

ISSN 2328-1391

International Journal of Advanced Studies

VOLUME 10, NUMBER 1,
2020



ISSN 2328-1391 (print)
ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Founded in 2011
Volume 10, No 1, 2020

Editor-in-Chief – **Andrey V. Ostroukh**, Dr. Sci. (Tech.), Professor
Chief Editor – **Yan A. Maksimov**
Managing Editors – **Dmitry V. Dotsenko**, **Natalia A. Maksimova**
Language Editor – **Svetlana D. Zlivko**
Support Contact – **Yu.V. Byakov**
Layout Editor – **R.V. Orlov**

Международный журнал перспективных исследований

Журнал основан в 2011 г.
Том 10, № 1, 2020

Главный редактор – **А.В. Остроух**, д-р техн. наук, проф.
Шеф-редактор – **Я.А. Максимов**
Выпускающие редакторы – **Доценко Д.В.**, **Максимова Н.А.**
Корректор – **Зливко С.Д.**
Технический редактор – **Ю.В. Бяков**
Компьютерная верстка, дизайнер – **Р.В. Орлов**

Krasnoyarsk, 2020
Science and Innovation Center Publishing House

Красноярск, 2020
Научно-Инновационный Центр

12+

International Journal of Advanced Studies, Volume 10, No 1, 2020, 100 p.

The edition is registered (certificate of registry EL № FS 77 - 63681) by the Federal Service of Intercommunication and Mass Media Control and by the International center ISSN (ISSN 2328-1391 (print), ISSN 2227-930X (online)).

IJAS is published 4 times per year

All manuscripts submitted are subject to double-blind review.

IJAS was included in the list of leading peer-reviewed scientific journals and editions, approved by the State Commission for Academic Degrees and Titles (the VAK) of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

The journal is included in the Russian Scientific Citation Index (RSCI) and is presented in the Scientific Electronic Library. The journal has got a RSCI impact-factor (IF RSCI).

IF RSCI 2018 = 0.355

Address for correspondence:

9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation

E-mail: ijas@ijournal-as.com

<http://ijournal-as.com>

Subscription index in the General catalog «SIB-Press» – 63681

Published by Science and Innovation Center Publishing House

Международный журнал перспективных исследований, Том 10, №1, 2020, 100 с.

Журнал зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации от 10.11.2015 ЭЛ № ФС 77 - 63681) и Международным центром ISSN (ISSN 2328-1391 (print), ISSN 2227-930X (online)).

Журнал выходит четыре раза в год

На основании заключения Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Журнал представлен в Научной Электронной Библиотеке в целях создания Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). ИФ РИНЦ 2018 = 0,355.

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:

660127, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192

E-mail: ijas@ijournal-as.com

<http://ijournal-as.com>

Подписной индекс в каталоге «СИБ-Пресса» – 63681

Учредитель и издатель:

Издательство ООО «Научно-инновационный центр»

Editorial Board Members

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Tatiana V. Avdeenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Leading Researcher (Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation).

Vitaly N. Vasilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Technology (Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation).

Alexey V. Voropay, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department «Machine Parts and Theory of Machines and Mechanisms» (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine).

Vladimir A. Dresvyannikov, Doctor of Economics, Assistant Professor, Professor of the Department of Management and Marketing (Penza Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Penza, Russian Federation).

Elena V. Erokhina, Doctor of Economics, Professor of Economics and Organization of Production (Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation).

Sultan V. Zhankaziev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation).

Nikolay S. Zakharov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Technological Machines Service (Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation).

Olga V. Kalimullina, Candidate of Economics (PhD), Associate Professor, Department of Management and Modeling in Socio-Economic Systems (St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. MA Bonch-Bruевич, St. Petersburg, Russian Federation).

Sergey V. Kosyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software for Computer Systems (Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation).

Andrey V. Kochetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Expertise and Risk Assessment (Russian Road Research Institute, Moscow, Russian Federation).

Mikhail N. Krasnyanskiy, Doctor of Technical Sciences, Rector (Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation).

Aleksey L. Manakov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department "Technology of Transport Engineering and Machine Operation", Rector (Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation).

Boris Yu. Serbinovskiy, Doctor of Economics, Professor of the Department of Systems Analysis and Management of the Faculty of High Technologies (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation).

Boris S. Sergeev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Electric Machines" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

Habibulla Turanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Stations, Knots and Cargo Work" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

Daniil P. Frolov, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Marketing and Advertising (Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation).

