



П.И. Смирнов, П.Е. Смирнов
 Вологодский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РАМКАХ ФИРМЕННОЙ СИСТЕМЫ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТО

В современных условиях все большее количество производителей грузовых автомобилей и специальной строительной и сельскохозяйственной техники применяют вместо системы технического обслуживания с жестко установленными интервалами по пробегу или работе техники в часах новые Computerized Maintenance Management System (CMMS). Последние позволяют применять индивидуально настраиваемые системы технического обслуживания техники, определяющие интервалы обслуживания в зависимости от реальной нагрузки на технику и условий ее эксплуатации. В работе проанализированы данные по 22 единицам грузовых автомобилей Mercedes-Benz Agocs и Mercedes-Benz Actros на протяжении 180–250 тыс. км пробега и проведению сервисных обслуживаний на них, показаны интервалы обслуживания, проанализировано влияние условий эксплуатации.

Грузовой автомобиль, интервал технического обслуживания, условия эксплуатации, интеллектуальная система управления интервалами технического обслуживания.

Важность системы технического обслуживания коммерческой грузовой и специальной техники не подвергается сомнению [1, 2]. В настоящих условиях при наличии серьезных угроз дальнейшего развития трендов на экологический зеленый переход в области использования и применения альтернативных источников энергии [3], нарастающих диспропорций при добыче, транспортировке и использовании традиционных видов топлива, увеличении доли эксплуатационных затрат при перевозках грузов автомобильным транспортом вопрос последовательного изменения подходов в организации Fleet Management System становится одной из приоритетнейших задач [4, 5].

С февраля 2022 года система мониторинга транспорта RoadStream устанавливается на все новые грузовые автомобили Mercedes-Benz, кроме того существует возможность оснащения оборудованием для подключения к этой системе для более старых ТС. Система представляет возможности реализации полноценной платформы по управлению корпоративным парком Fleet Management System – FMS и реализует все базовые функции: онлайн-мониторинг положения и режима работы ТС, контроль эффективности использования, расхода топлива, персонализацию и управление правами доступа водителей и оценка качества вождения ТС. Помимо этих функций система представляет достаточно интересный и расширенный функционал. Модуль «Анализ эффективности водителей» позволяет на основе заданных алгоритмов оценки навыков водителя по управлению ТС определить потенциал по снижению расхода топлива и снижению степени износа основных узлов ТС на основе анализа навыков работы с педалями газа и тормоза: частота и интенсивность разгонов и торможений, правильность выбора оборотов и силы нажатия на педаль газа; оценка средней скорости, подсчет числа остановок с работающим двигателем. Сис-

тема проводит оценку сложности конкретных рейсов ТС с учетом перепада высот, массы автопоезда и загрузки трассы и может давать рекомендации по их прохождению. Платформа создает автоматические отчеты для руководителей парка, специалистов по технической эксплуатации ТС и тренеров-консультантов по обучению водителей компании, формирует отчеты по навыкам водителей и позволяет сравнивать результаты их вождения с лучшими мировыми практиками на подобной технике. Платформа содержит модуль по учету и контролю соблюдения режимов труда и отдыха водителей и согласования их с результатами управления парком для решения текущих логистических задач. С точки зрения планирования и управления техническим состоянием ТС система позволяет отслеживать и планировать время проведения ТО, оценивать интенсивность изнашивания основных узлов и степень их наработки, показывает в реальном времени температуру и давление моторного масла, уровень охлаждающей жидкости, износ тормозных колодок и давление в шинах. Система поддерживает удаленную диагностику ТС за счет считывания кодов неисправностей из блоков управления, отправки данных на сервер и ответственным лицам и принятия решения о возможности/невозможности эксплуатации ТС. Система ничем не выделяется из подобных платформ и на наш взгляд содержит весьма скромные возможности для оценки качества вождения ТС. В качестве исходных данных были использованы результаты эксплуатации 22 грузовых автомобилей Actros 1845 LS и Agocs 3351 за период с 2020 по 2022 год, эксплуатирующихся на северо-западе и в центральном регионе Российской Федерации. Автомобили Actros 1845 LS в исполнении седельных тягачей использовались для работы на междугородних маршрутах по качественным дорогам с асфальтовым покрытием и высокой интенсивностью

движения, автомобили Agocs 3351 в модификации сортиментовозов были задействованы для перевозки леса и пиломатериалов преимущественно по грунтовым лесным и дорогам местного значения с малой плотностью движения и низкими эксплуатационными скоростями. Все эти автомобили подключены к системе Mercedes-Benz Uptime в течение исследуемого периода и проходили техническое обслуживание у официального дилера в г. Вологде в соответствии с назначением индивидуальных интервалов технического обслуживания фирменной бортовой системы теледиагностики. За анализируемый период были собраны данные заказ-нарядов на указанную технику по всем операциям планового сервисного обслуживания, в которых фиксировались дата их прохождения, пробег автомобиля, марка, вязкость и спецификация моторного масла и перечень операций. Кроме того, при поступлении автомобиля к официальному дилеру в обязательном порядке проводился входной расширенный диагностический тест системой Xentry (рис. 1).

