



DOI 10.22363/2312-8143-2021-22-4-329-338
УДК 62-713.3

Научная статья / Research article

Анализ свойств антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания

О.И. Телков[✉], А.Д. Космачева, А.А. Ходяков^{ID}, С.В. Хлопков^{ID}, И.К. Данилов^{ID}

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ 1032202136@rudn.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 12 августа 2021 г.
Доработана: 10 сентября 2021 г.
Принята к публикации: 25 сентября 2021 г.

Ключевые слова:

антифриз, моноэтиленгликоль, вязкость, плотность, водородный показатель, электропроводность, полиномиальная модель, полный факторный эксперимент

Аннотация. Представлены результаты диагностики показателей антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания. Выбранное направление исследования актуально, так как позволяет прогнозировать не только изменение свойств антифриза в процессе его эксплуатации, но и получить свидетельства о протекании процессов коррозии металлов. Цель исследования – проведение контрольных испытаний антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания, обеспечивающих поддержание силового агрегата в исправном состоянии. Объектами исследования были свежий антифриз AGAZ-40-G12++ (2021 года выпуска; А-21) и охлаждающая жидкость AGAZ-40-G12+ (2012 года выпуска; АЭ-12) после ее эксплуатации в течение нескольких лет. Показано, что водородный показатель, плотность, вязкость, электропроводность проб охлаждающей жидкости до и после ее эксплуатации различны. Установлено, что ход зависимостей электропроводности σ от температуры t для образцов А-21 и АЭ-12 одинаков. Зависимость σ от t описывается полиномиальной (квадратичной) моделью. Сделано предположение, что более высокие значения водородного показателя АЭ-12 могут свидетельствовать о протекании электрохимической коррозии металлов, которые в процессе контакта с антифризом образуют короткозамкнутые гальванические пары. С помощью проведенного полного факторного эксперимента продемонстрировано, что более высокие значения рН бывшего в эксплуатации антифриза могут быть отражением деградации свойств моноэтиленгликоля и протекающих процессов коррозии металлов.

Для цитирования

Телков О.И., Космачева А.Д., Ходяков А.А., Хлопков С.В., Данилов И.К. Анализ свойств антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 4. С. 329–338. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-4-329-338>



Analysis of antifreeze properties before and after their operation in engine

Oleg I. Telkov[✉], Anastasia D. Kosmacheva,
Aleksandr A. Khodyakov^{ID}, Sergey V. Khlopkov^{ID}, Igor K. Danilov^{ID}

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

✉ 1032202136@rudn.ru

Article history

Received: August 12, 2021

Revised: September 10, 2021

Accepted: September 25, 2021

Keywords:

antifreeze, monoethylene glycol, viscosity, density, pH, electrical conductivity, polynomial model, full factorial experiment

Abstract. The results of diagnostics of antifreeze indicators before and after their operation in an internal combustion engine are presented. The chosen direction of research is relevant, since it allows one to predict not only the change in the properties of antifreeze during its operation, but also to obtain evidence of the course of metal corrosion processes. The purpose of the study – to conduct control tests of antifreezes before and after their operation in an internal combustion engine, that ensures the maintenance of the power unit in good condition. The objects of study were fresh AGA Z-40-G12++ antifreeze (release of 2021; A-21) and coolant AGA Z-40-G12+ (release of 2012; AE-12) after its operation for several years. It is shown that the pH, density, viscosity, electrical conductivity of the coolant samples before and after its operation are different. It was found that the course of the dependences of electrical conductivity σ on temperature t for samples A-21 and AE-12 is the same. The dependence of σ on t is described by a polynomial (quadratic) model. It has been suggested that higher values of the AE-12 hydrogen index may indicate the occurrence of electrochemical corrosion of metals, which, in the process of contact with antifreeze, form short-circuited galvanic pairs. With the help of a complete factorial experiment, it was demonstrated that higher pH values of used antifreeze can be a reflection of the degradation of the properties of monoethylene glycol and the ongoing processes of metal corrosion.