Ilya A. Khodashinsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Complex Information Security of Electronic Computing Systems (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation).

Vyacheslav P. Shuvalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Discrete Communications and Metrology (Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, Russian Federation).

Nikolai N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Transport (Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation).

Члены редакционной коллегии

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Авдеенко Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АСУ, вед. науч. сотрудник НОЦ ИИТБ (Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация).

Василенко Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор, декан Технологического факультета (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация).

Воропай Алексей Валерьевич, кандидат технических наук (PhD), доцент, доцент кафедры Деталей машин и ТММ (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина).

Дресвянников Владимир Александрович, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Менеджмент и маркетинг» (Пензенский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Пенза, Российская Федерация).

Ерохина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и организации производства (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация).

Жанказиев Султан Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация).

Захаров Николай Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин (Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация).

Калимуллина Ольга Валерьевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и моделирования в социально-экономических системах (Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Косяков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем (ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", Иваново, Российская Федерация).

Кочетков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела экспертизы и оценки риска (ФАО «РОСДОРНИИ», г. Москва, Российская Федерация).

Краснянский Михаил Николаевич, доктор технических наук, ректор (Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация).

Манаков Алексей Леонидович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», ректор (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Российская Федерация).

Сербиновский Борис Юрьевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления факультета высоких технологий (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация).

Сергеев Борис Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Электрические машины" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

Туранов Хабибулла Туранович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Станции, узлы и грузовая работа" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

Фролов Даниил Петрович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой маркетинга (Волгоградский государственный университет, Волгоград, Российская Федерация).

Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация).

Шувалов Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии (Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация).

Якунин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта (Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация).

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-1-7-25**УДК UDC 657.471****DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM
FOR DETERMINING THE OPTIMIZING CONSIGNMENT
SIZE IN INTERNATIONAL ROAD TRANSPORT*****Lutsenko E.A.***

There is considered the dynamics of the index of business activity PMI (Purchasing Managers Index) across regions and countries. This index is used to measure changes in inventory, supplier performance, employment level, output volume, and the number of new orders in production. A decrease of the inventories level increases the trade intensity. Thus, the transition to more frequent deliveries in small batches is necessary. This leads to increased transport costs. The influence tendencies of such external factors as consumer demand for goods, refinancing rate, national currency rate are considered.

Purpose. *To determine the consignment size and its delivery frequency using the minimizing total logistics costs criterion.*

Methodology / Methods. *In the article mathematical statistics method, regression analysis were used.*

Conclusion. *The algorithm for solving the optimizing consignment size task is proposed. Dependences of components of total costs on the delivery frequency are obtained.*

Keywords: *small-shipments; logistics costs; inventory management; consumer demand; automobile transport.*

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА
ПАРТИИ ГРУЗА ПРИ МЕЖДУНАРОДНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ*****Луценко Е.А.***

Рассмотрена динамика индекса деловой активности PMI (Purchasing Managers Index) по регионам и странам. Этот индекс

используется для определения изменений товарных запасов, производительности поставщиков, уровня занятости, объемов выпуска продукции и количества новых заказов в производстве. Снижение уровня товарных запасов увеличивает интенсивность товарооборота. Таким образом, необходим переход на более частые поставки мелкими партиями. Это приводит к увеличению транспортных расходов на транспортировку. Рассмотрены тенденции влияния таких внешних факторов, как потребительский спрос на товары, ставка рефинансирования, курс национальной валюты.

Цель. *Определить размер партии грузов и периодичность их поставок по критерию минимизации суммарных логистических затрат.*

Методология / Методы. *В статье используются методы математической статистики, регрессионного анализа.*

Результаты. *Предложен алгоритм решения задачи оптимизации размера партии грузов. Получены зависимости составляющих суммарных затрат от частоты поставок.*

Ключевые слова: *мелкие отправки; логистические издержки; управление запасами; потребительский спрос; автомобильный транспорт.*

Introduction

The article deals with the relevant topic of reducing stocks of finished products [1, 2]. This leads to an increase in the small shipments turnover and an increase in logistics costs consequently. To address this topic, it is necessary to consider the impact of external factors on the rise of logistics costs.

In order to maintain the truck transport productivity using modern technologies there is necessary to get reliable information about the prospective cargo transportation volumes. One of the most significant economic indicators of the demand forecast is the PMI (Purchasing Managers' Index) or purchasing managers' expectations index [3]. It is possible to identify active business areas, cargo flows directions and their characteristics using the dynamics of changes in this indicator (PMI) in a number of countries and regions.