По его данным определялись имеющиеся коды ошибок в системах автомобиля и фиксировались дан-

ные встроенного счетчика часов работы двигателя с начала эксплуатации. Таким образом, для двух групп автомобилей с различным функциональным назначением и эксплуатационными условиями были получены данные по итоговому назначению интервалов технического обслуживания фирменной бортовой системой теледиагностики, входящей в Fleet Management System Mercedes-Benz. Наличие в первой группе автомобилей 13 Actros 1845 LS и 9 автомобилей Agocs 3351 во второй позволило получить достаточно широкий спектр данных, определяющих разные режимы эксплуатации, уровень водительского мастерства операторов и климатические и дорожные факторы. Более того, 3 автомобиля из каждой группы на протяжении периода наблюдений прошли последовательно по три сервисных обслуживания в соответствии с назначением интервала бортовыми теледиагностическими системами. Полученные из заказ-нарядов и входных диагностических тестов данные по номеру обслуживания, пробегу автомобиля и числу часов работы двигателя к этому моменту для таких автомобилей представлены в таблицах 1–2.

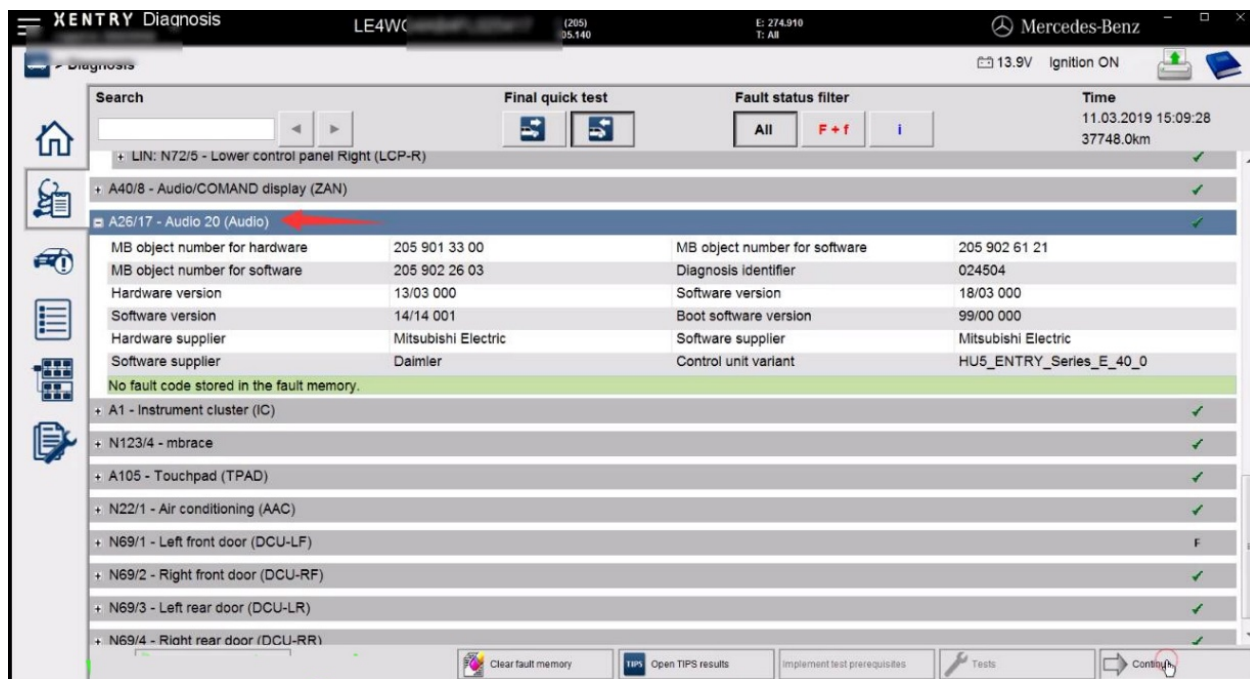


Рис. 1. Рабочий экран диагностического портала Xentry

Таблица 1

Исходные данные для автомобиля ACTROS 1844LS

ACTROS 1844LS				
Сервисное обслуживание	Параметры	Автомобиль		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Пробег	119357	151235	127233
	Часы	1947	2624	2127
2	Пробег	244361	288015	259827
	Часы	3918	5592	4344
3	Пробег	347136	392655	372683
	Часы	5621	7083	6213

