

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОТОРНОГО МАСЛА

В работе были проведены лабораторные испытания моторного масла М8Г2к с введением в него депрессорных присадок SAP 110 производства Shell Additives и Lz 6662 производства Lubrizol и оценка их воздействия на свойства рассматриваемого смазочного материала по отдельности. В ходе проведения испытаний были получены значения следующих показателей моторных масел: кинематическая вязкость при 100 °С, щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, температура застывания и содержание активных элементов (кальций, цинк). С помощью стендовой установки СИ – 010 обозначены значения противопиттинговых свойств, а также проведены эксперименты на установках НАМИ-1м и Peffer W – 1, с их помощью производилась оценка склонности к образованию низко- и высокотемпературных отложений в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) и оценка антикоррозионных свойств соответственно. Для анализа моющих свойств рассматриваемого моторного масла осуществлялась методика испытаний на тракторном двигателе Д-240. Положительные результаты лабораторных испытаний дают основание рекомендовать к использованию моторное масло М8Г2к с содержанием в нем присадок SAP 110 или Lz 6662 для двигателя Д-240 производства ММЗ.

Ключевые слова: смазочные материалы, моторное масло, депрессорные присадки, кинематическая вязкость, щелочное число, температура вспышки, температура застывания.

Введение. При запуске двигателя в условиях низких температур важно, чтобы механические части перемещались свободно. Несоблюдение этого правила приведет к чрезмерному износу деталей двигателя, который впоследствии грозит неспособностью основных узлов ДВС. Основная причина, как правило, недостаточная смазка. Текучесть масла в двигателе очень важна при любых обстоятельствах.

При достижении низких температур моторное масло может подвергаться ряду изменений, а именно: затвердеванию, затвердеванию с образованием осадка макрокристаллов парафина и затвердеванию с возникновением микрокристаллов с образованием кристаллической структуры, удерживающей оставшееся масло. Обстоятельства, при которых это происходит, зависят от эксплуатации в различных температурных условиях, скорости охлаждения и состава моторного масла.

Нафтеновые масла затвердевают, образуя непрозрачную твердую фазу. У них есть естественно низкие температуры застывания. Парафиновые масла с высоким содержанием нормальных парафинов имеют тенденцию создавать относительно прочные структуры, состоящие из крупных (макро) кристаллов. Изопарафины дают более мелкие (микр) кристаллы с более слабой структурой в затвердевшем состоянии в моторном масле. Если скорость охлаждения высокая, то рост кристаллов может быть быстрым, и масло сохранит должный уровень

текучести даже при взбалтывании. При образовании микрокристаллических парафинов (такие отложения обычно образуются при температуре около 100 °С) кристаллы могут набухать, ведя себя как губка, впитывая свободное масло. Это приводит к ограничению перемещения потока масла. Основное назначение депрессорных присадок — это улучшение низкотемпературных характеристик моторного масла [1–4].

Депрессанты температуры застывания действуют через поверхностную адсорбцию на кристаллах парафинов. Полученный поверхностный слой депрессора температуры застывания подавляет рост кристаллов парафинов и их способность адсорбировать масло и образовывать гели. В отсутствие длинных сцепленных кристаллов или набухших частиц масло может свободно перемещаться через любые присутствующие твердые частицы парафинов.

Ограничения депрессоров температуры застывания регулируются природой (базовой основой) моторного масла и концентрацией депрессора температуры застывания [5–6].

Эффект депрессора температуры застывания широко варьируется в зависимости от масла, но они наиболее эффективны при следующих показателях низкотемпературной вязкости: SAE 10, SAE 20 и SAE 30. С маслами марки SAE 50 наблюдаются лишь небольшие эффекты. Различные типы депрессантов температуры застывания также имеют разную эффективность, причем максимальный эффект

достигается при оптимальном уровне концентрации. Выше этого оптимального уровня обычно наблюдается заметное влияние на вязкость при более высоких температурах. Типичные уровни применения в коммерческих моторных маслах составляют от 0,1 до 1,0 % [7–9].

Вязкость смазочного материала (т.е. жидкой фазы) увеличивается при охлаждении смазочного материала. На определенном этапе моторное масло становится мутным. Это происходит, когда начинается кристаллизация жидкости, что приводит к быстрому увеличению вязкости.