For citation

Telkov OI, Kosmacheva AD, Khodyakov AA, Khlopkov SV, Danilov IK. Analysis of antifreeze properties before and after their operation in engine. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(4):329–338. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-4-329-338>

Введение

Известно, что большое число неисправностей автомобилей, требующих затрат на диагностику и дорогостоящий ремонт, связано с отказами элементов системы охлаждения, которые могут привести не только к изменению теплового режима работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), но и перегреву силового агрегата. Так, например, отказ термостата (терморегулятора), который относится к невосстанавливаемым изделиям, может повлечь нарушение геометрии головки блока цилиндров. Работа двигателя связана не только с исправностью применяемых для охлаждения устройств, но и со свойствами применяемого для охлаждения двигателя хладагента, с деградацией его свойств.

В качестве хладагента в современных силовых агрегатах используют антифризы – жидкости, в которых кроме моноэтиленгликоля (основной компонент) присутствуют и различного рода присадки¹ [1–5]. Современные охлаждающие жидкости из-за сложности их состава выполняют функции, присущие моторным маслам и смазочно-охлаждающим жидкостям. Охлаждающие жидкости в настоящее время делят (классифицируются) на традиционные, гибридные, карбоксилатные и лобридные антифризы.

Антифризы, так же как и другие эксплуатационные материалы, должны обеспечивать на-

¹ Межгосударственный стандарт. Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2007. 14 с.

дежность и долговечность транспортных средств. Поэтому контроль показателей антифриза до и после его эксплуатации является мероприятием, проведение которого в итоге может явиться одним из важнейших факторов, обеспечивающих исправное состояние автомобилей. Следует отметить, что разработка рецептур антифризов с улучшенными эксплуатационными свойствами не теряет своей актуальности [5]. Это связано со сложностью современных систем охлаждения, заключающейся в применении при их изготовлении разных по природе конструкционных материалов.

Экспериментальная часть

Объектами исследования были антифризы AGAZ-40-G12++ (2021 года выпуска; А-21) и AGAZ-40-G12+ (2012 года выпуска; АЭ-12) после его эксплуатации в течение нескольких лет в ДВС.

Для измерения водородного показателя (рН) антифризов использовали рН-метр 5170. Измерения (при температуре 20 °С) проводили с помощью стеклянного электрода. Калибровку устройства регистрации водородного показателя осуществляли, применяя в качестве эталонов стандартные буферные растворы с рН 3,57; 4,00; 5,00; 6,88; 9,22. Погрешность измерения водородного показателя $\pm 0,05$ рН.

Удельную электропроводность σ проб антифризов измеряли прибором СОМ 100 (диапазон измерения электропроводности 0–9990 мкСм·см⁻¹, погрешность измерения ± 2 %). При измерении σ охлаждающую жидкость с помощью магнитной мешалки подвергали перемешиванию.

Измерение рН и удельной электропроводности проб антифризов проводили в стеклянных химических стаканах емкостью 50 мл. Минимальный объем жидкости, помещаемой в измерительную емкость, составлял 20 мл. Измеряли не только рН и σ исходных образцов антифризов, но разбавленных дистиллированной водой проб жидкостей.

Массу жидкостей, а также необходимых для проведения исследований материалов измеряли на лабораторных весах ВЛТЭ-150 (II класс точности, ГОСТ 24104–2001). Наименьший предел взвешивания ВЛТЭ-150 составляет 0,02 г. Предел погрешности весов при интервале взвешивания от 0,02 до 50 г равен ± 3 мг, среднеквадратическое отклонение показаний весов не более 1,5 мг.

Плотность антифризов измеряли с помощью денсиметров. По величине измеренной плотности, используя табличные данные, определяли процентное содержание в антифризах моноэтиленгликоля (МЭГ).

Кинематическую вязкость проб антифризов определяли (в интервале температур от 20 до 100 °С) вискозиметрами ВПЖ-4.

Расчет вязкости ν , сСт, проводили по уравнению

$$\nu = C\tau, \quad (1)$$

где C – постоянная вискозиметра, сСт·с⁻¹; τ – среднеарифметическое время истечения проб жидкостей, сек.

Результаты и обсуждение

Измерение водородного показателя антифризов проводили в соответствии с ГОСТом, где указано, что рабочие охлаждающие жидкости ОЖ-65 и ОЖ-40 испытывают без разбавления². Антифриз АЭ-12 с содержанием МЭГ 97,8 % перед измерением рН разбавляли дистиллированной водой таким образом, чтобы концентрация моноэтиленгликоля была около 50 %.

Статистико-математическую обработку данных проводили с помощью статистических функций и надстроек «Пакет анализа», «Поиск решения» табличного процессора Microsoft Office Excel [6; 7].