Исходные данные для автомобиля AROCS 3351

AROCS 3351				
Сервисное обслуживание	Параметры	Автомобиль		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Пробег	83790	74628	58590
	Часы	1508	2923	1004
2	Пробег	158835	105774	124334
	Часы	2781	4080	2403
3	Пробег	205057	168739	183557
	Часы	3788	6056	4225

Для еще 10 автомобилей Actros 1845 LS и 6 автомобилей Arocs 3351 имелись данные о прохождении первого технического обслуживания, для них также были собраны результаты обследования из заказ-нарядов и входных диагностических тестов (табл. 3–4). Значения средней скорости были получены путем деления пробега на момент проведения сервисного обслуживания на количество часов работы двигателя к этому моменту по данным бортовой системы диагностики.

Таблица 3

Данные о прохождении первого технического обслуживания ACTROS 1844LS

ACTROS 1844LS			
Автомобиль	Пробег, км	Часы работы	Средняя скорость, км/ч
1	119357	1947	61
2	151235	2624	58
3	127233	2127	60
4	122227	2055	59
5	102537	1626	63
6	120292	2032	59
7	113009	1889	60
8	120000	2015	60
9	118456	1985	60
10	130167	2187	60

Таблица 4
Данные о прохождении первого технического обслуживания AROCS 3351

AROCS 3351			
Автомобиль	Пробег, км	Часы работы	Средняя скорость, км/ч
1	83790	1508	56
2	74628	2923	26
3	58590	1004	58
4	52447	1633	32
5	67934	2364	29
6	50216	1864	27

Пробеги автомобилей ACTROS 1844LS, соответствующие назначенным CMMS последовательным сервисным обслуживаниям 1, 2 и 3, представлены на рисунке 2 для трех автомобилей, прошедших все эти сервисные операции последовательно, там же приведены аппроксимирующие их линии, уравнения регрессии и коэффициенты аппроксимации. Хорошо видно, что у всех трех автомобилей это прямые линии с $R2 \approx 1$, при этом наклон и начальная точка этих прямых разные, что говорит о наличии некоторых отличий в интервале прохождения сервисного обслуживания, однако общий линейный характер при этом не меняется.

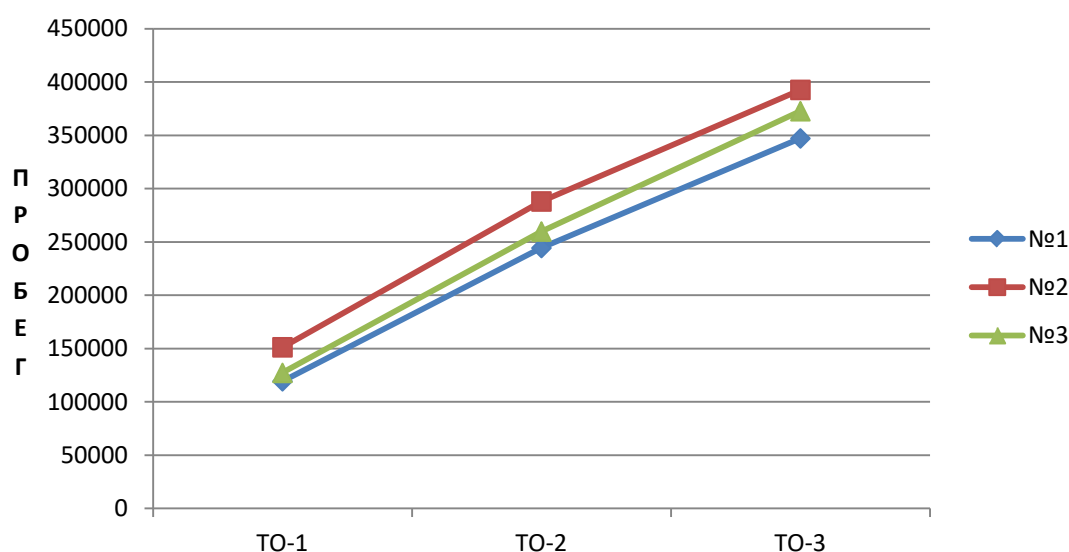


Рис. 2. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания для ACTROS 1844LS