Депрессанты снижают темп прироста вязкости. Они активны в массе и снижают температуру застывания за счет стерического действия [10]. Есть несколько теорий о том, как они работают. Они могут либо изменить процесс кристаллизации, ингибируя рост, либо могут увеличить растворимость кристаллов парафиновых углеводородов. Например, алкилароматические депрессанты адсорбируются на кристаллах парафинов, ингибируют рост кристаллов, приводя к улучшению температуры застывания таким образом.

Они имеют полимерную гребенчатую структуру с широким молекулярно-массовым распределением. Обычно они изготавливаются из алкилированных парафиновых нафталинов или полиметакрилатов. Однако полимерная цепь депрессантов короче, а ответвления (или боковые цепи) длиннее. Таким образом, их химический состав похож, но пространственное распределение варьируется.

«Настройка» депрессантов включает изменение длины, количества и распределения боковых цепей, а также природу полимерной цепи. В целом полимерные депрессанты действуют лучше, чем мономерные, даже если высокие молекулярные массы не нужны [11–12].

Для рассмотрения вопроса об улучшении работоспособности моторного масла М8Г2к, предназначенного для автомобильных и тракторных дизелей без наддува или с невысоким наддувом, были выбраны в связи с оптимальной температурой застывания (заявленная производителями) две присадки SAP 110 (Shell Additives) и Lz 6662 (Lubrizol). После их добавления в пробы моторного масла был проведен комплекс лабораторных испытаний.

Лабораторные исследования. Для оценки влияния депрессорных присадок на характеристики работоспособности моторного масла М8Г2к SAE 20W производства SINTEC DIESEL была выбрана концентрация присадок в пределах 0,1–0,12 % от объема масла для каждого наименования. После добавления в выбранное моторное масло присадки SAP 110 (образец № 1) и Lz 6662 (образец № 2) каждый из образцов взбалтывался и отстаивался в течение 8 часов. Исследования включали себя следующие этапы:

1) определение физико-химических показателей моторных масел: кинематическая вязкость при 100 °С определялась на автоматическом вискозиметре Штабингера SVM300, щелочное число — с помощью автоматического титратора TitroLine alpha plus, значения температуры вспышки в открытом тигле были получены благодаря аппарату ТВО-ЛАБ-01, значения температуры застывания — благодаря аппарату ЛАЗ-М, наличие элементов — индикаторов (кальция и цинка) в моторном масле получены с помощью оптико-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой серии iCAP 7000;

2) стендовые испытания проведены в объеме комплекса методов квалификационных испытаний масел для автомобильных бензиновых двигателей и автотракторных дизелей:

— оценка антипиттинговых свойств масел проводилась по квалификационному методу на установке СИ-010;

— склонность к образованию низкотемпературных и высокотемпературных отложений оценивалась на установке НАМИ-1м;

— методика испытаний на двигателе Д-240 для определения моющих свойств предусматривает проведение 125-часового испытания без долива масла, с отключенным фильтром центробежной очистки масла. Тепловой режим по охлаждающей жидкости и маслу в процессе испытаний составляет 85–95 °С. Испытания проводились с использованием дизельного топлива с содержанием серы не более 10 мг/кг;

— антикоррозионные свойства оценивались на установке Petter W-1.

Цель работы. Испытания проводились в направлении изучения депрессорных свойств, а также влияния присадок на физико-химические и моторные свойства автотракторного моторного масла, включая стабильность депрессорного действия при работе в двигателях.

В табл. 1 приведены значения физико-химических свойств свежего моторного М8Г2к SAE 20W. Непосредственно с ними и будут сравниваться полученные значения при добавлении выбранных присадок в смазочный материал.

