

Владимир Н. Козловский, Алексей В. Зяятров, Наталья В. Афиногентова  
**ПЕРСПЕКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
 И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
 РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ НОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

*В статье проведен анализ конкурентоспособности сложной высокотехнологичной продукции массового производства, к числу которой относится и современный легковой автомобиль. В исследовании проведена разработка и реализован комплекс математических моделей, обеспечивающих процесс измерения надежности и экономических показателей ремонтпригодности. Для проектирования моделей использована виртуальная среда пакета MATLAB. Разработаны универсальные модели анализа надежности и ремонтпригодности автомобилей, а также построены трехмерные модели, отражающие взаимосвязь между затратами на ремонт и показателями надежности на различных периодах эксплуатации. Полученные данные подтвердили ключевое влияние качества и надежности выпускаемой продукции на экономическую оценку эффективности работы автопроизводителя.*

*Ключевые слова:* качество; надежность; ремонтпригодность; удовлетворенность потребителей; легковой автомобиль.

*Форм. 2. Рис. 5. Лит. 16.*

Володимир Н. Козловський, Олексій В. Зяятров, Наталія В. Афіногентова  
**ПЕРСПЕКТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ  
 ТА ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ  
 НОВИХ АВТОМОБІЛІВ**

*У статті проведено аналіз конкурентоспроможності складної високотехнологічної продукції масового виробництва, до числа якої відноситься і сучасний легковий автомобіль. У дослідженні розроблено і реалізовано комплекс математичних моделей, що забезпечує процес вимірювання надійності та економічних показників ремонтпридатності. Для проектування моделей використано віртуальне середовище пакету MATLAB. Розроблено універсальні моделі аналізу надійності і ремонтпридатності автомобілів, а також побудовано тривимірні моделі, що відображають взаємозв'язок між витратами на ремонт та показниками надійності на різних періодах експлуатації. Отримані дані підтвердили ключовий вплив якості та надійності продукції, що випускається, на економічну оцінку ефективності роботи автовиробника.*

*Ключові слова:* якість; надійність; ремонтпридатність; задоволеність споживачів; легковий автомобіль.

Vladimir N. Kozlovskiy<sup>1</sup>, Aleksey V. Zayatrov<sup>2</sup>, Natalya V. Afinogentova<sup>3</sup>  
**PERSPECTIVE MODELLING OF RELIABILITY AND ECONOMIC  
 INDICATORS OF MAINTAINABILITY FOR NEW CARS**

*The article analyzes the competitiveness of complex high-tech products for mass production, including passenger cars. The authors develop and implement a set of mathematical models to ensure the process of measuring the reliability and economic indicators of maintainability. For modelling the virtual environment of MATLAB was used. Universal models were developed for reliability and maintainability analysis. Three-dimensional models reflect the relationship between the cost of repair and reliability parameters for different periods of maintenance. The obtained data prove the key influence of quality and reliability of products on the economic assessment of automaker effectiveness.*

<sup>1</sup> Volga Region State University of Service, Tolyatti, Russia.

<sup>2</sup> Tolyatti State University, Russia.

<sup>3</sup> Volga Region State University of Service, Tolyatti, Russia.

*Keywords: quality; reliability; maintainability; customer satisfaction; passenger car.*

**Постановка проблеми.** В условиях экономического кризиса конкуренция в секторе сложной высокотехнологичной продукции, к числу которой относится автомобильный транспорт, возрастает. Автомобили год от года совершенствуются, увеличивается номенклатура устанавливаемых на борту устройств и систем. Также происходит расширение модельного ряда автомобилей в самых разных рыночных сегментах. При этом возрастают и требования к качеству, надежности и стоимости обслуживания автомобильной техники. Естественно, в таких условиях, особой значимостью обладают комплексные показатели качества продукции, способные решать на хорошем уровне прогнозные задачи, учитывающие как экономические, так и надежность характеристики перспективных автомобилей. Это требует разработки математических моделей, обеспечивающих полную определению показателей надежности и экономических параметров для повышения точности прогнозов качества выпускаемых автомобилей.