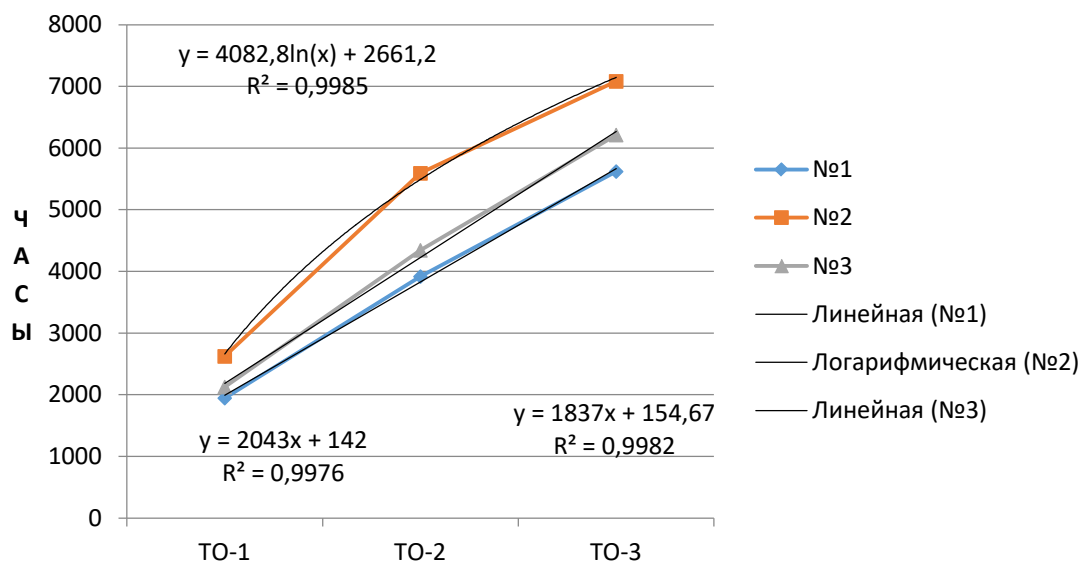


Рис. 3. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания для ACTROS 1844LS

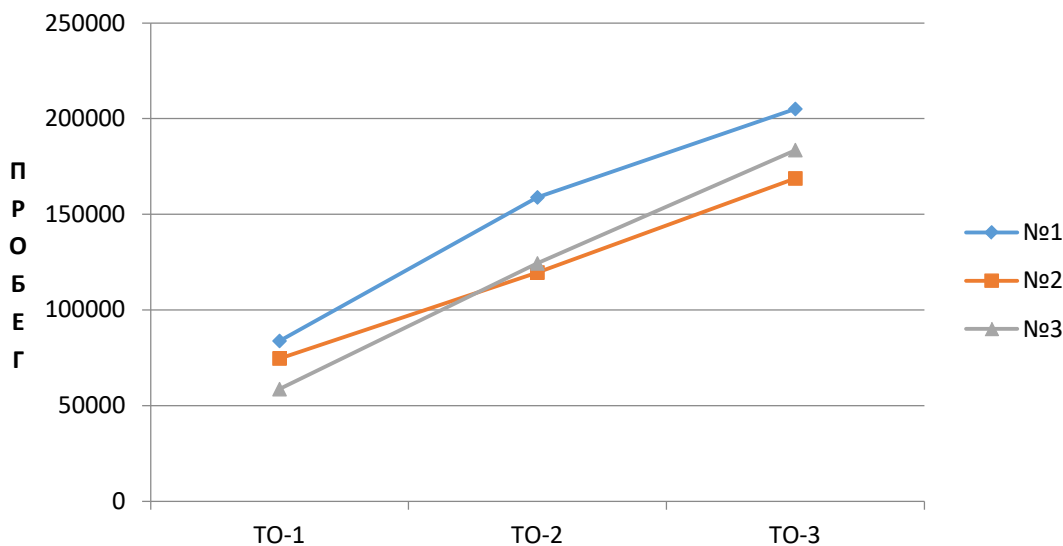


Рис. 4. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания для AROCS 3351

При этом соответствующие им наработки двигателей автомобилей ACTROS 1844LS в часах, представленные на рисунке 3, не образуют таких простых и линейных зависимостей и отличаются друг от друга более серьезно. Практически та же ситуация прослеживается при анализе пробегов и наработки двигателя автомобилей AROCS 3351, показанных на рисунках 4, 5. При этом особенно выделяется автомобиль № 2, который демонстрирует существенное отличие назначенных CMMS интервалов технического обслуживания и некоторое изменение функциональных зависимостей номера сервисного обслуживания от изменения пробега автомобиля и наработки в часах. Само по себе отличие интервалов сервисного обслуживания автомобилей ACTROS 1844LS и AROCS 3351 понятно и легко объясняется кардинальной разницей условий эксплуатации этих автомобилей, косвенно это видно по существенной разнице средних скоростей движения: 60 км/ч у ACTROS 1844LS и 38 км/ч у AROCS 3351 (табл. 3, 4).

