

**Владимир Н. Козловский, Дмитрий И. Панюков, Сергей А. Дементьев**  
**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ,**  
**НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ**  
**ПОТРЕБИТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*В статье представлены результаты разработки аналитического инструментария прогнозирования экономической эффективности внедрения улучшений в конструкцию автомобилей с учетом показателей надежности и удовлетворенности потребителей в эксплуатационный период.*

*Ключевые слова: автомобиль; качество; надежность; удовлетворенность потребителей. Форм. 20. Табл. 1. Рис. 2. Лит. 10.*

**Володимир М. Козловський, Дмитро І. Панюков, Сергій О. Дементєв**  
**ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ, СПРЯМОВАНИХ**  
**НА ПІДВИЩЕННЯ ЗАДОВОЛЕНОСТІ СПОЖИВАЧІВ**  
**АВТОМОБІЛІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

*У статті представлено результати розробки аналітичного інструментарію прогнозування економічної ефективності впровадження поліпшень в конструкцію автомобілів з урахуванням показників надійності та задоволеності споживачів в експлуатаційний період.*

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

**Vladimir N. Kozlovskiy<sup>1</sup>, Dmitriy I. Panyukov<sup>2</sup>, Sergei A. Dementev<sup>3</sup>**  
**PREDICTING THE EFFECTIVENESS OF MEASURES AIMED AT**  
**IMPROVING CONSUMER SATISFACTION BY CARS IN SERVICE**

*The article presents the results of the analytical tools development for forecasting of economic efficiency from the introduction of improvements in vehicle design based on reliability and customer satisfaction during the period in use.*

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

**Постановка проблемы и анализ последних исследований.** Мониторинг результативности и эффективности корректирующих воздействий является неотъемлемой частью современных систем менеджмента качества (СМК), отвечающих требованиям стандартов ИСО 9001, ИСО/ТУ 16949.

В условиях сложившейся жесточайшей конкуренции на мировых рынках перед предприятиями автомобильной промышленности стоит острая проблема, связанная с необходимостью оптимизации затрат на этапах жизненного цикла продукции, при одновременном обеспечении высокого уровня потребительских характеристик качества автомобилей и сопутствующих услуг.

Практика показывает, что работа по анализу потребительских характеристик перспективных конструкций автомобилей начинается на этапах маркетинговых исследований, а заканчивается в момент снятия автомобилей с производства. При этом зачастую на этапах жизненного цикла возникает необходимость решения управленческих задач по внедрению улучшений в конструкцию автомобилей, которые связаны с достижением новых технико-

---

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

<sup>2</sup> Volga Region State University of Service, Tolyatti, Russia.

<sup>3</sup> JSC "AVTOVAZ", Tolyatti, Russia.

экономических показателей компонентной базы, а также с необходимостью преодоления локальных кризисов качества, которые в той или иной мере сопровождают деятельность автомобильных корпораций. В любом случае, для эффективного решения задачи, связанной с улучшением качества продукции, требуется реализация двух ключевых направлений деятельности: организационно-технической и аналитической [3; 4; 6].

В настоящее время актуальным, в рамках реализации организационно-технического направления, считается создание управленческого процесса оперативного реагирования, основные этапы которого отражены на рис. 1.

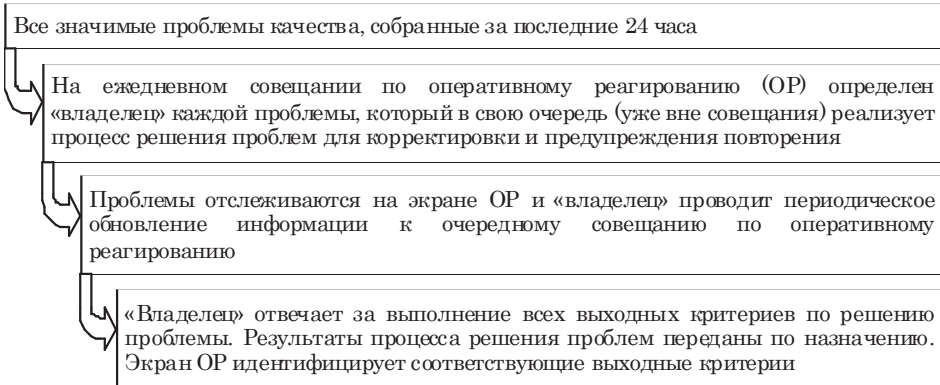


Рис. 1. Основные этапы процесса оперативного реагирования, построено по данным [9]

Рис. 1 показывает, что аналитическая составляющая, связанная с оценкой эффективности решения проблем, является важнейшей в рассматриваемом процессе и способствует повышению результативности его протекания. Именно поэтому лидеры отрасли последовательно занимаются разработкой и реализацией соответствующих инструментов.