Для определения числа повторных измерений параметров рН и σ были проведены 4-кратные измерения водородного показателя и электропроводности антифриза Л-40. Далее, используя рассчитанные значения стандартного отклонения и величину требуемой точности результата измерения рН, вычисляли минимальное число необходимых измерений (количество повторных опытов) [8]:

$$n \geq \frac{t_{\gamma}^2 s_{\text{рН}}^2}{\varepsilon^2}, \quad (2)$$

где t_{γ} – критерий Стьюдента, определяемый с помощью функции «СТЮДРАСПОБР» (уровень значимости 0,05, число проведенных опытов 4); $s_{\text{рН}}$ – стандартное отклонение; ε – требуемая точность измерения рН ($\varepsilon = \pm 0,05$ рН).

² Межгосударственный стандарт. Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2007. 14 с.

Минимальное число измерений электропроводности рассчитывали по формуле

$$n = \frac{t_{\gamma}^2 \omega^2}{\varepsilon^2}, \quad (3)$$

где t_{γ} – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности γ (аналогичный коэффициент Стьюдента только при $n = \infty$); ω – коэффициент вариации; ε – относительная погрешность вычисления случайной величины (требуемая точность результата $\varepsilon = \pm 2\%$).

В результате проведенных расчетов установлено, что число повторных испытаний для требуемых точностей составило $\sim 1,3$ – $1,5$ измерений. При таких значениях n посчитали, что целесообразно проводить по одному измерению как pH, так и σ .

В табл. 1 приведены плотность, содержание МЭГ в пробах, водородный показатель, электропроводность и вязкость взятых для анализа антифризов.

Таблица 1

Плотность ρ антифризов, содержание C в пробах моноэтиленгликоля, pH, электропроводность и вязкость ν охлаждающих жидкостей

Анти-фриз	Показатель				
	ρ , г·см ⁻³	C, %	pH	σ^{**} , мкСм·см ⁻¹	ν , сСт
АЭ-12	1,114	97,8	8,56*	1770	9,5
А-21	1,070	52,6	8,06	1970	3,6

Примечание: * – водородный показатель разбавленного раствора АЭ-12 (концентрация МЭГ $\sim 50\%$); ** – электропроводность при 24,6 °С неразбавленных проб антифризов.

Table 1

Density ρ of antifreezes, content C in samples of monoethylene glycol, pH, electrical conductivity and viscosity ν of coolants

Anti-freeze	Index				
	ρ , g·cm ³	C, %	pH	σ^{**} , mkSm·cm ⁻¹	ν , cSt
AE-12	1.114	97.8	8.56*	1770	9.5
A-21	1.070	52.6	8.06	1970	3.6

Note: * – pH of diluted AE-12 solution (MEG concentration $\sim 50\%$); ** – electrical conductivity at 24.6 °C of undiluted antifreeze samples.

Из сопоставления данных (табл. 1) следует, что показатели проб охлаждающих жидкостей АЭ-12 и А-21 отличаются. Отличие pH жидкости, слитой из системы охлаждения двигателя, от водородного показателя свежего антифриза

наблюдается и в разбавленных дистиллированной водой образцах АЭ-12. Все это свидетельствует об изменении свойств бывшей в эксплуатации охлаждающей жидкости.

На рис. 1 представлены зависимости σ от температуры, а в табл. 2 уравнения регрессии, полученные аппроксимацией данных с помощью линии тренда, и величины достоверности аппроксимации – коэффициенты детерминации.

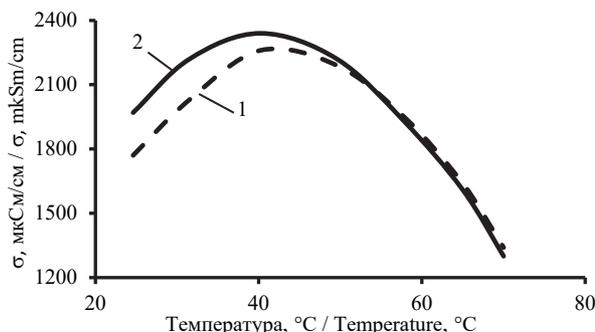


Рис. 1. Изменение электропроводности проб антифризов в зависимости от температуры:

1 – АЭ-12; 2 – А-21

Figure 1. Change in electrical conductivity of antifreeze samples depending on temperature:

1 – AE-12; 2 – A-21

Таблица 2

Уравнения регрессии и величины достоверности аппроксимации R^2

По данным	Уравнение	R^2
АЭ-12	$\hat{y} = -1,3042x^2 + 113,68x - 237,7$	0,9962
А-21	$\hat{y} = -1,2196x^2 + 99,862x + 270,07$	0,9965

Table 2

Regression equations and approximation confidence values R^2

Data	Equation	R^2
AE-12	$\hat{y} = -1.3042x^2 + 113.68x - 237.7$	0.9962
A-21	$\hat{y} = -1.2196x^2 + 99.862x + 270.07$	0.9965

Ход зависимостей σ от температуры для изученных проб АЭ-12 (97,8 % МЭГ) и А-21 ($\sim 50\%$ МЭГ) одинаков (рис. 1). Однако сами значения электропроводности в АЭ-12 и А-21 отличаются при низких температурах (до 52 °С) и становятся идентичными при высоких температурах (больше 52 °С). Следовательно, электропроводность антифриза при характерных температурах (80–90 °С) охлаждающей жидкости в работающем двигателе

не зависит от содержания в охлаждающей жидкости моноэтиленгликоля.

Коэффициент детерминации показывает степень соответствия трендовой модели исходным данным. Чем ближе R^2 к 1, тем точнее модель. Приведенные в табл. 2 значения коэффициентов детерминации свидетельствуют о высокой точности полиномиальной (квадратичной) модели, описывающей зависимость электропроводности от температуры охлаждающей жидкости.

Определение температур, соответствующих экстремальным значениям σ , проводили, исполь-

зуя надстройку «Поиск решения». Расчет показал, что экстремальное значение электропроводности для пробы АЭ-12 наблюдается при температуре 43,6 °С, для образца А-21 – 44,2 °С. Эти значения температуры с учетом погрешности ее измерения (± 1 °С) одинаковы. Следовательно, различие в содержании моноэтиленгликоля в пробах никак не отражаются в величинах температур, при которых наблюдаются экстремумы электропроводности.

На рис. 2 представлено изменение вязкости антифризов в зависимости от температуры охлаждающей жидкости.

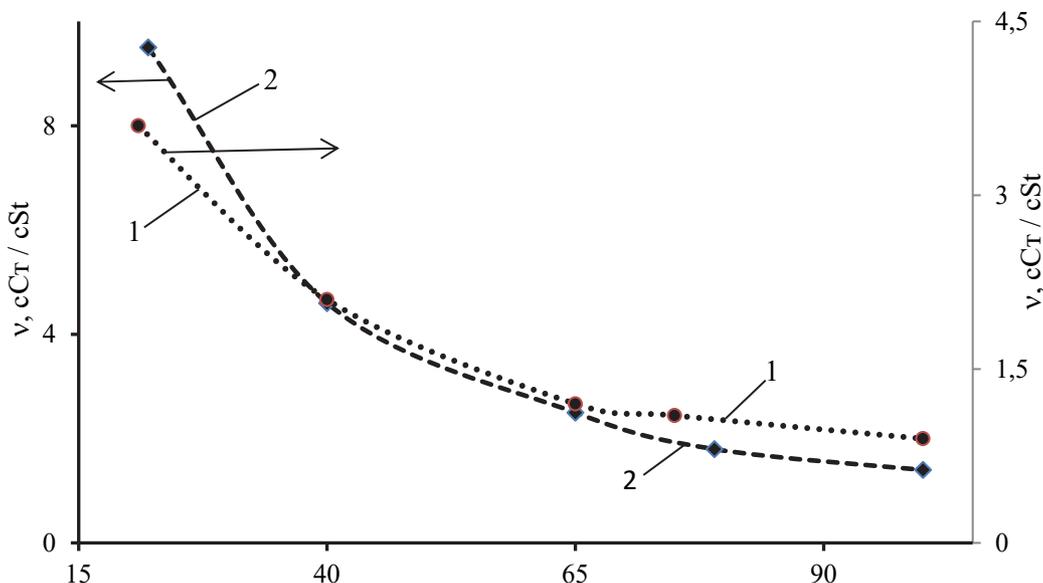


Рис. 2. Изменение вязкости антифризов в зависимости от температуры охлаждающей жидкости:
1 – А-21; 2 – АЭ-12
Figure 2. Change in the viscosity of antifreeze depending on the temperature of the coolant:
1 – А-21; 2 – АЕ-12

Ход зависимости v от температуры независимо от содержания МЭГ представляет собой кривую линию (рис. 2). Значения вязкости проб АЭ-12 выше аналогичных параметров, регистрируемых в образцах А-21 в диапазоне температур от 20 до 100 °С (рис. 2, табл. 1).