Если проанализировать данные по назначаемым CMMS сервисным обслуживаниям № 1 для дополнительных 10 автомобилей ACTROS 1844LS (рис. 6), то стоит обратить внимание, что разница между назначаемыми интервалами для одного и того же сервисного обслуживания № 1 существенна и составляет порядка 47 % в сторону увеличения от минимального значения. При этом 6 из 10 автомобилей получили сервисный интервал приблизительно равный 120 тыс. км пробега для обслуживания № 1. Для автомобилей AROCS 3351 (рис. 7) эти отклонения еще больше и достигают 67 % отклонения от минимального значения, при этом 3 из 6 автомобилей прошли 1 сервисное обслуживание в интервале от 50 до 60 тыс. км. С точки зрения наработки двигателя в часах здесь для автомобилей ACTROS 1844LS (рис. 8) прослеживается достаточно четкое попадание в интервал 2000 часов работы ± 150 часов, в то время как для AROCS 3351 (рис. 9) такой близости результатов нет.

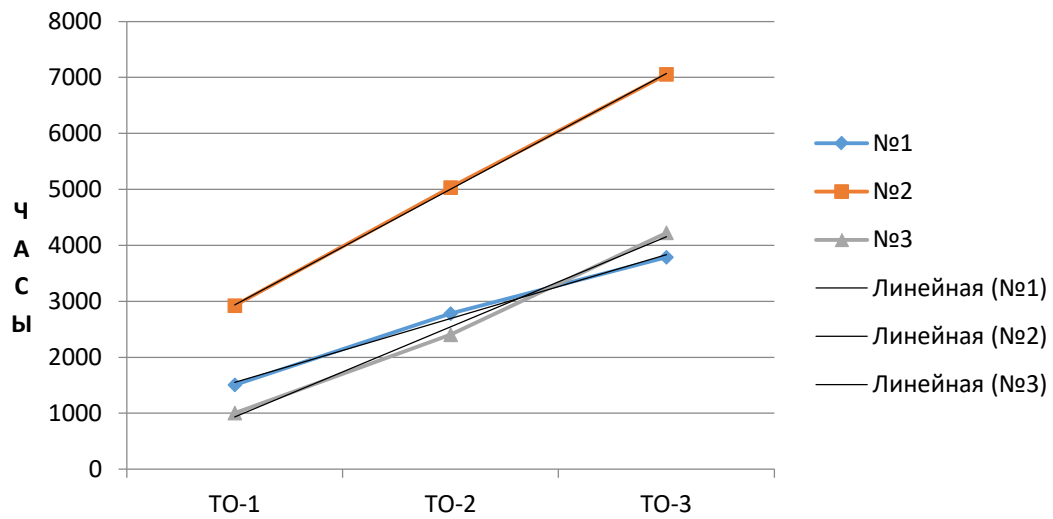


Рис. 5. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания для AROCS 3351

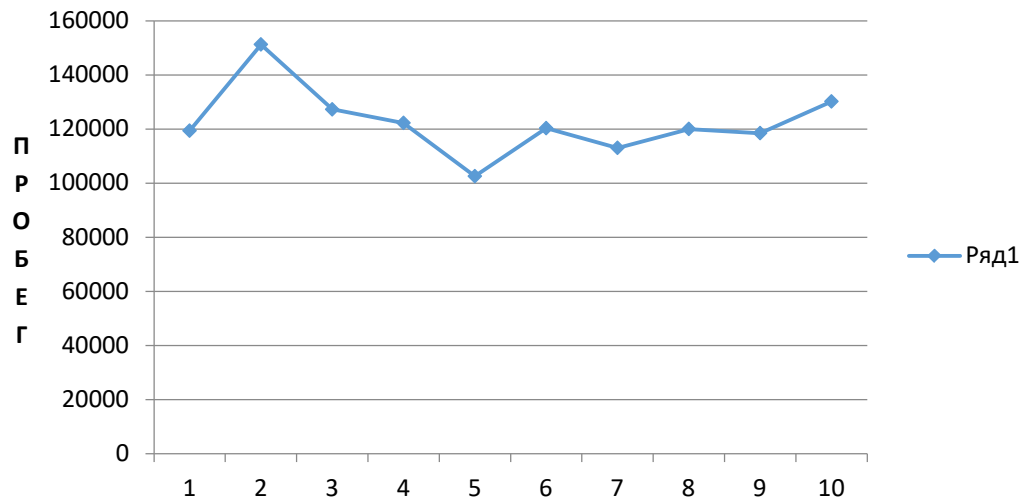


Рис. 6. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания № 1 для ACTROS 1844LS