Результаты и обсуждение экспериментов. Одним из самых важных свойств моторного масла является его вязкость. Она является ключевым фактором в образовании смазочных пленок, влияет на тепловыделение в подшипниках, цилиндрах и шестернях; управляет уплотнительным эффектом масла и скоростью потребления или потерь; определяет легкость, с которой машины могут запускаться в холодных условиях. Первым шагом на пути к удовлетворительной работе оборудования является использование масла надлежащей вязкости для определенных условий эксплуатации. Небольшой прирост кинематической вязкости у образца № 1 и снижение ее значения у образца № 2 (табл. 2)

Таблица 1

Физико-химические свойства свежего моторного масла М8Г2к

Типичные характеристики	Значения
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,8777
Индекс вязкости	120
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	8,17
Щелочное число, мг КОН/г	6,18
Сульфатная зольность, %	1,04
Испаряемость, %	—
Температура вспышки в открытом тигле, °С	226
Температура застывания, °С	Минус 33

Основные физико-химические свойства моторного масла М8Г2к с введенными присадками

Показатели	Образец № 1	Образец № 2
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	8,32	7,67
Щелочное число, мг КОН/г	6,32	6,2
Температура вспышки в открытом тигле, °С	224	226
Температура застывания, °С	Минус 36	Минус 38
Содержание активных элементов, % (масс.):		
— кальций	0,30	0,30
— цинк	0,07	0,07

Таблица 3

Антипиттинговые свойства полученных образцов

Образцы	Количество толкателей с питтингом к концу испытаний, шт.
Образец № 1	2
Образец № 2	2

Результаты оценки склонности моторного масла с присадками к образованию отложений при низких температурах на установке НАМИ-1м

Показатели	Образец № 1	Образец № 2
Количество отложений в центрифуге, г	15	22
Подвижность поршневых компрессионных колец, балл	0	0
Загрязненность поршня отложениями нагара и лака, балл:		
1-я канавка	1,2	1,3
2-я канавка	0,9	1,0
3-я канавка	0,9	0,7
4-я канавка	0,6	0,7
Суммарная загрязненность канавок	3,6	3,7
1-я перемычка	0,8	0,7
2-я перемычка	0,5	0,5
3-я перемычка	0,4	0,3
Суммарная загрязненность перемычек	1,7	1,5
Загрязненность юбки поршня	0,1	0,1
Суммарная оценка загрязненности поршня, балл	5,4	5,3

не влечет за собой негативных последствий, так как данные, полученные на вискозиметре, находятся в пределах класса SAE 20 (от 6,9 мм²/с до 9,3 мм²/с).

Увеличение значения щелочного числа (табл. 2) является исключительно положительным моментом. Щелочные добавки в масле нейтрализуют кислоты, которые могут образовываться при эксплуатации автомобильной техники. Моющие химические присадки состоят из углеводородного хвоста и полярной головки, такой, что она будет притягиваться к продуктам окисления и нитрования масла, препятствуя образованию лака или отложений, которые в противном случае могли бы накапливаться на поверхностях деталей двигателя.

Снижение температуры вспышки (табл. 2) для образца № 1 не является критическим фактором, однако при эксплуатации, особенно в период низкотемпературных условий, стоит обратить внимание на расход масла. Было отмечено, что испарение маловязких фракций у образца № 1 несколько выше, чем у образца № 2.

В связи с тем, что главной функцией депрессорных присадок является улучшение низкотемпературных характеристик моторного масла, то существенное изменение в лучшую сторону температуры застывания (табл. 2) влечет за собой более облегченное протекание работы автотракторной техники при тяжелых климатических условиях.

Цинк содержится в химических веществах, используемых для изготовления противозносных, антиоксидантных, моющих и ингибиторных присадок против появления коррозии. Увеличение его содержания в моторном масле позволяет эффективно бороться с появлением задиров и повышенного износа деталей двигателя (табл. 2).

Кальций часто встречается в сочетании с магнием и образует детергентную и ингибиторную часть пакета присадок. Уменьшение кальция показывает снижение к устойчивости нагрева и окислению, которые впоследствии приводят к образованию от-

ложений на поверхностях деталей двигателя и их неравномерному износу. Полученные образцы содержат одинаковое количество кальция и его содержание выше, чем у свежего моторного масла, данное изменение влечет за собой благоприятный эксплуатационный эффект (табл. 2).

Показатели: количество отложений в роторе центрифуги, износ деталей цилиндра-поршневой группы двигателя (гильзы цилиндра, компрессионных колец и вкладышей шатунного подшипника), состояние трущихся поверхностей, гильзы цилиндра, поршня, поршневых колец и толкателей клапанов, а также состояние посадочных поверхностей (фасок) клапанов и седел клапанов служат для оценки качества масел при их классификации по нагаро- и лакоотложениям на поршне.