Currently, the principles of evaluating macroeconomic indicators of the originally developed in the United States business activity index are used in various economy sectors. The forecast of changes, growth or decline, in the purchases and deliveries activity in industry, trade allows transport companies to make all necessary preparations for the upcoming work or freeze assets.

The method of assessing business activity [4] consists of selecting the main indicators; determining its weight values; regular conducting of industry senior employees survey under study on the selected indicators.

The greatest impact on the overall value of the PMI index is accounted for by such indicators as new orders, output volumes (Table 1).

Table 1.

The importance of business activity indicators

No	Indicator	Weight value, %
1.	Inventory indicator	10
2.	Supplier activities	15
3.	Employment rate	20
4.	Production volumes	25
5.	Number of new orders in the production segment	30
	Total:	100

The range of the business activity index changes varies from 1 to 100. The index value of 50 means that half of the surveyed specialists assess the prospect positively, and the other half mark negative prospect. That means that they expect production and purchases decrease. This can also be characterized as a stable situation in the economy or industry. In practice the index deviates from 50 slightly. A value above 52 points indicates a marked growth in the economy while a value below 48 points indicates a large decline (Table 2).

The analysis of world values shows the positive dynamics of the index. At the same time, Europe has been showing the index decline for 9 months (up to and including January 2020). That is worth marking that South-East Asia (in comparison with Europe) is close to stabilizing business activity. Despite the slight deviation of the PMI value from

the normal 50 in the South-East Asia region some countries bordering this region (for example, China) have been holding positive indicator dynamics for a long time.

Table 2.

**Dynamics of the manufacturing activity index PMI
by countries and regions (fragment)**

Country / region	PMI value	Trend	Period for which the maximum or minimum value was reached (based on the PMI trend)
World	50.4	↑	10 months
Europe	47.9	↑	9 months
Southeast Asia	49.8	↑	1 month
Russia	47.9	↑	5 months
China	51.1	↓	4 months
Japan	48.8	↑	2 months

In different countries (groups of countries), there is used the PMI or its analog taking into account specific to a particular country additional indicators. Each country that uses business activity data has its own research organization to collect and publish indicator data with its own publication frequency that can be differed from other countries. In Russia, the PMI index is published by the PMI research organization Markit Economics. According to this organization, Figure 1 shows the manufacturing activity index dynamics for 2019. As you can see, in the first half of the year there was mainly positive dynamics, in the second half of the year there is a negative dynamics. In late 2019 – early 2020, there is a tendency to stabilize business activity, in January 2020 the PMI index value was 47.9 points (Table 2) that still means a production volumes and new orders reduction.

The “inventory level” indicator [5, 6] is of particular interest for transport companies. The actual inventory levels are determined as the difference between the respondents percentage marked “improvement” and “deterioration” of the indicator compared to the previous period. The dynamics of the surveys results of the actual inventory level according to Rosstat data indicates an inventory decrease (Figure 2).

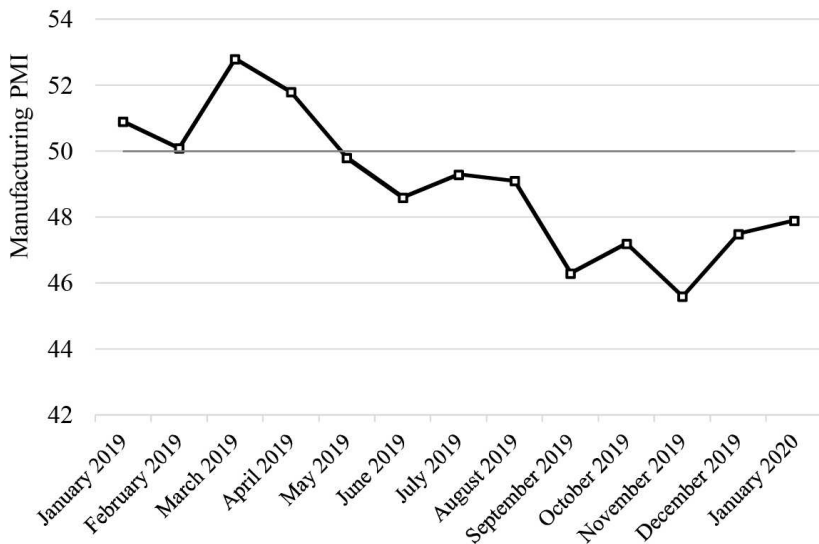


Fig. 1. Manufacturing PMI dynamics (Russia)