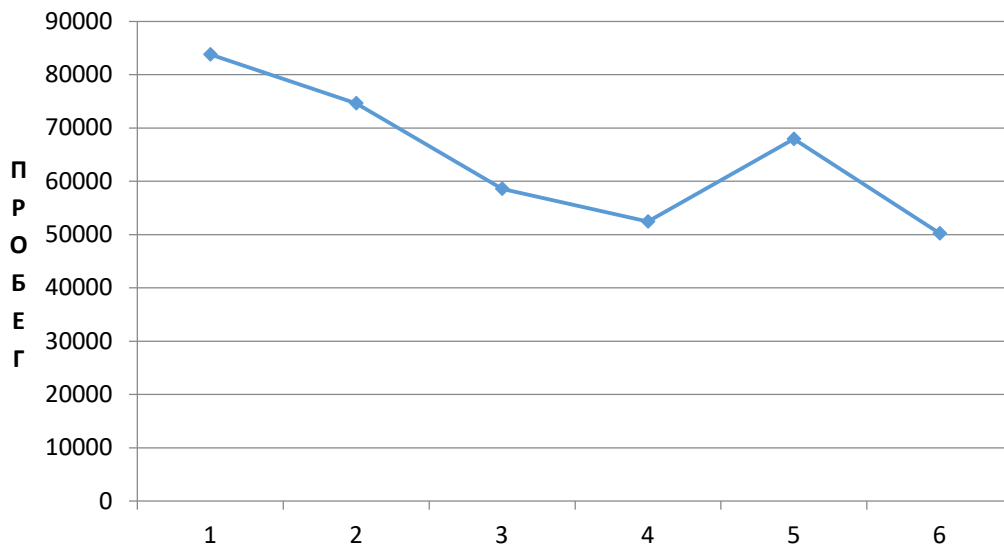


Рис. 7. Зависимость пробега при назначении сервисного обслуживания № 1 для AROCS 3351

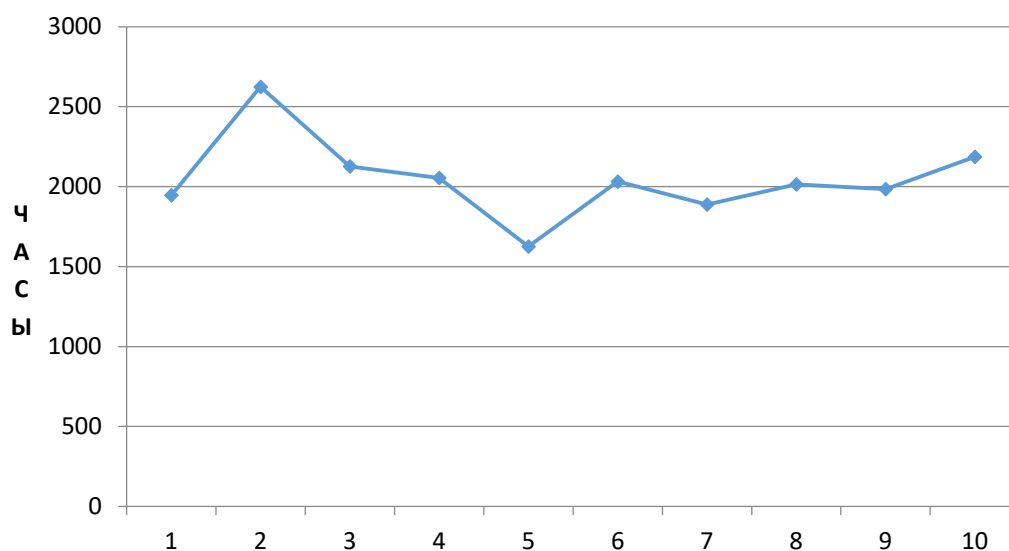


Рис. 8. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания № 1 для ACTROS 1844LS

