Federation; e-mail: Rudolf.Shpenst@pnos.lukoil.com).

Anton S. Shirkunov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of technical sciences, associate professor, department of chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: ashirkunov@rambler.ru).

Valeriy G. Ryabov (Perm, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, dean of chemical technology faculty, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: rvg@pstu.ru).

Получено 15.10.2014