

Научная статья
УДК 629.3 (075.32)

Методы обоснования эксплуатационных свойств автопоездов с модульными прицепами для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов

Виктор Иванович Карагодин¹, Владимир Леонидович Кубышев²

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

²ПАО «Дальневосточное морское пароходство», Москва, Россия

¹bik250248@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8220-9928>

²Kubyshev@bk.ru

Аннотация. В статье рассмотрены методические подходы к решению задачи обоснования эксплуатационных свойств автопоездов с модульными прицепами для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ). Предложено сочетать апробированные методы квалитметрии с математическим моделированием. При расчете интегрального показателя эксплуатационных свойств автопоездов предусмотрено определять коэффициенты весомости отдельных свойств либо одним из пяти, либо комбинацией следующих методов: регрессионного анализа показателей, по стоимостным функциям, по предельным и номинальным значениям показателей, по эквивалентным соотношениям, экспертным методом. В разработанной математической модели целевой функцией служит свойство безопасности перевозок, а остальные свойства – ограничениями.

Ключевые слова: эксплуатационные свойства, методы обоснования, автопоезд, крупногабаритные и тяжеловесные грузы, квалитметрия, математическое моделирование.

Для цитирования: Карагодин В.И., Кубышев В.Л. Методы обоснования эксплуатационных свойств автопоездов с модульными прицепами для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 1(43).

Original article

Methods of substantiation of operational properties of road trains with modular trailers for transportation of bulky and heavy loads

Viktor I. Karagodin¹, Vladimir L. Kubyshev²

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

²PJSC «Far Eastern Shipping Company», Moscow, Russia

¹bik250248@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8220-9928>

²Kubyshev@bk.ru

Abstract. The article considers methodological approaches to solving the problem of substantiating the operational properties of road trains with modular trailers for the transportation of bulky and heavy loads (KTG). It is proposed to combine proven methods of qualimetry with mathematical modeling. When calculating the integral indicator of the operational properties of road trains, it is provided to determine the weighting coefficients of individual properties either by one of five or by a combination of the following: regression analysis of the indicators, by target cost functions, by limited and nominal values of indicators, by equivalent ratios and by expert method. The suggested mathematics model presumes safety of transportation as target function, and the other properties are presumed limitations.

Keywords: operational properties, justification methods, road train, bulky and heavy loads, qualimetry, mathematical modeling.

For citation: Karagodin V.I., Kubyshev V.L. Methods of substantiation of operational properties of road trains with modular trailers for transportation of bulky and heavy loads. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2025. № 1 (43).

Введение

Эксплуатационные свойства машины иногда называют показателями качества эксплуатации [1], подчеркивая тем самым тесную связь проблемы обоснования эксплуатационных свойств с проблемой обоснования уровня качества продукции и услуг. Количественная оценка качества позволяет решить вопрос управления им на всех этапах жизненного цикла изделия [2]. В 1968 г. группой советских ученых во главе с Г.Г. Азгальдовым был предложен термин «квалиметрия» (от лат. *qualitas* – качество и греч. *metreo* – измеряю)

[3]. Сам Г.Г. Азгальдов утверждал, что для привлечения внимания к новому научному направлению ему нужно дать новое броское название. Это ему удалось, и квалиметрия завоевала большую популярность в качестве самостоятельной научной дисциплины.

Были разработаны хорошо зарекомендовавшие себя количественные методы оценки качества. При всем разнообразии их объединял один принципиальный подход: отдельные свойства качества характеризовались единичными показателями, которые либо объединялись в комплексные показатели, а те в свою очередь – в интегральный показатель, либо единичные показатели непосредственно объединялись в комплексные. Отдельные свойства входили в интегральный показатель как слагаемые со своими коэффициентами весомости. Приоритетность свойств (значения коэффициентов их весомости) определялась различными методами. Задача управления качеством сводилась к задаче управления (обычно повышения) интегрального показателя качества.

Такой хорошо зарекомендовавший себя подход представляется приемлемым при обосновании уровней эксплуатационных свойств машин и оборудования, в том числе автопоездов с модульными прицепами для перевозки КТГ. Альтернативным решением является использование математического моделирования как универсального средства решения оптимизационных задач.

Методы обоснования эксплуатационных свойств автопоездов на основе интегрального показателя

Интегральный показатель G определяют по формуле:

$$G = \sum_{i=1}^m a_i g_i,$$

где a_i – коэффициент весомости i -го показателя;

g_i – значение i -го показателя.

В квалиметрии существуют пять методов определения коэффициентов весомости [2], которые в той или иной степени применимы для решения задачи обоснования эксплуатационных свойств автопоездов.