**Анализ последних исследований.** Проведенные исследования, основанные на определении уровня удовлетворенности потребителей качеством легковых автомобилей, показали, что одним из ключевых факторов при покупке автомобиля является цена владения [2; 4; 5]. Она в свою очередь представляет собой комплексный показатель, включающий в себя ремонтпригодность. В России по-прежнему наиболее популярными остаются бюджетные легковые автомобили отечественных и иностранных производителей. Бюджетное обслуживание и ремонт таких автомобилей является весомым аргументом при покупке [9; 11].

Свойства ремонтпригодности легкового автомобиля лучше всего рассматривать в двух аспектах: с точки зрения потребителя – это цена владения автомобилем; с точки зрения автопроизводителя – затраты на гарантийное обслуживание и ремонт. В первом случае необходимо определять предпочтения потребителей при выборе и эксплуатации автомобилей. Во втором случае для автопроизводителей показатели ремонтпригодности имеют также существенное значение, поскольку они определяют величину возможных затрат на устранение отказов автомобилей как минимум в период гарантийной эксплуатации, как максимум – определяют полные затраты на устранение возможных несоответствий в постгарантийный период, при организации отзывных кампаний [12; 13].

Фактические показатели ремонтпригодности автомобилей являются важными при организации мониторинга качества и надежности автомобилей в эксплуатации, они формируют фундамент процесса бюджетирования гарантийных обязательств автопроизводителя [11]. При этом, до сих пор **нерешенной остается проблема** организации качественного прогноза затрат на обслуживание и ремонт гарантийного парка автомобилей.

**Целью исследования** является комплексное решение задачи построения аналитических прогнозных моделей ремонтпригодности легковых автомобилей на этапе гарантийной эксплуатации, с учетом традиционной и перспективной систем количественных показателей качества и надежности [7; 8].

Разработанные аналитические модели могут быть адаптированы под конкретные задачи автопроизводителей и обеспечивают эффективное прогнозирование затрат в гарантии [6].

**Основные результаты исследования** связаны с разработкой и реализацией комплекса математических моделей, обеспечивающих процесс измерения надежности и экономических показателей ремонтпригодности для новых автомобилей в период эксплуатации. Одной из важных характеристик надежности является ремонтпригодность, т.е. способность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов с целью восстановления работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания или ремонта. Для количественной оценки ремонтпригодности необходимо измерение как минимум двух параметров: материальных затрат и трудоемкости операций, требуемых для предупреждения или устранения отказов.

В соответствии с этим, при организации мониторинга надежности автомобилей недостаточно раздельной оценки показателей надежности в функции интервала эксплуатации и материальных затрат на устранение отказов в данный период. Для полноты анализа требуется взаимосвязанное исследование влияния указанных выше параметров друг на друга. Для выявления взаимосвязи между затратами, показателями надежности и интервала эксплуатации нами проведен сравнительный анализ традиционной и перспективной моделей ремонтпригодности системы электрооборудования как лидера в рейтинге недостаточной надежности среди основных систем автомобиля. Анализ проведен для наиболее популярной в России марки автомобилей, произведенных в период 2011–2012 гг. Структурная схема проведенного исследования представлена на рис. 1.

Как следует из представленной структуры (рис. 1), для анализа используется база данных по отказам, возникшим в период гарантийной эксплуатации легковых автомобилей [4]. Вначале все отказы распределяются по основным системам и узлам автомобиля, выделяется система электрооборудования как система, обладающая наименьшими показателями надежности [1]. Далее проводится классификация элементов системы электрооборудования по группам, критерием классификации является функциональный признак [14; 16]. В первую группу вошли элементы, имеющие в конструкции электромеханические преобразователи (ЭМП), во вторую – электронные устройства (ЭЛ), в третью – исполнительные устройства (ИУ) (аккумуляторные батареи, звуковой сигнал, катушки зажигания, лампы), в четвертую – датчики (Д), оставшаяся группа образуют контакты, реле, провода и переключатели (Пр).

На рис. 2 и 3 представлены диаграммы распределения затрат на устранение отказов и показатели надежности по основным функциональным группам электрооборудования за 3 временных интервала – 1, 6 и 12 месяцев эксплуатации.

Анализ графиков показывает, что ключевой для электрооборудования является группа электромеханических преобразователей, как с точки зрения количества отказов, так и с позиции материальных и финансовых затрат, требуемых на устранение отказов. Причем с ростом времени эксплуатации для данной группы неуклонно увеличиваются показатели отказов.