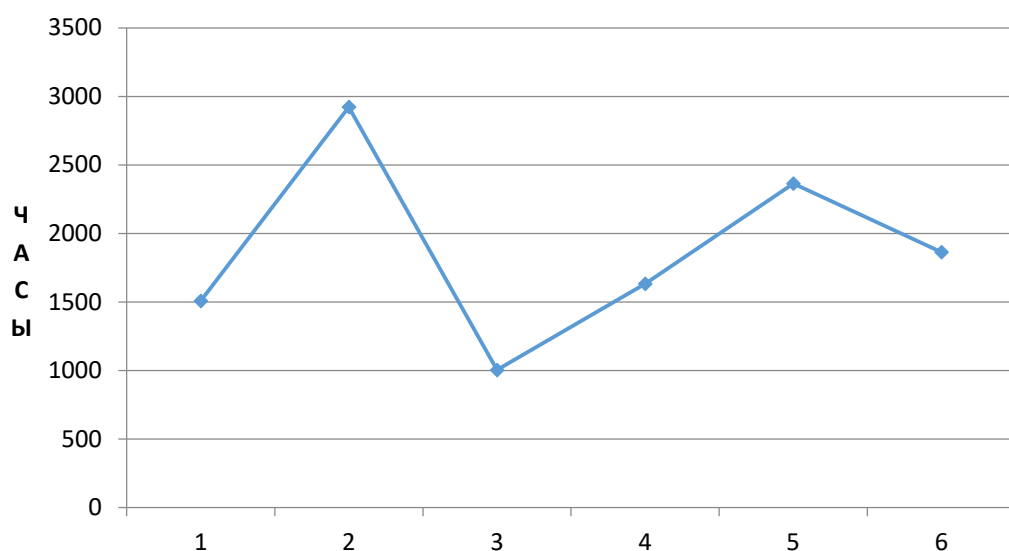


Рис. 9. Зависимость наработки в часах двигателя при назначении сервисного обслуживания № 1 для AROCS 3351

Таблица 5

Математические модели интервалов назначения сервисного обслуживания для ACTROS 1845LS

ACTROS 1845LS	Автомобиль		
	№ 1	№ 2	№ 3
Пробег	$y=113889,50x+9172,33$ $R^2=1,00$	$y=120710x+35882$ $R^2=0,9941$	$y=122725x+7797,7$ $R^2=0,9978$
Часы	$y=1837x+154,67$ $R^2=0,9982$	$y=4082,8\ln(x)+2661,2$ $R^2=0,9985$	$y=2043x+142$ $R^2=0,9976$

Таблица 6

Математические модели интервалов назначения сервисного обслуживания для AROCS 3351

AROCS 3351	Автомобиль		
	№ 1	№ 2	№ 3
Пробег	$y=110154\ln(x)+83437$ $R^2=0,9998$	$y=15930x^2+16666x+75364$ $R^2=1$	$y=62484x-2806,7$ $R^2=0,9991$
Часы	$y=1140x+412,33$ $R^2=0,9955$	$y=2872,5\ln(x)+2955,1$ $R^2=0,9977$	$y=1610,5x-677$ $R^2=0,9943$

Достаточные величины R2 позволяют на наш взгляд спрогнозировать, опираясь на полученные математические модели (табл. 5, 6), значения пробега автомобилей и наработки двигателя в часах для последующих сервисных обслуживаний № 4 и № 5. Полученные значения представлены в таблицах 7, 8.

Таблица 7

Прогнозные значения интервалов назначения сервисного обслуживания для ACTROS 1845LS

Автомобили				
		№ 1	№ 2	№ 3
ТО-4	Пробег, км	464730,3	518722	498697,7
	Часы	7502,67	8321,163	8314
ТО-5	Пробег	578619,8	639432	621422,7
	Часы	9339,67	9232,213	10357

Таблица 8

Прогнозные значения интервалов назначения сервисного обслуживания для AROCS 3351

Автомобили				
		№ 1	№ 2	№ 3
ТО-4	Пробег, км	236142,9	263580	247129,3
	Часы	4972,33	6937,231	5765
ТО-5	Пробег	260723	390284	247129,3
	Часы	6112,33	7578,21	7375,5

Опираясь на полученную статистику, можно сделать вывод о том, что в пределах одной модели Actros 1845LS на всех автомобилях наблюдается приблизительно одна и та же средняя скорость, которая говорит о том, что грузовики двигаются в основном по межгородским маршрутам, это подтверждается их большими пробегами до технического обслуживания, данные по пробегу, наработке в часах между собой отличаются, но относительно не так уж и много, они растут пропорционально друг другу в отличие от сортиментовозов марки Arocs 3351 – здесь результаты получились неоднозначные, это обусловлено их режимом работы: автомобиль оснащен краноманипуляторной установкой, и чаще всего его главной задачей является пакетирование, а также перевозка древесины на небольшие расстояния, пробег сортиментовоза существенно отличается от шоссейного тягача, поэтому система определения интервалов обслуживания ориентируется в большей степени по часам работы двигателя. С другой стороны, хорошо заметно, что существующая система CMMS определяет интервалы обслуживания, ориентируясь не только на пробег, наработку в часах и временной интервал, но и на ряд других параметров, которые мы не затронули в исследовании.

Опираясь на имеющуюся статистику по интервалам пройденных сервисных обслуживаний для одного и того же автомобиля, можно получить достаточно верифицированную модель и прогнозировать последующие пробеги, соответствующие будущим сервисным обслуживаниям. Полученные значения можно использовать с точки зрения построения экономической модели эксплуатации техники для расчета будущей производительности и расходов на эксплуатацию автомобиля в рамках известных технико-экономических подходов [9]

или для создания цифрового двойника автомобиля в рамках прогнозных моделей FMS.