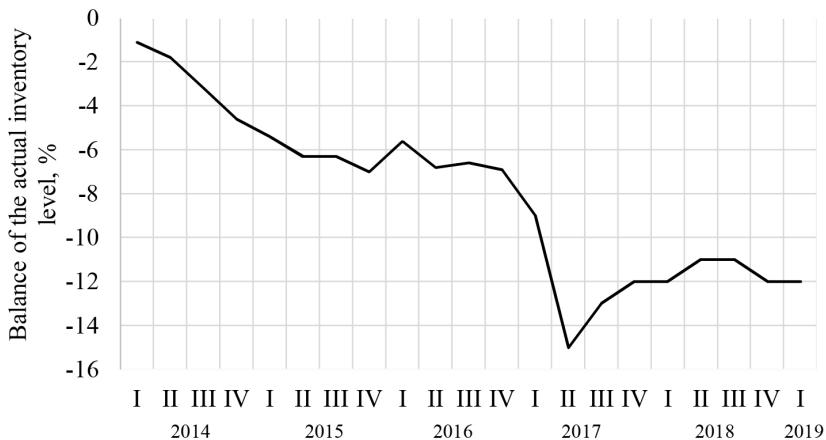


Fig. 2. Dynamics of the surveys results of the actual inventory level (Rosstat)

Comparison of the dynamics of the PMI index (Figure 1) and the inventory level (Figure 2) shows similar changes movements, there is a stabilization of values in May–August 2019. Thus, the business

activity weakening in the production sector (production volumes and new orders reduction) and the decrease in the inventory level suggest attenuation of consumer demand for goods.

When stocks are reduced the trade intensity increases meaning deliveries need to be made more often but in small consignments. However, increase in trade turnover in small-shipments leads to transport costs growth [7], so it is necessary to consider the factors that influence them. The trends of these factors are set in Table 3.

Table 3.

Influence of external factors on logistics costs

Factor	Trend	Logistics costs
Consumer demand for goods	↑	↓
Refinancing rate	↓	↓
National currency rate	↑	↓

The demand for logistics services can be characterized by such indicators as: the cargo traffic volume, the directions of transportations, etc.

1) cargo traffic volume, as a key demand characteristic, is the amount of cargo transported or planned for transportation between the points of departure and destination for a certain period of time. The traffic volume depends on the product demand. To determine the demand, we use forecasting methods, effectiveness of the implementation of the logistics concept-delivery “just in time” depends on accuracy and reliability of these methods;

2) the directions of transportations are determined by the location of product suppliers [8]. Supplies from European countries are gradually being replaced by manufacturers from the Asian region, while the process of import substitution is taking place. Increasing the distance of transport from suppliers leads to an increase in transport costs. In addition to reviving trade with China, the share of imports from Asia-Pacific economic cooperation countries is also increasing. This is facilitated by [9]:

- signing of free trade zone Agreements between the EEU (Eurasian economic Union) and Vietnam in 2015, Iran – in 2017, and Singapore – in 2019 [10];

- establishment of the business Council for cooperation with Malaysia (under the auspices of the Russian Chamber for Trade and Commerce) in March 2016;
- acceptance of the roadmap for monitoring strategic programs of Russian-Indonesian cooperation – in May 2016;
- creation of bilateral agreement on international road transport between Russia and China in 2019. The signing of the new agreement made it possible to transport goods not only to the regions of China, but also in transit [11, 12].

Any business requires borrowing to purchase raw materials, equipment, or finished products. The cost of borrowed funds is an important competitive advantage. The refinancing rate is the annual interest rate of the Central Bank of Russia lending to credit institutions. At the end of 2019, the loan rates are 7.9% in Russia (Table 4), that is significantly higher than the level of European countries and, consequently, has a negative impact on the purchase and updating of vehicles. However, the reduction of the refinancing rate continues, in December 2019 its value decreased by 1.5% (compared to the value in December 2018), and in February 2020 – by 6% per annum (according to the Central Bank of the Russian Federation). Declining the rate reduces the cost of borrowed funds and creates favorable credit conditions for doing business.

Table 4.

Loan rate in the countries of the world (fragment)

№	Country	Loan rate, %
1.	United Kingdom	1.75
2.	The Euro area	1.88
3.	India	9.4
4.	Russia	7.9
5.	Ukraine	15.04
6.	Japan	0.95

Exchange rate fluctuations of the national currency affect the ratio of the expected profit to the initially planned cost for production and goods promotion, and the loan rate [13]. In turn, the weakening of the

ruble has a negative impact on goods and services imports and leads to a reduction in freight turnover. At the same time, this has a positive effect on exports, and national transport companies receive certain advantages.