Энергию активации вязкого течения E_a определяли, используя зависимость для установившегося процесса течения v от температуры – уравнение Френкеля – Андраде [9; 10]:

$$v = A \exp(E_a / RT), \quad (4)$$

где A – постоянная; E_a – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Для определения E_a использовали значения вязкости, измеренные при температурах 20, 40, 65, 75–79 и 100 °С. Анализировали зависимость:

$$y = a + bx, \quad (5)$$

где y – логарифм вязкости $\ln v$; a – свободный член; b – коэффициент регрессии, равный отношению E_a к R ; x – обратная абсолютная температура $1/T$.

Энергия активации вязкого течения составила 0,23 эВ (АЭ-12) и 0,16 эВ (А-21). Величина E_a – энергия активации молекулярного скачка представляет собой потенциальный барьер, который преодолевает молекула, двигаясь по вакансиям, находящимся в соседних слоях жидкости. Такое отличие значений E_a и величин вязкости позво-

ляет сделать прогноз о скорости прогрева двигателя и рабочих параметрах хладагента. Скорость прогрева двигателя может возрастать при охлаждении силового агрегата антифризом с большим содержанием МЭГ, а рабочие параметры жидкости (при 80–90 °С) из-за ее высокой вязкости отличаться от параметров антифризов с более низким содержанием моноэтиленгликоля.

Значения рН близких по содержанию моноэтиленгликоля жидкостей АЭ-12 и А-21 отличаются (табл. 1). Аналогичное отличие характерно и для величин σ . Удельная электропроводность

А-21 составила 1970 мкСм·см⁻¹, АЭ-12 (с содержанием МЭГ ~ 50%) – 2960 мкСм·см⁻¹. Более высокие значения рН в АЭ-12 могут свидетельствовать о протекании электрохимической коррозии металлов, которые в процессе контакта с антифризом образуют короткозамкнутые гальванические пары [11]. Для проверки того, что параметры рН бывшего в эксплуатации антифриза могут быть отражением деградации свойств этиленгликоля и протекающих процессов коррозии металлов, был поставлен полный факторный эксперимент (ПФЭ 2²) [12].

Таблица 3

Массы вносимых в пробы антифриза реагентов, измеренные значения водородного показателя

№ опыта	Вносимые в пробу реагенты, мг		рН _А	рН _Б
	Pb(NO ₃) ₂	NaHCO ₃		
1	50	100	7,88	7,91
2	100	50	7,77	7,81
3	50	50	7,93	7,95
4	100	100	7,85	7,92

Table 3

Weights of reagents added to antifreeze samples, measured pH values

No of experiment	Reagents introduced into the sample, mg		pH _A	pH _B
	Pb(NO ₃) ₂	NaHCO ₃		
1	50	100	7.88	7.91
2	100	50	7.77	7.81
3	50	50	7.93	7.95
4	100	100	7.85	7.92

Pb(NO ₃) ₂	NaHCO ₃	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ *x ₂	y ₁	y ₂	y _{ср}	x ₁ *y _{ср}	x ₂ *y _{ср}	x ₁ *x ₂ *y _{ср}	(y _{ср} -y ₁) ²	(y _{ср} -y ₂) ²	Σ
50	100	0	-1	1	-1	7,88	7,91	7,895	-7,895	7,895	-7,895	0,000225	0,000225	0,00045
100	50	0	1	-1	-1	7,77	7,81	7,79	7,79	-7,79	-7,79	0,0004	0,0004	0,0008
50	50	0	-1	-1	1	7,93	7,95	7,94	-7,94	-7,94	7,94	1E-04	0,0001	0,0002
100	100	0	1	1	1	7,85	7,92	7,885	7,885	7,885	7,885	0,001225	0,001225	0,00245
								31,51	-0,16	0,05	0,14			0,0039
														0,000975
														0,01104
b ₀	7,8775					0,000156								
b ₁	-0,04					0,000156								2,776445 t _{крит}
b ₂	0,0125					0,000156								0,030651
b ₁₂	0,035					0,000156								
						0,000625								
						0,00125								
						1,282051 F _{расч}								
						7,708647 F _{крит}								
						y=7,4425+0,0016*x ₁ -0,0042*x ₂ +0,000056*x ₁ *x ₂								