1. Метод регрессионного анализа показателей используют, если число исследованных изделий равно или превышает число выбранных показателей, а количественные значения всех показателей известны. В этом случае составляют систему уравнений:

$$\begin{aligned} G_1 &= a_1 g_{11} + a_2 g_{21} + \dots + a_m g_{m1} \\ G_2 &= a_1 g_{12} + a_2 g_{22} + \dots + a_m g_{m2} \\ &\vdots \\ G_n &= a_1 g_{1n} + a_2 g_{2n} + \dots + a_m g_{mn}, \end{aligned}$$

где G_j – значение интегрального (комплексного) показателя свойств j -го образца продукции ($j = 1, 2, \dots, n$);

n – количество образцов продукции;

a_i – коэффициент весомости показателя i -го свойства ($i = 1, 2, \dots, m$);

$$g_{ij} - \text{значение показателя } i\text{-го свойства у } j\text{-го образца } (i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n);$$

m – количество показателей свойств продукции.

Если количество образцов продукции равно количеству показателей ее свойств ($n = m$), то имеем систему n уравнений с m неизвестными, которая решается любым из известных способов. Если количество образцов продукции превышает количество показателей ее свойств ($n > m$), то следует применить методы корреляционно-регрессионного анализа.

2. Метод определения коэффициентов весомости по стоимостным функциям можно использовать, если определены стоимости продукции, которая производится длительное время и пользуется устойчивым спросом, т.е. не является дефицитной или «неходовой». В этом случае составляется

система уравнений, аналогичная рассмотренной выше, но ее составляющие имеют иной физический смысл. Так,

$$G_j = f\left(\frac{C_j}{C_{\text{э}}}\right); \quad g_{ij} = f\left(\frac{P_{ij}}{P_{\text{э}j}}\right),$$

где G_j – значение стоимостной функции для j -го образца продукции
($j = 1, 2, \dots, n$);

g_{ij} – относительное значение показателя i -го свойства у j -го образца
($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$).

Значение стоимостной функции может определяться как отношение стоимости j -го образца продукции C_j к стоимости эталонного образца продукции $C_{\text{э}}$, с которым ведется сравнение, или иметь более сложный вид, например: $G_j = \lg\left(\frac{C_j}{C_{\text{э}}}\right)$. Аналогично относительное значение показателя i -го свойства может определяться как отношение значений показателей для j -го P_{ij} и эталонного $P_{\text{э}j}$ образцов продукции, либо по более сложным зависимостям.

3. *Метод предельных и номинальных значений* основан на использовании известных нормативных значений показателей свойств продукции, определяющих требования к годной продукции или принадлежность ее к соответствующей категории качества. Этот метод следует применять тогда, когда нормативные значения показателей качества определены правильно, их достоверность подтверждена длительным сроком использования и закреплена в утвержденных нормативных документах.

Коэффициенты весомости показателей при этом методе могут быть определены рассмотренным выше способом из системы уравнений либо по среднему взвешенному показателю:

$$a_i = \frac{\frac{P_i}{P_{\text{ин}} - P_{\text{ин}}}}{\sum_{i=1}^m \frac{P_i}{P_{\text{ин}} - P_{\text{ин}}}},$$

где P_{in} – номинальное значение показателя P_i ;

P_{in} – предельное значение показателя P_i .

4. *Метод эквивалентных соотношений* следует применять только в тех случаях, когда удастся обосновать, какому относительному изменению количества продукции при условии неизменности общего эффекта от ее использования эквивалентно относительное изменение соответствующего показателя свойства продукции. Иначе говоря, нужно, например, знать, на сколько процентов можно уменьшить число единиц продукции, чтобы удовлетворить те же потребности при изменении показателя свойства продукции на один процент или на заданную величину.

5. *Экспертный метод* применяют при определении весовых коэффициентов показателей способами ранжирования и попарного сопоставления [4].

Способ ранжирования состоит в том, что эксперта просят расположить объекты экспертизы в порядке их предпочтения. Место, занятое при такой расстановке в ранжированном ряду, называется рангом. Для определения значений весовых коэффициентов в этом случае необходима шкала, по которой ранги переводятся в весовые коэффициенты.

Способ попарного сопоставления отличается тем, что эксперту предлагают матрицу, в которой по вертикали и горизонтали проставлены номера показателей. Эксперту необходимо проставить в каждой клетке, лежащей выше главной диагонали матрицы и являющейся пересечением строки одного и столбца другого показателя, номер того показателя, который он считает наиболее важным. Этот способ предпочтителен при большом количестве показателей, когда эксперту сложно проранжировать все показатели одновременно. А сравнить два показателя и зафиксировать, какой из них по мнению эксперта важнее, намного легче [5].