Противопиттинговые свойства оценивают в основном по количеству тарелок толкателей клапана, пораженных питтингом в результате испытаний опытного образца. Моторное масло считается выдержавшим испытания, если усталостное разрушение отмечено не более чем на двух тарелках толкателя клапана (табл. 3).

Максимальное количество отложений в роторе центрифуги для масел группы Д2 достигает 40 г. Образец № 1 показал по сравнению со вторым образцом наименьшую склонность к образованию низкотемпературных отложений (табл. 4).

Суммарная загрязненность внутренней поверхности головки поршня достигает значений в 5,4 и 5,3 балла для образцов соответственно (максимально возможный уровень — 10 баллов, при его достижении 100 % поверхности поршня покрыты отложениями черного цвета). Таким образом, можно говорить о том, что присадки SAP 110 (Shell Additives) и Lz 6662 (Lubrizol) не влияют на склонность моторного масла к образованию низкотемпературных отложений (табл. 4).

Ноль баллов при оценке подвижности компрессионного кольца характеризует свободное пере-

Таблица 5

Результаты оценки склонности моторного масла к присадкам к образованию отложений при высоких температурах на установке НАМИ-1м

Показатели	Образец № 1	Образец № 2
Подвижность поршневых компрессионных колец, балл	0	0
Загрязненность поршня отложениями нагара и лака, балл:		
1-я канавка	1,4	1,2
2-я канавка	0,9	0,9
3-я канавка	0,4	0,6
4-я канавка	0,3	0,3
Суммарная загрязненность канавок	3,0	3,0
1-я перемычка	0,4	0,5
2-я перемычка	0,6	0,5
3-я перемычка	0,3	0,2
Суммарная загрязненность перемычек	1,3	1,2
Загрязненность юбки поршня	0,1	0,1
Суммарная оценка загрязненности поршня, балл	4,4	4,3

Таблица 6

Результаты испытаний моторного масла М8Г2к с присадками SAP 110 и Lz 6662 на двигателе Д-240

Показатели	Образец № 1	Образец № 2
Оценка нагароотложений на поршне, балл:		
Подвижность колец	0	0
Канавки	1,6	1,8
Перемычки	0,5	0,7
Юбка	0	0
Дренажные отверстия	0	0
Внутренняя поверхность	0,2	0,2
Суммарная оценка	2,3	2,7

Таблица 7

Результаты испытаний образцов на установке Petter W-1

Показатели	Образец № 1	Образец № 2
Потеря массы вкладышей шатунного подшипника, мг	7,6	8,8
Прирост вязкости за время испытаний, %	5	3

Таблица 8

Изменение вязкостно-температурных и депрессорных свойств масла М8Г2к с присадками SAP 110 и Lz 6662 в процессе испытаний на двигателе Д-240

Наименование показателей	Образец № 1	Образец № 2
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	8,64	8,21
Температура вспышки в открытом тигле, °С	222	225
Температура застывания, °С	Минус 35	Минус 37

мещение кольца в канавке поршня под нажимом пальца без всякого сопротивления. Предельную величину оценки отложений в кольцевой поршневой канавке и на перемычке между кольцевыми поршневыми канавками (10 баллов) дают при покрытии поверхности внутренней стенки канавки на 100 % толстым слоем твердых отложений (табл. 4).

Для высокотемпературных отложений максимальным значением для описания загрязнения 100 % поверхности поршня является 6 баллов (табл. 5).

Моющие свойства моторного масла М8Г2к (группа Д2) выполняют свои функции при условии значения индекса отложений не более 4 баллов. Образцы № 1 и № 2 имеют достаточный уровень моющих свойств (табл. 6).

Потеря в весе вкладышей подшипника считается показателем коррозионной агрессивности масла по отношению к подшипникам. Масла, обладающие удовлетворительной стойкостью против коррозии, обычно вызывают потерю веса вкладышей, не превышающую 0,25 г (при расчете на один шатунный подшипник). Каждый из образцов далек от достижения этого значения, значит, испытанные образцы обладают необходимым уровнем антикоррозионных и антиокислительных свойств (табл. 7).