Рис. 3. Матрица планирования ПФЭ 2², коэффициенты регрессии, расчет значимости коэффициентов, адекватности уравнения регрессии

Figure 3. Matrix for planning PFE 2², regression coefficients, calculation of the significance of the coefficients, the adequacy of the regression equation

В ПФЭ использовали антифриз А-21, азотно-кислый свинец (Pb(NO₃)₂) и гидрокарбонат натрия (NaHCO₃). В водных растворах, взятых для проведения опытов реагентов, присутствует избыточное количество ионов водорода [H⁺] (Pb(NO₃)₂)

и [OH⁻] (NaHCO₃). Растворяясь в охлаждающей жидкости (водном растворе этиленгликоля), эти вещества должны оказывать влияние на водородный показатель антифриза. Появление в водном растворе этиленгликоля [H⁺] и [OH⁻] являет-

ся имитацией протекающих в системе охлаждения двигателя процессов коррозии металлов, моделированием процессов, приводящих к образованию в результате окисления моноэтиленгликоля кислоты, а также имитацией действия присутствующей в антифризах антикоррозионной щелочной присадки.

Таблица 4 / Table 4

**Коэффициенты уравнения регрессии /
Coefficients of the regression equation**

b_0	b_1	b_2	$b_{1,2}$
7,8775	-0,04	0,0125	0,035

Уравнение регрессии в кодированных переменных

$$y = 7,8775 - 0,04x_1 + 0,0125x_2 + 0,035x_1x_2.$$

В результате проведенных в табличном процессоре Microsoft Office Excel расчетов установлено, что коэффициенты регрессии, за исключением b_2 , статистически значимы. Уравнение регрессии в целом адекватно, то есть доля вариации, отнесенная за счет уравнения регрессии, больше, чем за счет случайных неучтенных факторов. Из-за отсутствия значимости одного из четырех коэффициентов регрессии полученная модель пригодна для принятия только некоторых решений, но не для прогнозов.

Уравнение регрессии в кодированных переменных с учетом того, что $b_2 = 0$ приобретает вид

$$y = 7,8775 - 0,04x_1 + 0,035x_{1,2}.$$

После преобразования последнего выражения посредством перевода кодированных переменных в натуральные переменные получили уравнение

$$y = 7,4425 + 0,0016z_1 - 0,042z_2 + 0,000056z_1z_2. \quad (6)$$

Правильность выбранного набора факторов, интервала их варьирования, а также установления, соответствует ли точность использованного рН-метра решению поставленной задачи, проводили оценкой однородности дисперсий.

Гипотезу однородности (равенства) дисперсий проверяли с помощью критерия Кохрена. Использовали «Инструмент анализа», «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений» (рис. 4).

Расчетное значение критерия Кохрена $G_{\text{расч}}$ составило 0,628205, критическое $G_{\text{крит}} - 0,870901$, то есть $G_{\text{расч}} < G_{\text{крит}}$ (рис. 4). Следовательно, гипотеза об однородности дисперсий принимается и в повторении опытов нет необходимости.

Изменение свойств бывшего в эксплуатации антифриза АЭ-12 оценивали по соотношению (6). Расчет по представленному выражению должен дать ответ на вопрос: какое количество $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и NaHCO_3 необходимо поместить в охлаждающую жидкость, чтобы ее водородный показатель составил 8,56?

Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений						
ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Строка 1	2	15,79	7,895	0,00045	0,016666667	
Строка 2	2	15,58	7,79	0,0008	13,49193338	
Строка 3	2	15,88	7,94	0,0002	0,870900555 $G_{\text{крит}}$	
Строка 4	2	15,77	7,885	0,00245		
				0,0039		
Столбец 1	4	31,43	7,8575	0,00449167	0,628205128 $G_{\text{расч}}$	
Столбец 2	4	31,59	7,8975	0,00369167		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки	0,02385	3	0,00795	34,0714286	0,008103422	9,276628154
Столбцы	0,0032	1	0,0032	13,7142857	0,03420018	10,12796448
Погрешность	0,0007	3	0,000233			
Итого	0,02775	7				