Расчет весовых коэффициентов производится по формуле:

$$a_i = \sum_{k=1}^K \frac{N_{ik}}{C \cdot K},$$

где N_{ik} – число предпочтений k -м экспертом i -го показателя;

C – общее число суждений одного эксперта, связанное с числом показателей соотношением:

$$C = \frac{m(m-1)}{2}.$$

Методы обоснования эксплуатационных свойств автопоездов с помощью математического моделирования

Цели использования выбираемой номенклатуры показателей эксплуатационных свойств автопоездов и обоснования их значений зависят от характера поставленных задач. Возможны следующие цели применения номенклатуры и значений показателей эксплуатационных свойств:

– установление номенклатуры и значений показателей для включения в общетехнические стандарты, а также в технические условия, технические требования; правила маркировки, упаковки, хранения и транспортирования; правила эксплуатации и ремонта и т.п.;

– установление номенклатуры и значений показателей для аттестации и сертификации продукции;

– установление номенклатуры и значений показателей в документах, определяющих торговые отношения партнеров или при специализации и кооперации производств.

Возможны и иные цели определения номенклатуры и значений показателей эксплуатационных свойств.

Установление номенклатуры показателей осуществляется, исходя из целей оценки и с учетом значений показателей для данного вида продукции, указанных в международных стандартах (ИСО, МЭК, и др.), национальных зарубежных и отечественных стандартах, документации на поставку

продукции, каталогах, проспектах и стандартах фирм – изготовителей данного вида продукции, патентной и экономической документации.

При перевозке КТГ во главу угла должна быть поставлена безопасность перевозок. Это свойство является доминирующим, и все остальные свойства должны быть обеспечены на том уровне, который для них регламентирован, а при отсутствии регламентации – достаточен для удовлетворения требований по безопасности.

Поставим в начале списка эксплуатационных свойств безопасность перевозок, т.е. присвоим этому свойству индекс $i = 1$. Соответственно показатель оценки этого свойства – g_1 . Тогда математическая модель задачи обоснования эксплуатационных свойств автопоездов будет включать целевую функцию:

$$\text{максимизировать } g_1 = f(g_2, g_3, \dots, g_i, \dots, g_m)$$

при ограничениях

$$b_i^{\min} \leq g_i \leq b_i^{\max}, \quad i = 2, 3, \dots, m,$$

где $b_i^{\min}, b_i^{\max}$ – минимально и максимально допустимые значения i -го показателя.

Показатель свойства безопасности перевозок рассматривается как функция всех остальных показателей, что предполагает исследование экспериментальных зависимостей с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Характер полученных зависимостей определит, к какому классу математических моделей относится поставленная задача: линейного, нелинейного, дискретного программирования и др. От этого будет зависеть выбор метода решения задачи. Целевая функция может быть представлена одним свойством, а может быть и интегральным показателем. Это же относится и ко всем остальным свойствам, на которые налагаются ограничения.

Методы вычисления, приведения и нормирования показателей эксплуатационных свойств изделий

При проектировании, производстве и эксплуатации автопоездов с модульными прицепами для перевозки КТГ необходимо учесть, по возможности, все их эксплуатационные свойства. Автопоезда – это сложные технические системы, которые имеют множество разных и существенных свойств, оказывающих разное влияние на интегральный показатель.

Частные показатели отдельных свойств могут быть количественными и качественными. Для количественных показателей, поддающихся измерению (таких как грузоподъемность, осевая нагрузка, углы поворота колес и др.), можно построить зависимости показателя безопасности от других показателей и с ее помощью определять наилучшие значения всех показателей. Для качественных факторов, не поддающихся измерению (таких как наличие силовой установки прицепа, гидромеханической передачи тягача, встроенных систем диагностирования) подобные зависимости получить невозможно, но оценить степень влияния качественных показателей на показатель безопасности можно, рассматривая отдельно значения показателей, соответствующие той или иной градации качественного фактора, и применяя теорию распознавания образов или дисперсионный анализ.

В ходе решения задачи может возникнуть необходимость приведения различных по сути (физических, химических, технических, экологических, экономических и т.д.) показателей свойств рассматриваемых объектов, выполнения преобразования и представления данных о свойствах анализируемых объектов в виде безразмерных относительных величин. Эту процедуру иногда называют формализацией, или нормализацией разнородной информации.