The strengthening of the ruble (at the real exchange rate) in December 2019 against the dollar by 7.6% and against the Euro – by 11.7% (compared to December 2018) can be considered as another positive factor for business lending, along with a refinancing rate decreasing.

Transport companies do not have the ability to influence the above factors directly. At the same time, the positive effect of external factors helps to strengthen the company's position, increase its competitiveness and profitability.

Internal factors are defined as the process of performing work that the company can influence. In particular, these factors include the vehicle fleet structure, the direction of transportations, the efficiency of vehicle usage and the applied technological transportation schemes.

The main characteristics of a motor transport enterprise are its specialization and characteristics of the vehicle fleet. The specialization of road transport companies engaged in cargo transportation depends on the range of transported goods, the type of transportation (interurban, international), the availability of specialized automobile fleet, as well as the providing additional services (storage, warehouse processing).

Increased competition forces trading and manufacturing companies to look for reserves to reduce costs. One direction is to reduce inventory. Decreasing inventory levels and transition to just-in-time technologies leads to declining purchased and transported cargo consignment size.

To describe and set the task, there is necessary to analyze the following terms: “dispatch”, “consignment of cargoes”, “logistics costs”.

In road transport:

1) *carload dispatch* is a dispatch required for transportation by one consignor to one consignee on one bill of lading, for this transportation a separate vehicle is provided. This term is given in the document that is no longer valid (“General rules of cargo transportation by the road

transport” (with amendment of 21.05.2007)), this definition is not given in the current document;

2) *small consignment* is a consignment of cargoes weighing up to 5 t inclusive, issued by one bill of lading, for this transportation a separate vehicle is not required. This definition is given in the expired document (Government Decree of the Russian Federation of 15.04.2011 N 272 (ed. by 12.12.2017) “On approval of Rules of transportation of goods by road”); in the current document, this definition is not given. This definition of small consignment does not specify how many types of cargoes can be transported in a single shipment;

3) *consignment of cargoes* is one or more names of cargoes transported by one bill of lading (Government Decree of the Russian Federation of 15.04.2011 N 272 (ed. by 31.01.2020) “On approval of Rules of transportation of goods by road”).

In railway transport (the Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation of 18.06.2003 N 33 “On approval of Rules of transportation of goods in small shipments by rail”): *small dispatch* is a consignment of cargoes presented by one transport railway bill, for this transportation a separate wagon or container is not required. The total weight of small dispatch of cargoes should be from 20 kg to 20 tons.

In water transport (“Rules of transportation of goods. Part 1” (approved by the Ministry of transport of the Russian Federation) (as of 01.01.1994)): *small consignment* is a consignment of cargoes less than 20 tons. This definition is given in an invalid document, in the current document (Rosstat Order of 28.03.2018 N 138 “On approval of statistical tools for the organization of Federal statistical monitoring of transportation activities by the Federal Agency for sea and river transport on sea and inland water transport”) the definition of this term is not given.

There can be noticed that the availability of several types of cargoes in one consignment is specified only in road transport.

After analyzing the terms discussed above, the concepts of dispatch and consignment of cargoes can be considered equivalent. The concept of consignment of cargoes is inextricably linked with dispatch frequen-

cy that shows the number of delivered batches for a certain period to meet the needs of demand.

Logistics costs are costs for delivering of the purchased products from the supplier's warehouse to the buyer's warehouse, namely: the costs for transportation; the costs for inventory in transit; the costs for storage and warehouse processing.

Task statement:

The buyer X purchases the quantity of products Q from the seller Y at a time (Figure 3) or in parts q_1, \dots, q_n (Figure 4) during the certain time period T . It is necessary to determine the optimizing consignment size that provides the minimum costs.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 C_j * q_i \rightarrow \min.$$

Criterion: minimization of logistics costs for purchased goods transportation from the supplier's warehouse to the buyer's warehouse.

Limitations:

$$\sum_{i=1}^n q_i = Q,$$

q_i – the quantity of transported cargoes in batch i ; Q – the quantity of purchased goods; C_j – the logistics costs, taking into account the costs of inventory in transit:

$$C_j = C_1 + C_2 + C_3,$$

C_1 – the costs for transportation; C_2 – the costs for inventory in transit;

C_3 – the costs for storage and warehouse processing.