**Целью исследования** является разработка аналитического инструментария прогнозирования экономической эффективности внедрения улучшений в конструкцию автомобилей с учетом показателей надежности и удовлетворенности потребителей в эксплуатационный период.

**Основные результаты исследования.** В настоящей работе представлена методология аналитического инструментария, обеспечивающего реализацию оценки эффективности улучшений в области качества практически на всех этапах жизненного цикла автомобилей и охватывающего информационные потоки об удовлетворенности потребителей качеством продукции, показатели результативности производства, а также эксплуатационной надежности автомобилей в период гарантийной эксплуатации [8; 9].

**Прогнозирование эффективности мероприятий по улучшению комплексных показателей надежности методом аналитического моделирования** [9].

При рассмотрении вопросов надежности автомобилей как массового продукта вопросы ремонтпригодности приобретают особую актуальность, поскольку в данном случае любой автопроизводитель вынужден организовывать не только процесс продажи своего продукта, но и обеспечить надлежащее

техническое обслуживание и ремонт, что требует разработки и внедрения комплекса мероприятий по развитию сервисной сети.

Современный автомобиль – сложный продукт, ремонт которого проводится в несколько стадий: первичный осмотр, диагностика, собственно ремонт (замена отказавших деталей), выходной контроль. В случае, если отказ детали носит гарантийный характер (причиной отказа является ненадлежащее качество автомобиля), все издержки по ремонту несет автопроизводитель. В итоге, в случае недостаточного качества автомобилей, высокой трудоемкости устранения отказов и стоимости запасных частей мы получаем внушительный бюджет гарантийного обслуживания продукции. Причем это только видимая часть «айсберга». Сложно просчитать имиджевые потери производителя, следствием которых является отказ потребителей от данного продукта. Все это ключевые причины ухода с мировых рынков, в том числе и с российского ряда автомобильных производителей.

При проведении измерения качества автомобилей в послепродажный период автопроизводители используют электронные базы дискретных данных, отражающих уровень отказов автомобилей в зависимости от пробега или временного интервала эксплуатации.

С целью улучшения возможностей использования дискретных данных о надежности автомобилей нами разработаны аналитические модели, основанные на данных эксплуатации конкретных марок автомобилей российского автопроизводителя. Аналитические модели, отражающие зависимости вероятности безотказной работы ( $P$ ) от эксплуатационного пробега ( $l$ ), обеспечивают возможность проведения прогнозирования показателей надежности при внедрении корректирующих мероприятий, направленных на повышение качества и надежности автомобилей.

Для решения задачи разработки аналитических моделей надежности мы воспользовались методологией моделирования поведения сложной системы на основе полиномов. Электронные базы данных по отказам автомобилей были преобразованы в соответствующие массивы для математической среды "Matlab". Затем проведено упорядочивание массивов по количеству отказов автомобилей в зависимости от их пробега. На основе полученных массивов, приведенных к пробегам, реализован автоматизированный расчет вероятности безотказной работы, основных технических устройств, входящих в состав автомобиля, его систем и транспортного средства в целом. При этом учитывалось, что на легковых автомобилях массового производства принципы резервирования не реализуются. То есть автомобиль рассматривается как устройство из функционально последовательно соединенных элементов, надежность рассчитывается как произведение надежностей соответствующих элементов, из которых он состоит.

При построении полиномов учитывалась необходимость обеспечения достаточной точности описания исследуемых процессов, а с другой стороны – обеспечение максимальной простоты выходных уравнений. Практический опыт в данной сфере, а также анализ полученных результатов показывает, что установленному требованию более всего соответствует функция полинома 15-ой степени. В других случаях, при меньшей или большей степени полино-

миальной выходной функции, имеем либо низкую точность и достоверность результатов, не соответствующих реальным изменениям индексов надежности, либо неоправданно высокую сложность выходных функций при незначительном росте точности и достоверности выходных результатов.