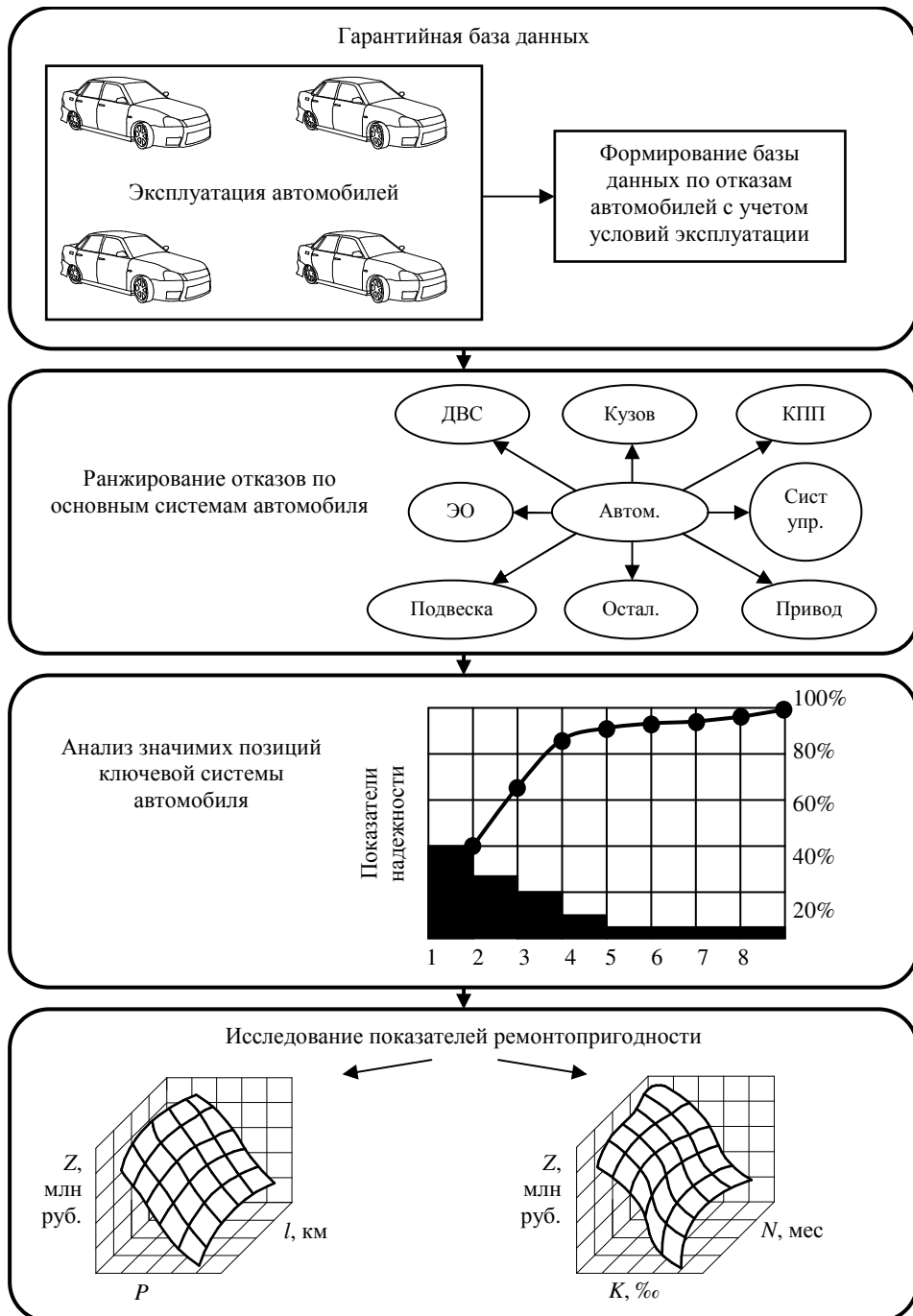


Рис. 1. Структурная схема анализа показателей ремонтпригодности [4]

Таким образом, оценку показателей ремонтпригодности необходимо осуществлять для наиболее значимых элементов данной группы. С целью

ефективної оцінки взаємозв'язки затрат от показателів надійності и інтервала експлуатації необхідна розробка аналітичних рівнянь для розглядаємої номенклатури елементів. Згідно результатам наших досліджень, лідерами по кількості відмов с найгіршими показателями надійності являються електроусилитель рулевого управління, електростеклопідйомник, а також генераторна установка. В зв'язи с цим цілесообразно розробити традиційну и перспективну моделі оцінки ремонтпригодності для даного типу елементів бортової мережі автомобілів [2].