Options for solving the task:

- 1) *the base* (Figure 3): all purchased batch Q is delivered at a time;
- 2) *proposed* (Figure 4): all purchased batch Q is delivered in parts q_1, \dots, q_n (from 2 deliveries per month).

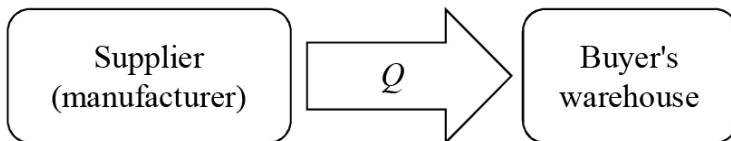


Fig. 3. Basic option: one-time delivery of a batch of goods Q

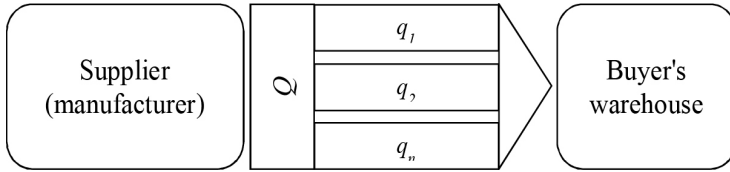


Fig. 4. Proposed option of cargo delivery in parts q_1, \dots, q_n

Source data:

$Q = 1000$ units (33 pallets with cargo (hereinafter – pallets)) – the size of the purchased batch of goods;

$C_m = 200000$ USD – the cost of the purchased batch Q ;

q_1, q_2, \dots, q_n – batch sizes depending on the frequency of deliveries;

$T = 30$ days – the period of delivery of the purchased batch of goods from the manufacturer to the buyer’s warehouse;

$L = 2000$ km – distance of transportation between points;

$C_{mp.} = 2000$ USD – costs for transportation (average market price for transportation);

$C_{\text{обp.}}^{Inal./mec.} = 10$ USD – storage and warehouse processing costs of 1 pallet per month (average value on the Russian market);

$r = 20\%$ – the average market value of the lending rate (according to the Central Bank of the Russian Federation);

$N \leq 5$ – maximum number of deliveries per month.

To determine the optimizing consignment size

Decision

Minimum total costs:

$$C = C_{mp.} + C_{nym.} + C_{xp.} + C_{\text{обp.}}, \text{ USD,}$$

C – total costs, USD; $C_{mp.}$ – costs for transportation, USD; $C_{nym.}$ – costs for inventory in transit, USD:

$$C_{nym.} = \frac{r * C_m * D_{\text{docm.}}}{100 * D_{\text{к.}}}$$

r – the annual interest rate on the loan, %; C_m – the cost of purchased goods, USD; $D_{\text{docm.}}$ – number of days for transportation, days; $D_{\text{к.}}$ – number of calendar days in a year, days; $C_{xp.}$ – storage costs, USD:

$$C_{xp.} = C_{xp.}^{lna.} * N_{na.} * D_{xp.}, \text{ USD};$$

$N_{na.}$ – number of transported pallets (in batch), pal.; $C_{xp.}^{lna.}$ – storage costs of one pallet per day, USD; $D_{xp.}$ – number of storage days, days;
 $C_{o\acute{o}p.}$ – costs of processing goods in the warehouse, USD:

$$C_{o\acute{o}p.} = N_{na.} * C_{o\acute{o}p.}^{lna.}, \text{ USD};$$

$C_{o\acute{o}p.}^{lna.}$ – costs for warehouse processing of one pallet, USD.

The algorithm for solving this task is shown in Fig. 5.

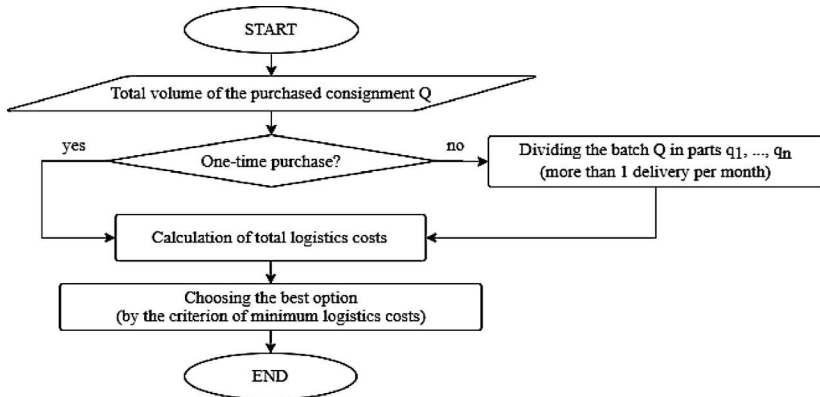


Fig. 5. Algorithm for determining the task of optimization

Based on the source data, the regularities of the impact of the size of the consignment on logistics costs are obtained.