Исходя из вышеизложенного, вероятность безотказной работы ( $P$ ) для  $j$ -го элемента  $i$ -й системы автомобиля в функции пробега можно определить по формуле:

$$P_{ij}(l) = p1_{ij} \times l(i)^{15} + p2_{ij} \times l(i)^{14} + p3_{ij} \times l(i)^{13} + p4_{ij} \times l(i)^{12} + p5_{ij} \times l(i)^{11} + p6_{ij} \times l(i)^{10} + p7_{ij} \times l(i)^9 + p8_{ij} \times l(i)^8 + p9_{ij} \times l(i)^7 + p10_{ij} \times l(i)^6 + p11_{ij} \times l(i)^5 + p12_{ij} \times l(i)^4 + p13_{ij} \times l(i)^3 + p14_{ij} \times l(i)^2 + p15_{ij} \times l(i) + p16_{ij}, \quad (1)$$

где  $p1_{ij}, p2_{ij}, \dots, p16_{ij}$  – коэффициенты полиномиальной функции надежности.

Разработка аналитических форм уравнений, определяющих зависимость затрат на устранение отказов в функции надежности, проводилась нами также с помощью полиномов на основе электронной базы данных по отказам автомобилей в эксплуатации. В качестве измерителя использовался показатель накопленных затрат ( $Zn$ ) – это затраты на устранение отказов, которые накапливаются на всем исследуемом интервале пробега.

Исходя из вышеизложенного, распределение накопленных затрат по  $j$ -м элементам,  $i$ -м системам и автомобилям, через соответствующие показатели вероятности безотказной работы (ВБР) в общем виде можно представить как:

$$Zn_{ij}(P) = z1_{ij} \times P_{ij}^{15} + z2_{ij} \times P_{ij}^{14} + z3_{ij} \times P_{ij}^{13} + z4_{ij} \times P_{ij}^{12} + z5_{ij} \times P_{ij}^{11} + z6_{ij} \times P_{ij}^{10} + z7_{ij} \times P_{ij}^9 + z8_{ij} \times P_{ij}^8 + z9_{ij} \times P_{ij}^7 + z10_{ij} \times P_{ij}^6 + z11_{ij} \times P_{ij}^5 + z12_{ij} \times P_{ij}^4 + z13_{ij} \times P_{ij}^3 + z14_{ij} \times P_{ij}^2 + z15_{ij} \times P_{ij} + z16_{ij} \quad (2)$$

где  $z1_{ij}, z2_{ij}, \dots, z16_{ij}$  – коэффициенты полиномиальной функции затрат.

После определения взаимосвязи между надежностью и накопленными затратами на устранение отказов элементов, основных систем и автомобиля в целом появляется возможность для построения трехмерных аналитических моделей [7], отражающих зависимость затрат на обеспечение надежности от фактической надежности и эксплуатационного пробега (рис. 2).

Использование модели (рис. 2) обеспечивает возможность для прогнозирования показателей надежности и ремонтпригодности при планировании и реализации мероприятий, направленных на улучшение качества автомобилей.

**Оценка эффективности повышения надежности автомобилей с учетом изменения цены автомобилей и удовлетворенности потребителей [2].**

Расчет эффективности проводится с учетом затрат на производство и эксплуатацию автомобилей.

Затраты на производство ( $\Delta_{пр.}$ ):

$$\Delta_{пр.} = (C_{осн.} - C_{альт.}) \times N, \quad (3)$$

где  $C_{осн.}, C_{альт.}$  – цены автокомпонентов основного и альтернативного поставщика соответственно;  $N$  – программа выпуска автомобилей в год.