После проведения комплекса исследований на двигателе Д-240 были получены значения следующих показателей: вязкость кинематическая при 100 °С, температура вспышки в открытом тигле, температура застывания (табл. 8). Небольшое увеличение вязкости у образцов № 1 и № 2 связано с попаданием продуктов неполного сгорания топлива, а также накопления кислых продуктов при окислении масла. Помимо этого, в образцах сохранилось незначительное количество воды. Тем не менее вязкость осталась в пределах класса SAE 20, что говорит об удовлетворительной стабильности вязкостно-температурных свойств образцов. Незначительное снижение температуры вспышки также можно объяснить попаданием инородных веществ в моторное масло. Как следует из приведенных данных, температура застывания осталась почти неизменной, что говорит о достойном уровне обеспечения депрессорных свойств рассматриваемыми образцами.

Заключение. После анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что присадки SAP 110 и Lz 6662 не влияют на антипиттинговые свойства моторного масла, склонность к образованию различного рода отложений на поверхностях деталей двигателя также не возникает при введении выбранных присадок.

Данные депрессорные добавки не оказывают влияния на антикоррозионные и антиокислительные свойства моторного масла. Образцы № 1 и № 2 обеспечивают необходимый запас моющих свойств. В процессе эксплуатации присадки не ухудшают свои функциональные (депрессорные) свойства. Полученные результаты дают обоснование для использования каждой из рассматриваемых присадок при эксплуатации моторного масла М8Г2к в автотракторных двигателях в период тяжелых климатических условий, так как температура застывания стала существенно более низкой.

Библиографический список

1. Pranav D. S., Charoo M. S. Effect of Lubricants Additive: Use and Benefit // Materials Today: Proceedings. 2019. Vol. 18. P. 4773 – 4781. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.465.

2. Wolak A. TBN performance study on a test fleet in real-world driving conditions using present-day engine oils // Measurement. 2018. Vol. 114. P. 322–331. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.09.044.

3. Vrcsek A., Hultqvist T., Baubet Y. [et al.] Micro-pitting and wear assessment of engine oils operating under boundary lubrication conditions // Tribology International. 2019. Vol. 129. P. 338–346. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.08.032.

4. Wolak A., Zając G. Changes in the operating characteristics of engine oils: A comparison of the results obtained with the use of two automatic devices // Measurement. 2018. Vol. 113. P. 53–61. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.037.

5. Baskov V., Ignatov A., Polotnyanshikov V. Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 50. P. 37–43. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.005.

6. Esfe M. H., Esfandeh S., Arani A. A. A. Proposing a modified engine oil to reduce cold engine start damages and increase safety in high temperature operating conditions // Powder Technology. 2019. Vol. 355. P. 251–263. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.07.009.

7. Петина И. И., Холопова Т. Ю., Хатунцев В. В. Классификация присадок моторных масел, используемых в сельскохозяйственной технике // Наука и образование. 2020. Т. 3, № 2. С. 56.

8. Королев А. Е. Изменение концентрации присадок в моторном масле // Евразийское научное объединение. 2018. № 3-1 (37). С. 61–64.

9. Дмитриевский А. Л., Кудрин А. Б., Иванов П. И. [и др.]. Влияние присадок на свойства масла в двигателе автомобиля //

Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2019. № 2 (57). С. 3–10.

10. Жосан А. А., Ревякин М. М., Головин С. И. К вопросу о способах повышения эксплуатационных свойств моторных масел // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 4 (29). С. 56–61.

11. Королев А. Е. Использование присадок при обкатке двигателей // Аллея науки. 2018. Т. 2, № 11 (27). С. 765–768.

12. Yadav G., Tiwari S., Jain M. L. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester // Materials Today: Proceedings. 2018. Vol. 5. P. 248–253. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.11.079.

ПАШУКЕВИЧ София Вячеславовна, аспирант кафедры «Химия и химическая технология».

SPIN-код: 5626-7085

ORCID: 0000-0002-8111-4725

Адрес для переписки: sofia96@bk.ru

Для цитирования

Пашукевич С. В. Исследование влияния депрессорных присадок на физико-химические свойства моторного масла // Омский научный вестник. 2021. № 3 (177). С. 30–34. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-30-34.

Статья поступила в редакцию 22.03.2021 г.

© С. В. Пашукевич