Regularities are defined between the dependent variable y (transportation costs; inventory costs in transit; storage and warehouse processing costs) and the independent variable x (frequency of deliveries per month). After constructing the dependencies based on the calculated data, a general view of the functional dependencies of the trend lines $y=f(x)$ was obtained by smoothing, where a , b , and c are the smoothing coefficients. Along with the definition of the functional dependence type, the quality coefficient of the line construction R^2 is also determined.

The trend of transportation costs changes with the shipments frequency increasing (Figure 6) can be described by the dependence of the parabolic and power type of function, respectively. The accuracy

of the constructed trend line was evaluated by determining the corresponding coefficient value R^2 . The coefficient value in both cases is in the range of more than 0.7 that indicates a close relationship between the transportation costs and the frequency of deliveries. Therefore, both options are suitable for describing the dependency, with high accuracy.

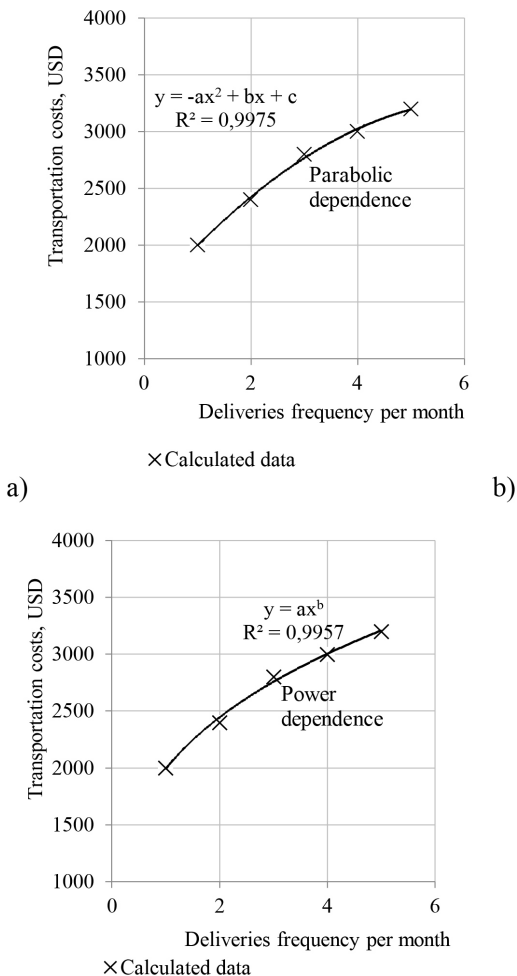


Fig. 6. Parabolic (a) and power (b) dependences “transportation costs – deliveries frequency”

Fig. 7 shows the dependence between the cost of maintaining inventory in transit and deliveries frequency. After evaluating the accuracy of the trend line, a power type of dependence (a kind of hyperbolic) was determined. Fig. 8 shows the relationship between storage costs and deliveries frequency that also corresponds to a power model of function. As you can see in Fig. 7 and 8, increasing of deliveries frequency reduces the costs for maintaining inventory in transit and storage.

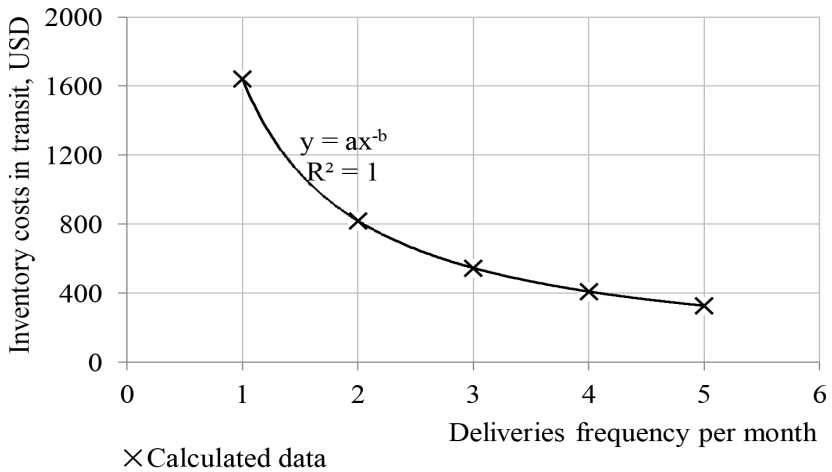


Fig. 7. Power type of function “inventory costs in transit – deliveries frequency”