Первоначальная гипотеза о том, что современные реализуемые производителями грузовых автомобилей системы назначения индивидуальных интервалов ТО CMMS работоспособны и дают действительно различные стратегии для систем технического обслуживания, в целом подтвердилась [6, 7]. Однако, как показал анализ данных по назначаемым системой интервалов сервисного обслуживания, величины отклонения их для магистральных грузовых автомобилей при небольшой разнице в средних скоростях ощутимы, но не столь сильно различаются, куда больше отличий при применении этой системы на автомобилях, эксплуатируемых в сложных дорожных условиях. Не смотря на различия в интервалах одного и того же сервисного обслуживания между автомобилями одной модели, в рамках одного автомобиля они подчиняются линейной зависимости с очень высоким значением R2, что позволяет делать прогнозные значения для будущих интервалов обслуживания и использовать эти данные в рамках систем управления производительностью парка или цифровых двойников техники [8, 9].

Литература

1. Modeling of Fuel Consumption of Passenger Cars Based on Their Technical Characteristics, 2021 / D. B. Yefimenko, D. A. Ptitsyn, P. I. Smirnov and A. A. Akulov. – DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416138 // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021. – PP. 1–4.
2. Karelina, M. Y. The Influence of the Characteristics of the Traffic Flow and the Structure of Vehicles on the Energy Consumption and Ecological Safety of Passenger Transportation : case of Vologda, Russia, 2021 / M. Y. Karelina, P. I. Smirnov and B. S. Subbotin. – doi: 10.1109/TIRVED53476.2021.9639202 // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED). – 2021. – PP. 1–6.
3. Karelina, M. Y. Methodological Approaches to Estimation of the Braking Energy Recovery Properties, 2021 / M. Y. Karelina, O. N. Didmanidze and V. A. Rakov. – DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416078 // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2021. – PP. 1–4.
4. Stagnation in the Development of Internal Combustion Engines as a Factor of Transition to More Perfect Power Units," 2021 / V. A. Rakov, B. S. Subbotin, A. M. Ivanov and A. V. Podgorny. DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416056 // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2021. – PP. 1–5.
5. Retail and Wholesale Electricity Pricing Considering Electric Vehicle Mobility / M. Alizadeh, H.-T. Wai, A. Goldsmith and A. Scaglione. – DOI: 10.1109/TCNS.2018.2809960 // IEEE Transactions on Control of Network Systems. – 2019. – Vol. 6, no. 1. – PP. 249–260.
6. Davidson, A. Specifying Truck Movement in Traffic Models Using Cell-DEVS / A. Davidson and G. Wainer. – DOI: 10.1109/SIMSYM.2000.844902 // Proceedings 33rd Annual Simulation Symposium (SS 2000). – 2000. – PP. 66–73.

7. Scientific objectives of research on road machines life cycle in modern conditions / S. A. Evtiukov, S.V. Repin, S. M. Grushetskii, G. A. Karro // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. – 2020/ – 17(4). – PP. 442–451. – URL: doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-442-451 (дата обращения: 01.12.2022). – Text : Electronic.

8. Application of Methods for Obtaining Pareto Set for Increasing Effectiveness of Managing Decisions Under Conditions of Multi-criteriality / M. Yu. Karelina,

S. B. Benevolenskiy, A. V. Terentyev, I. V. Arifullin // Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". – PP. 883–890.

9. The Economic Assessment of the Solution to the Multi-Criteria Problem for Determining Heavy Vehicles Usage Efficiency / P. Smirnov, B. Subbotin & V. Klimenko // International journal of online and biomedical engineering. – 2021. – Vol. 17, no. 13. – PP. 151–156.

P.I. Smirnov, P.E. Smirnov
Vologda State University

MODELING OF TRUCKS MAINTENANCE INTERVALS WITHIN THE FRAMEWORK OF CLOSED-PROPRIETARY SYSTEM FOR MAINTENANCE FREQUENCY CORRECTION

In modern conditions, an increasing number of manufacturers of trucks and special construction and agricultural machinery are using new computerized maintenance management system (CMMS) instead of a maintenance system with rigidly set intervals for mileage or operation of equipment in hours. The latter allow the use of individually configurable equipment maintenance systems that determine maintenance intervals depending on the actual load on the equipment and its operating conditions. The paper analyzes the data on 22 units of Mercedes-Benz Arocs and Mercedes-Benz Actros trucks for 180-250 th.km. of mileage and maintenance on them, shows service intervals, analyzes the impact of operating conditions on them.

Truck, maintenance interval, operating conditions, computerized maintenance management system.