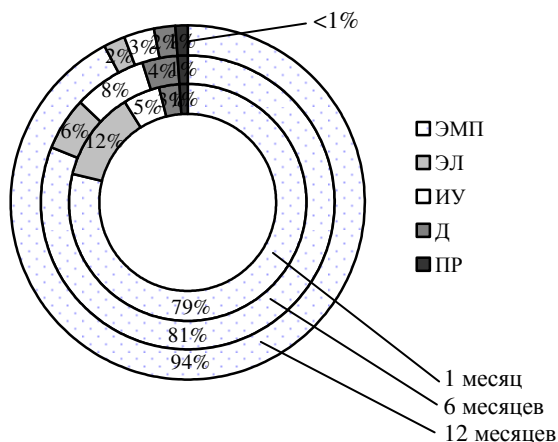


Рис. 2. Диаграмма распределения затрат на устранение отказов устройств среди основных групп системы электрооборудования, построено по данным [11]

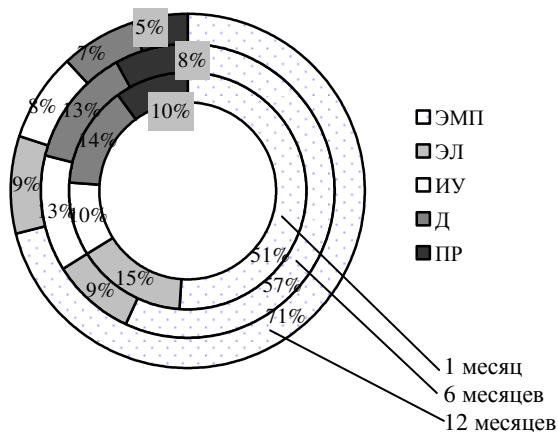


Рис. 3. Диаграмма распределения показателей GMF-надёжности среди основных групп системы электрооборудования, построено по данным [13]

Традиційна модель ремонтпригодності может быть аппроксимирована полиномом 15-ой степени, описывающим анализируемую поверхность с необходимой точностью [10; 12; 15]. Аналітичне рівняння имеет следующий вид:

$$Z(P, l) = z_1 \times (P_i(l_j))^{15} + z_2 \times (P_i(l_j))^{14} + \dots + z_{14} \times (P_i(l_j))^2 + z_{15} \times (P_i(l_j)) + z_{16}, \quad (1)$$

где  $z_1 \dots z_{16}$  – коэффициенты полиномиальной функций оценки ремонтпригодности;  $P_i$  – значения показателей надежности за каждый анализируемый интервал пробега;  $l_j$  – значения пробега автомобиля.

Подставляя в выражение (1) имеющиеся данные о затратах, показателях надежности и величине пробега, формируем трехмерную модель оценки ремонтпригодности для электростеклоподъемника (рис. 4).

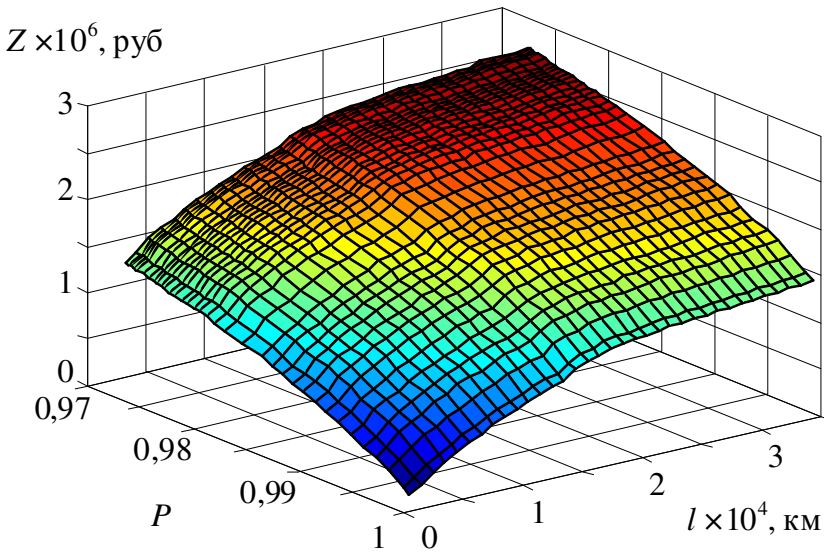


Рис. 4. Традиционная модель оценки ремонтпригодности, построено по данным [4]