Рис. 4. Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений

Two-way analysis of variance without repetitions							
Totals	Score	Sum	Average	Variance			
Line 1	2	15,79	7,895	0,00045		0,016667	
Line 2	2	15,58	7,79	0,0008		13,49193	
Line 3	2	15,88	7,94	0,0002		0,870901	G(critical)
Line 4	2	15,77	7,885	0,000245			
				0,0039			
Column 1	4	31,43	7,8575	0,004492		0,628205	G(estimated)
Column 2	4	31,59	7,8975	0,003692			
Analysis of variance							
Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	t-critical	
Lines	0,02385	3	0,00795	34,07143	0,008103	9,276628	
Columns	0,0032	1	0,0032	13,71429	0,0342	10,12796	
Inaccuracies	0,0007	3	0,0000233				
Total	0,02775	7					

Figure 4. Two-way analysis of variance without repetitions

Для ответа на поставленный вопрос использовали надстройку «Поиск решения», где значение целевой функции приравнивали к 8,56. Показано, что суммарный вес реагентов составил 311–340 мг, что в 1,6–1,7 раза больше массы внесенных в антифриз A-21 $Pb(NO_3)_2$ и $NaHCO_3$ (200 мг). Следовательно, величина pH бывшего в эксплуатации антифриза отражает не только изменение свойств охлаждающей жидкости, но и свидетельствует о протекании (при контакте хладагента с металлами) процессов коррозии.

Заключение

Обобщая представленные результаты опытов и их обсуждение, следует сделать вывод о целесообразности контроля показателей свежего (исходного) антифриза (A-21) и жидкости после ее эксплуатации (AЭ-12) в бензиновом двигателе. Показано, что водородный показатель, плотность, вязкость, электропроводность проб охлаждающих жидкостей до и после ее эксплуатации различны. Установлено, что ход зависимостей электропроводности σ от температуры t для образцов A-21 и AЭ-12 одинаков. Зависимость σ от t описывается полиномиальной (квадратичной) моделью. Показано, что электропроводность антифриза при характерных температурах (80–90 °C) охлаждающей жидкости в работающем двигателе не за-

висит от содержания в охлаждающей жидкости моноэтиленгликоля. Энергия активации (E_a) вязкого течения составила 23 (AЭ-12) и 16 (A-21) эВ. Такое отличие значений E_a , как и величин самой вязкости позволяет сделать вывод о различиях в выполнении жидкостями своих функций при охлаждении силового агрегата. Сделано предположение, что более высокие значения водородного показателя AЭ-12 могут свидетельствовать о протекании электрохимической коррозии металлов, которые в процессе контакта с антифризом образуют короткозамкнутые гальванические пары. С помощью проведенного полного факторного эксперимента показано, что более высокие значения pH бывшего в эксплуатации антифриза могут быть отражением деградации свойств моноэтиленгликоля и протекающих процессов коррозии металлов.

Список литературы

1. Курников М.В. Никонов А.С. Технические жидкости автомобиля // Вестник науки и образования. 2021. № 10–3 (113). С. 17–20.
2. Novotny V., Spale J., Szucs D.J., Tsai H.-Y., Kolyvatnik M. Direct integration of an organic Rankine cycle into an internal combustion engine cooling system for comprehensive and simplified waste heat recovery // Energy Reports. 2021. Vol. 7. Supplement 5. Pp. 644–656. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.088>

3. Курень С.Г., Дьяченко А.Д., Сокол Н.А., Клецкий М.Е., Цупак Е.Б., Вассель С.С. Квантовохимическое исследование компонентов автомобильного антифриза // Известия вузов. Северокавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 1 (149). С. 51–54.

4. Наглюк М.И. Влияние температуры на изменение электрической проводимости антифриза // Автомобильный транспорт. 2011. Вып. 29. С. 224–226.

5. Баширцева Н.Ю., Сладовская Ю.О., Овчинникова Ю.С., Ласковенкова Е.Е., Сибгатуллин А.А. Разработка охлаждающих жидкостей нового поколения с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 11. С. 24–28.

6. Walkenbach J. *Excel 2010 Bible*. Hoboken: Wiley, 2010. 1058 p.

7. Кононюк А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента): в 4 кн. К. 1. К.: КНТ, 2011. 508 с.

8. Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2016. № 8. С. 128–132.

9. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, 1975. 375 с.

10. Bartenev G.M. Determining the activation energy of polymeric viscous flow from experimental data // Polymer Science U.S.S.R. 1964. Vol. 6. Issue 2. Pp. 383–389. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(64\)90322-3](https://doi.org/10.1016/0032-3950(64)90322-3).