Существует несколько методов нормализации [2]. В общем случае нормированные, сопоставимые, значения показателей различных свойств некоторого множества объектов находят по формуле:

$$s_{ij} = \frac{g_{ij} - \min g_{ij}}{\max g_{ij} - \min g_{ij}},$$

где s_{ij} – приведенное значение i -го свойства j -го объекта;

g_{ij} – количественное значение i -го свойства j -го объекта;

$\min g_{ij}$ – минимальное значение i -го свойства j -го объекта;

$\max g_{ij}$ – максимальное значение i -го свойства j -го объекта/

Полученные таким образом нормированные значения сопоставляемых свойств объектов выражают в безразмерной форме долю или относительный уровень i -го свойства по отношению к наибольшему значению этого свойства соответствующего объекта j .

Выводы

1. Оценка эксплуатационных свойств изделий тесно связана с оценкой их качества, что позволяет использовать при решении обеих задач разработанные и апробированные методы квалиметрии, либо математическое моделирование, где целевой функцией является наиболее важное эксплуатационное свойство, а остальные свойства выполняют роль ограничений.

2. При квалиметрическом подходе интегральный показатель эксплуатационных свойств изделия рассчитывают с использованием коэффициентов весомости отдельных свойств, которые определяются одним из пяти, либо комбинацией следующих методов: регрессионного анализа показателей, по стоимостным функциям, по предельным и номинальным значениям показателей, по эквивалентным соотношениям, экспертным методом.

3. Формализация задачи обоснования эксплуатационных свойств автопоездов с модульными прицепами для перевозки КТГ предусмотрена с помощью математической модели, где целевой функцией служит свойство безопасности перевозок, а остальные свойства – ограничениями. Показатель свойства безопасности перевозок рассматривается как функция всех остальных показателей.

Список источников

1. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование" направления подготовки "Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы" / [А. В. Рубайлов и др.] ; под ред. Е. С. Локшина. – Москва : Академия, 2007. – 512 с. – (Высшее профессиональное образование. Транспорт). – ISBN 978-5-7695-2641-1. – EDN OWUIDY.
2. Шапошников, В. А. Квалиметрия / В. А. Шапошников. – Екатеринбург : Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2016. – 134 с. – ISBN 978-5-8050-0601-3. – EDN YVOLLH.
3. Азгальдов, Г.Г. Количественная оценка качества (Квалиметрия) / Г.Г. Азгальдов, Л.А. Азгальдова. – Москва: Издательство стандартов, 1971. – 176 с.
4. Квалиметрия и управление качеством в производственно-технологических системах: краткий курс лекций для обучающихся I курса направления подготовки 27.03.02 «Управление качеством» / Сост.: О.А. Шутова. – Саратов : ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2018. – 63 с.
5. Горелов, А.Ю. Адаптация сервисного сопровождения к парку машин и условиям их эксплуатации (на примере одноковшовых фронтальных погрузчиков): специальность 2.5.11: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горелов Алексей Юрьевич ; Москва, 2024. – 202 с.

References

1. Rubailov A.V. etc., edited by Lokshin E.S. *Ekspluatatsiya pod'yemno-transportnykh, stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* (Operation of lifting, construction and road machinery), Moscow, Akademiya, 2007, 512 p.

2. Shaposhnikov V.A. *Kvalimetriya* (Qualimetry), Yekaterinburg, Rossiyskiy gosudarstvennyy professional'no-pedagogicheskiy universitet, 2016, 134 p.
3. Azgaldov G.G., Azgaldova L.A. *Kolichestvennaya otsenka kachestva* (Kvalimetriya) (Quantitative assessment of quality (Qualimetry)), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1971, 176 p.
4. Shutova O.A. *Kvalimetriya i upravleniye kachestvom v proizvodstvenno-tekhnologicheskikh sistemakh* (Qualimetry and quality management in production and technological systems), Saratov, FGBOU VO «Saratovskiy GAU», 2018, 63 p.
5. Gorelov A.YU. *Adaptatsiya servisnogo soprovozhdeniya k parku mashin i usloviyam ikh ekspluatatsii* (na primere odnokovshovykh frontal'nykh pogruzchikov) (Adaptation of service support to the fleet of machines and their operating conditions (on the example of single-bucket frontal loaders)), Candidate's thesis, Moscow, MADI, 2024, 202 p.

Рецензент: И.А. Якубович, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Карагодин Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф., МАДИ.
Кубышев Владимир Леонидович, заместитель главного инженера,
ПАО «Дальневосточное морское пароходство».

Information about the authors

Karagodin Viktor I., Doctor of Sciences (Technical), professor, MADI.
Kubyshev Vladimir L., Deputy Chief Engineer, PJSC «Far Eastern Shipping Company».

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 17.03.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 17.03.2025; accepted for publication 17.03.2025.