При использовании полученной модели оценки ремонтпригодности появляется возможность прогнозирования количества отказов на определенном интервале эксплуатации автомобиля, а также уровня затрат на их устранение. Недостатком подобной модели является невысокая чувствительность на каждой из анализируемых стадий эксплуатации, вызванная накопительным характером формирования величины затрат и индексов надежности. Это препятствует своевременному выявлению «критического момента» – промежутка времени (величины пробега), начиная с которого ярко прослеживается рост количества отказов (или их стабилизация), а соответственно и затрат на их устранение.

Возможным решением данной проблемы является перспективная модель оценки ремонтпригодности, представляющая собой зависимость среднего уровня затрат в функции GMF-показателей надежности и месяца эксплуатации [3].

Аналогично ранее рассмотренной, данная модель ремонтпригодности может быть аппроксимирована полиномом 11 степени [4], уравнение в этом случае будет иметь следующий вид:

$Z(K, N) = z_1 \times (K_i(N_j))^{11} + z_2 \times (K_i(N_j))^{10} + \dots + z_{10} \times (K_i(N_j))^2 + z_{11} \times (K_i(N_j)) + z_{12}$ , (2)  
 где  $z_1 \dots z_{12}$  – коэффициенты полиномиальной функций оценки ремонтпригодности;  $K_i$  – GMF-индексы надежности за каждый анализируемый интервал времени;  $N_j$  – месяц эксплуатации автомобиля.

Полученная с использованием выражения (2) перспективная модель оценки ремонтпригодности для электростеклоподъемника представлена на рис. 5.

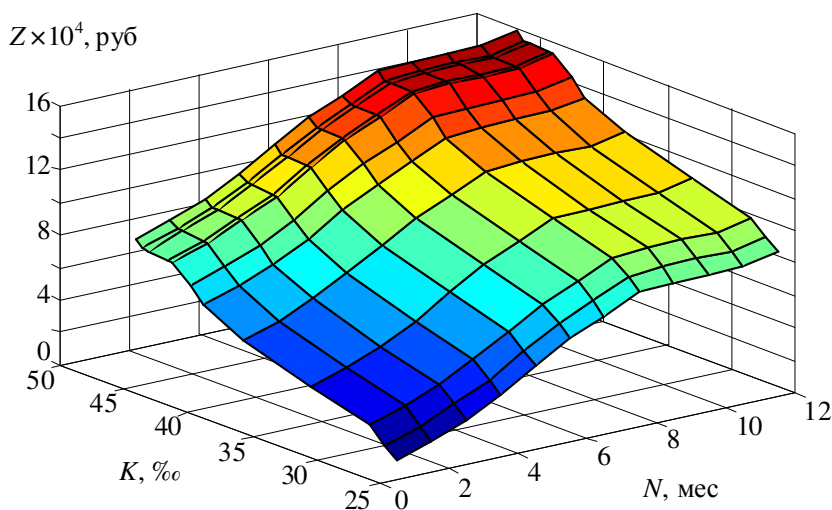


Рис. 5. Перспективная модель оценки ремонтпригодности, построено по данным [4]

Модель оценки ремонтпригодности по методике GMF-показателей надежности позволяет определить средний уровень затрат, требуемых для обнаружения и устранения отказов отдельного устройства за определенный интервал эксплуатации. Она также может быть использована для выявления «переломного момента», начиная с которого происходит значительное возрастание затрат на поддержание требуемого работоспособного состояния устройства либо его стабилизация на определенном уровне.