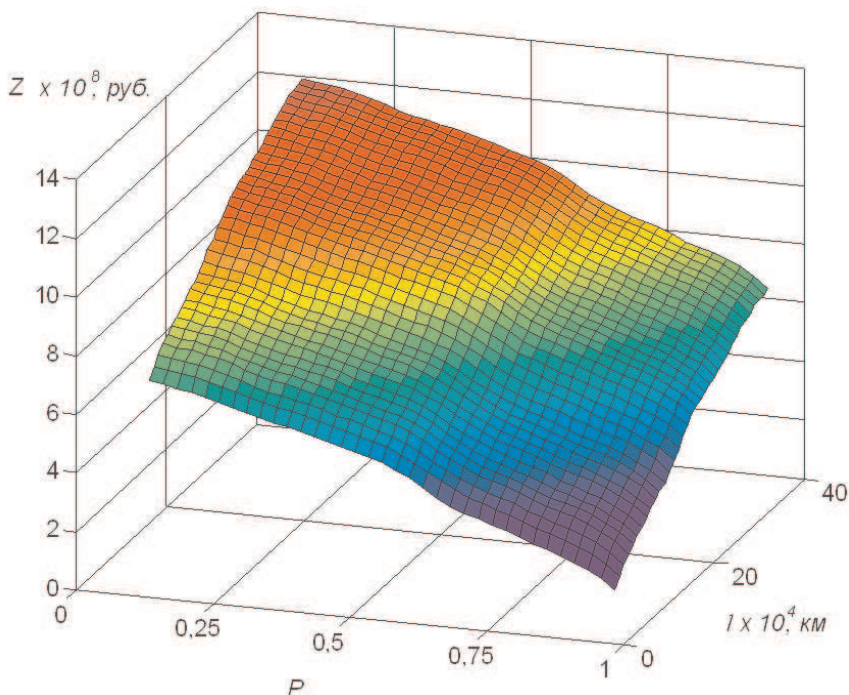


Рис. 2. Трехмерная модель надежности автомобилей, построено по данным [3]

Уровень отказов продукции основного поставщика  $PPM_{осн.}$

$$PPM_{осн.} = \frac{M_{деф.дет.}}{N} \times 1000000, \tag{4}$$

где  $M_{деф.дет.}$  – общее количество отказов по детали или узлу.

Затраты в гарантии по отказу на один выпущенный автомобиль

$$Z_{a/м} = \frac{Z_{деф.общ.}}{N}, \tag{5}$$

где  $Z_{деф.общ.}$  – общие затраты на устранение отказов детали или узла.

Затраты в гарантии на программу по основному поставщику:

$$Z_{гар.осн.} = Z_{a/м} \times N. \tag{6}$$

Прогноз затрат в гарантии на программу по альтернативному поставщику:

$$Z_{гар.альт.} = \frac{Z_{гар.осн.}}{PPM_{осн.} \times PPM_{альт.}}. \tag{7}$$

Прогноз изменения затрат в гарантии ( $\Delta_{гар.}$ )

$$\Delta_{гар.} = Z_{гар.осн.} - Z_{гар.альт.} \tag{8}$$

Изменения удовлетворенности потребителей в надежности:

$$\Delta_{над.удовл.} = (10 - y_{над.}) \times K_{над.} \times D_{деф.}, \tag{9}$$

где  $U_{над.}$  – удовлетворенность потребителей в надежности;  $K_{над.}$  – весовой коэффициент при расчете удовлетворенности потребителей по надежности автомобилей;  $D_{деф.}$  – доля отказов по детали или узлу в общем количестве отказов.

Изменение лояльности потребителей ( $\Delta_{лоял.}$ ):

$$\Delta_{лоял.} = K_{лоял.} - \Delta_{над.удовл.} \tag{10}$$

где  $K_{лоял.}$  – коэффициент лояльности.

Для расчета коэффициента лояльности по каждой модели марки автомобилей необходимо наряду с измерением удовлетворенности потребителей проводить соответствующую работу по оценке лояльности.

Опыт показывает, что большинство автопроизводителей проводит измерение удовлетворенности на основе бальной оценки с использованием анкетных комплексов. В соответствии с существующей методологией, бальная оценка удовлетворенности потребителей воспринимаемым качеством автомобилей ( $P_{удовл.}$ ) может изменяться от 0 до 10. В расчете оценки эффективности используются усредненные показатели, как удовлетворенности, так и лояльности по всей анкетной базе.