11. Şimşek İ. Investigation of corrosion behaviors of Al-B4C-reinforced composite materials in different antifreeze solutions // Prot. Met. Phys. Chem. Surf. 2021. Vol. 57. Pp. 565–569. <https://doi.org/10.1134/S2070205121030229>

12. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А. Применение средств ЭВМ при обработке активного эксперимента. Волгоград: ВолгГТУ, 2008. 16 с.

2. Novotny V, Spale J, Szucs DJ, Tsai H-Y, Kolovratnik M. Direct integration of an organic Rankine cycle into an internal combustion engine cooling system for comprehensive and simplified waste heat recovery. *Energy Reports*. 2021;7(Suppl. 5):644–656. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.088>

3. Kuren SG, Dyachenko AD, Sokol NA, Klets-kiy ME, Tsupak EB, Vassel SS. Quantum-chemical research of automobile antifreeze components. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2009;(1(149)):51–54. (In Russ.)

4. Naglyuk MI. Influence of temperature on change of electric conductivity of antifreeze. *Automobile Transport*. 2011;(29):224–226. (In Russ.)

5. Bashkirtseva NYu, Sladovskaya YuO, Ovchinnikova YuS, Laskovenkova EE, Sibgatullin AA. Development of new generation cooling liquids with improved operational properties. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2012;15(11):24–28. (In Russ.)

6. Walkenbach J. *Excel 2010 Bible*. Hoboken: Wiley, 2010.

7. Kononyuk AE. *Fundamentals of scientific research (general theory of experiment)* (book 1). К.: KNT Publ.; 2011. (In Russ.)

8. Boyko AF, Kudenikov EYu. Exact methods calculate the necessary amount of repeat experience. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016;(8):128–132. (In Russ.)

9. Frenkel YI. *Kinetic theory of liquids*. Leningrad: Nauka Publ.; 1975. (In Russ.)

10. Bartenev GM. Determining the activation energy of polymeric viscous flow from experimental data. *Polymer Science U.S.S.R.* 1964;6(2):383–389. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(64\)90322-3](https://doi.org/10.1016/0032-3950(64)90322-3)

11. Şimşek İ. Investigation of corrosion behaviors of Al-B4C-reinforced composite materials in different antifreeze solutions. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.* 2021;57: 565–569. <https://doi.org/10.1134/S2070205121030229>

12. Gaidadin AN, Efremova SA. *Application of computer facilities in processing an active experiment*. Volgograd: VolgSTU Publ.; 2008. (In Russ.)

References

1. Kirpikov MV, Nikonov AS. Car technical fluids. *Bulletin of Science and Education*. 2021;(10–3(113)):17–20. (In Russ.)

Сведения об авторах

Телков Олег Игоревич, магистрант департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032202136@rudn.ru

Космачёва Анастасия Дмитриевна, магистрант департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032202134@rudn.ru

Ходяков Александр Андреевич, кандидат химических наук, доцент департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-9391-2890, Scopus Author ID: 6701565417, eLIBRARY SPIN-код: 4780-1919. E-mail: khodyakov-aa@rudn.ru

Хлопков Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-9536-7558, Scopus Author ID: 5721210902, eLIBRARY SPIN-код: 8997-3305. E-mail: khlopkov-sv@rudn.ru

Данилов Игорь Кеворкович, доктор технических наук, директор департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-7142-7461, Scopus Author ID: 57210770802, eLIBRARY SPIN-код: 1633-2700. E-mail: danilov-ik@rudn.ru

About the authors

Oleg I. Telkov, master student, Department of Transport, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1032202136@rudn.ru

Anastasia D. Kosmacheva, master student, Department of Transport, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1032202134@rudn.ru

Alexander A. Khodyakov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9391-2890, Scopus Author ID: 6701565417, eLIBRARY SPIN-code: 4780-1919. E-mail: khodyakov-aa@rudn.ru

Sergey V. Khlopkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-9536-7558, Scopus Author ID: 57212109092, eLIBRARY SPIN-code: 8997-3305. E-mail: khlopkov-sv@rudn.ru

Danilov Igor Kevorkovich, Doctor of Technical Sciences, Director of the Department of Transport, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7142-7461, Scopus Author ID: 57210770802, eLIBRARY SPIN-code: 1633-2700. E-mail: danilov-ik@rudn.ru