Как видно из полученного графика, количество отказов, а вместе с ним и уровень затрат, стабилизируются начиная с 8 месяцев эксплуатации автомобиля. Такое представление показателей ремонтпригодности позволяет проводить прогнозирование затрат на устранение отказов, а также обеспечивает возможность соответствующей оперативной реакции со стороны автопроизводителя [2]. Отдельно стоит отметить, что данная модель также может быть использована в случае оценки потребительской удовлетворенности автомобилями и его отдельными системами и элементами.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Таким образом, реализация аналитических моделей ремонтпригодности легковых автомобилей в эксплуатации, учитывающих взаимное влияние показателей надежности и периода эксплуатации, позволяет проводить полноценный анализ качества,

надежности и удовлетворенности потребителей продукцией. В результате расширения входных информационных каналов данных, используемых инструментов и методов исследования повышается эффективность прогнозирования затрат на предупреждение и устранение отказов. Кроме того, могут быть улучшены мероприятия, направленные на организацию процесса бюджетирования гарантийных обязательств автопроизводителей.

Уже сейчас просматриваются перспективы дальнейшего моделирования надежности и экономических показателей ремонтпригодности, которые заключаются в расширении спектра информационных источников, используемых в качестве базы исследования, например, таких как: «горячая линия», Интернет-форумы, СМИ. Кроме того, улучшение показателей качества автомобилей, которое мы наблюдаем в последние десятилетия, обеспечивает возможность для перехода исследований в область увеличенного промежутка эксплуатации, по сравнению с рассматриваемым в данной работе.

1. *Годлевский В.Е., Плотников А.Н., Юнак Г.Л.* Применение статистических методов в автомобилестроении / Под ред. А.В. Васильчука. – Самара: Перспектива, 2003. – 196 с.
2. *Годлевский В.Е., Юнак Г.Л.* Менеджмент качества в автомобилестроении: Монография / Под ред. А.В. Васильчука. – Самара: Офорт; Академический инжиниринговый центр, 2005. – 628 с.
3. *Заятров А.В., Козловский В.Н.* Анализ и оценка взаимосвязей между традиционными показателями надежности и показателями, используемыми ведущими производителями легковых автомобилей // *Электроника и электрооборудование транспорта.* – 2012. – №1. – С. 41–43.
4. *Заятров А.В., Козловский В.Н.* Комплексная оценка качества и надежности электрооборудования транспортных средств: Монография. – Самара: СамНЦ РАН. – 2014. – 176 с.
5. *Клейменов С.И., Строганов В.И., Козловский В.Н.* Комплексная оценка удовлетворенности потребителей качеством автомобилей // *Стандарты и качество (Москва).* – 2013. – №5. – С. 94–99.
6. *Козловский В.Н.* Обеспечение качества и надежности электрооборудования автомобилей: Монография. – Тольятти: ГОУ ВПО «ТГУ», 2009. – 274 с.
7. *Козловский В.Н., Строганов В.И.* Аналитические исследования качества автомобилей в эксплуатации: Монография. – Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co., Deutschland, 2013. – 140 с.
8. *Козловский В.Н., Строганов В.И.* Комплексы количественных показателей, применяемые при организации мониторинга качества легковых автомобилей в эксплуатации // *Автомобильная промышленность.* – 2013. – №4. – С. 4–8.
9. *Немцев А.Д.* Стратегия формирования конкурентоспособности машиностроительной продукции: Монография. – Саратов: Саратов. унив-т, 2001. – 100 с.
10. *Немцев А.Д., Козловский В.Н.* Моделирование – инструмент управления качеством // *Автомобильная промышленность.* – 2003. – №10. – С. 1–3.
11. *Панюков Д.И., Козловский В.Н.* Комплекс обеспечения качества системы электрооборудования автомобилей: Монография. – Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co., Deutschland, 2014. – 360 с.
12. *Строганов В.И., Клейменов С.И., Козловский В.Н.* Модели аналитических исследований качества и надежности легковых автомобилей в эксплуатации // *Автомобильная промышленность.* – 2013. – №9. – С. 2–6.
13. *Строганов В.И., Козловский В.Н.* Инновационные методы исследования качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой: Монография. – М.: МАДИ, 2012. – 260 с.
14. *Ютм В.Е.* Электрооборудование автомобилей. – М., 2006. – 440 с.
15. *Ютм В.Е., Козловский В.Н.* Математическое моделирование надежности системы электрооборудования современного легкового автомобиля // *Электроника и электрооборудование транспорта.* – 2009. – №1. – С. 31–34.
16. *Ютм В.Е., Козловский В.Н.* Надежность системы электрооборудования современного автомобиля // *Электроника и электрооборудование транспорта.* – 2008. – №3. – С. 37–40.

Стаття надійшла до редакції 30.03.2015.