Оценка лояльности, может быть рассчитана по формуле:

$$P_{лоял.} = \frac{K_1 \times (X_1 + (10 - X_2))}{2} + K_3 \times X_3 + K_4 \times X_4 + K_5 \times X_5 + K_6 \times X_6, \tag{11}$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_6$  – усредненные оценки по вопросам анкеты;  $K_1, K_2, \dots, K_6$  – коэффициенты значимости соответствующих вопросов, алгебраическая сумма которых должна составлять единицу.

В качестве примера в табл. 1, приведем группу вопросов, которые можно использовать при оценке лояльности потребителей.

**Таблица 1. Группа вопросов для анализа лояльности потребителей к определенной марке автомобилей\***

| Вопросы  | Оценка |
|--|--------|
| 1. Какова вероятность того, что следующим Вашим автомобилем будет также модель марки ...?                            | $X_1$  |
| 2. Какова вероятность, того, что Вы приобретете автомобиль другой марки?   | $X_2$  |
| 3. Вы хотели бы приобрести автомобиль марки ... в качестве второго автомобиля в Вашей семье, насколько это вероятно? | $X_3$  |
| 4. Рекомендуете ли Вы приобретение автомобиля марки ... Вашему ближайшему кругу?                                     | $X_4$  |
| 5. Насколько Вы цените эксплуатацию автомобиля марки ... Вашим ближним кругом?                                       | $X_5$  |
| 6. Насколько важно для Вас присутствие автомобилей марки ... на российском рынке автомобилей в дальнейшем?           | $X_6$  |

\* составлено по данным [1].

Второй вопрос в табл. 1 фактически дублирует первый, отвечая на который анкетированный оценивает вероятность последующей покупки автомобиля определенной марки, при ответе на второй оценивается вероятность перехода потребителя на другую марку. Поэтому оценки  $X_1$  и  $(10 - X_2)$  есть вероятности того, что потребитель останется лояльным данной марке.

Связь оценки лояльности и оценки удовлетворенности просматривается через формулу:

$$P_{\text{лоял.}} = 1 + 9 \times \left( \frac{P_{\text{удовл.}} - 1}{9} \right)^\alpha, \quad (12)$$

где  $P_{\text{лоял.}}$  – потребительская лояльность;  $P_{\text{удовл.}}$  – потребительская удовлетворенность;  $\alpha$  – показатель степени.

Для определения показателя степени  $\alpha$  по значениям  $P_{\text{лоял.}}$  и  $P_{\text{удовл.}}$  применяется формула:

$$\alpha = \frac{\ln(P_{\text{лоял.}} - 1) - \ln(9)}{\ln(P_{\text{удовл.}} - 1) - \ln(9)}. \quad (13)$$

Коэффициент лояльности вычисляется по формуле:

$$K_{\text{лоял.}} = \alpha \times \left( \frac{P_{\text{удовл.}} - 1}{9} \right)^{\alpha-1}. \quad (14)$$

Количество потерянных покупателей (повторных покупок):

$$\Delta_{\text{пок.}} = \frac{\Delta_{\text{лоял.}}}{10 \times N}. \quad (15)$$

Потери от удовлетворенности:

$$\Delta_{\text{удовл.}} = \Delta_{\text{пок.}} \times C_{\text{авт.}} \times K_{\text{рент.}}, \quad (16)$$

где  $C_{\text{авт.}}$  – цена автомобиля;  $K_{\text{рент.}}$  – коэффициент рентабельности производства.

Оценка эффективности, через расчет полного изменения затрат ( $\Delta$ ):

$$\Delta = \Delta_{\text{пар.}} + \Delta_{\text{гар.}} + \Delta_{\text{удовл.}}. \quad (17)$$

**Расчет снижения затрат по сложным рекламациям в результате внедрения улучшений по надежности автомобилей [1; 8].**

Практика показывает, что, несмотря на повышение эффективности деятельности автопроизводителей по всем направлениям, связанным с улучшением качества и надежности продукции, нередко в период гарантийной эксплуатации регистрируются так называемые сложные рекламации. Сложные рекламации – это, в первую очередь, отказы, приводящие к потере основных функций автомобиля, устранение которых сопоставимо со стоимостью автомобиля.

Для реализации методики расчета снижения затрат требуются следующие количественные показатели:

$T_B$  – дата (месяц) внедрения мероприятий по улучшению надежности;

$M_1$  – база (множество) номеров автомобилей, на которые поступили сложные рекламации за 6 месяцев до внедрения мероприятий;

$K_1$  – количество всех отказов, имеющих в базе данных по гарантии на автомобили множества  $M_1$ ;

$Z_{\text{ОСР}}(M_1)$  – общие затраты на множество автомобилей  $M_1$  из базы данных сложных рекламаций;

$K_1(K_{\text{код.отк.}})$  – общее количество отказов с кодом отказов  $K_{\text{код.отк.}}$ , имеющих в базе данных по гарантии на автомобили из множества  $M_1$ ;

$M_2$  – множество номеров автомобилей, на которые поступили сложные рекламации за 6 месяцев после внедрения мероприятий по улучшению надежности;

$K_2$  – количество всех отказов, имеющих в базе данных по гарантии на автомобили множества  $M_2$ ;

$Z_{OCP}(M_2)$  – общие затраты на множество автомобилей  $M_2$  из базы сложных рекламаций.

**Расчет характеристик отказа до внедрения мероприятий по улучшению надежности.** Величина затрат по сложным рекламациям, приходящаяся на коды отказов  $K_{код.отк.}$  до внедрения мероприятий:

$$Z_{OCP}(K_1(K_{код.отк.})) = \frac{Z_{OCP}(M_1)}{K_1} \times K_1(K_{код.отк.}) \quad (18)$$

**Расчет характеристик отказа после внедрения мероприятий по улучшению надежности автомобилей.** Величина затрат по сложным рекламациям, приходящаяся на отказы с кодом  $K_{код.отк.}$  после внедрения мероприятий.

$$Z_{OCP}(K_2(K_{код.отк.})) = \frac{Z_{OCP}(M_2)}{K_2} \times K_2(K_{код.отк.}) \quad (19)$$

Расчет изменения затрат:

$$\Delta Z_{OCP} = Z_{OCP}(K_1(K_{код.отк.})) - Z_{OCP}(K_2(K_{код.отк.})) \quad (20)$$

**Выводы.** Использование разработанного аналитического инструментария обеспечивает возможность полноценного прогнозирования экономической эффективности и конкурентоспособности внедряемых улучшений в области качества и надежности автомобилей. Интеграция инструмента в рамках единого комплекса управления качеством на предприятии создает предпосылки для наиболее полной реализации соответствующих задач на всех этапах жизненного цикла автомобилей. Автоматизация разработанного инструмента является задачей, имеющей высокий приоритет значимости в условиях развития аналитических инструментов управления качеством в современном автомобилестроении.

1. Зятров А.В., Козловский В.Н. Анализ оперативных методов обеспечения надежности для системы электрооборудования автомобилей // Грузовик (Москва). – 2013. – №4. – С. 18–21.

2. Зятров А.В., Строганов В.И., Козловский В.Н. Модель ремонтпригодности как инструмент прогнозирования качества и надежности легкового автомобиля // Автомобильная промышленность (Москва). – 2013. – №11. – С. 19–21.

3. Клейменов С.И., Строганов В.И., Козловский В.Н. Комплексная оценка удовлетворенности потребителей качеством автомобилей // Стандарты и качество (Москва). – 2013. – №5. – С. 94–99.

4. 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.

5. Козловский В.Н., Ютт В.Е. Математическое моделирование надежности системы электрооборудования современного легкового автомобиля // Электроника и электрооборудование транспорта (Москва). – 2009. – №1. – С. 31–34.

6. Немцев А.Д., Козловский В.Н. Моделирование – инструмент управления качеством // Автомобильная промышленность (Москва). – 2003. – №10. – С. 1–3.



7. *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.

8. *Строганов В.И., Клейменов С.И., Козловский В.Н.* Модели аналитических исследований качества и надежности легковых автомобилей в эксплуатации // Автомобильная промышленность (Москва).– 2013.– №9. – С. 2–6.

9. *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.

10. *Ютт В.Е., Козловский В.Н.* Надежность системы электрооборудования современного автомобиля // Электроника и электрооборудование транспорта (Москва).– 2008.– №3. – С. 37–40.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2014.