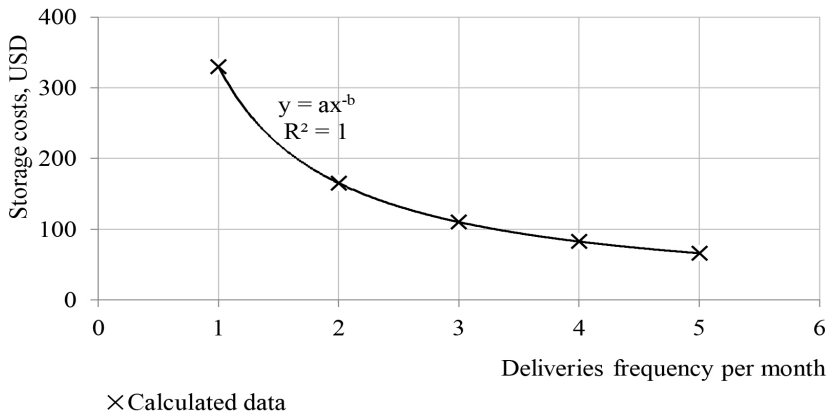


Fig. 8. Power type of function “storage costs – deliveries frequency”

From the obtained dependencies (Figures 6–8), it can be seen that batch size reduction entails an increase in transportation costs and, accordingly, a decrease in the costs of maintaining stocks in transit and its storage. Reducing the costs of maintaining inventory in transit is due to decreasing the amount of borrowed funds for the goods purchase. The reduction of storage costs is due to the use of a smaller warehouse space to accommodate the batch and the duration of goods storage.

Fig. 9 shows the dependence of total costs on the deliveries frequency [14]. The minimum total costs are achieved at the point of optimal ratio of each costs component separately. The minimum calculated total costs value is reached at a point with a delivery frequency of two per month. The graphical representation of the smoothing trend line (based on the calculated data) indicates that the minimum total costs are achieved when the delivery frequency is equal to three.

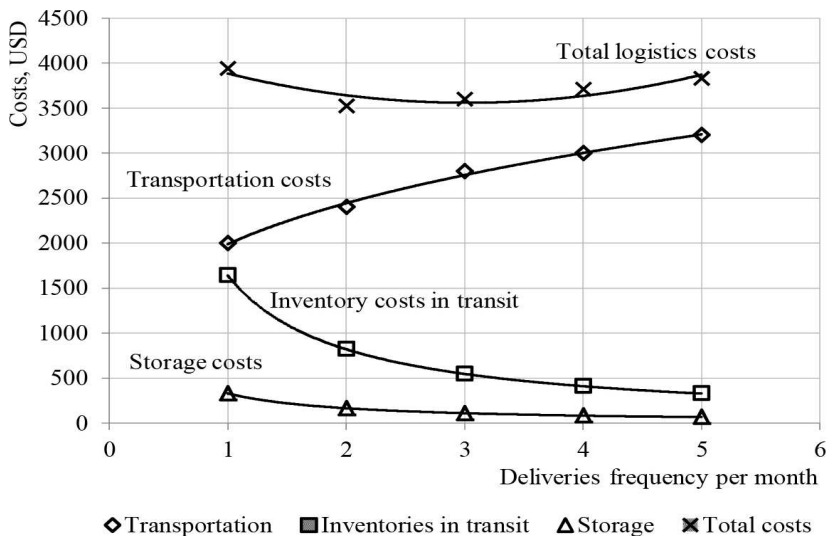


Fig. 9. Dependence between total costs and deliveries frequency

Conclusion

The development of an algorithm for studying the impact of the frequency of deliveries, and therefore determining the batch size, on

logistics costs allowed us to determine the degree of influence of each logistics costs component on their total value. The solution of this task led to the following conclusion: the total costs (with increasing the deliveries frequency per month) decrease at first, reaching 2–3 deliveries per month, and then increase. The reduction is due to declining costs for maintaining inventory in transit and also storage and warehouse processing costs. The further increase in total logistics costs at a delivery frequency of three per month depends on the costs of transportation. It is important to note that the costs of maintaining inventory in transit and storage, which are less than 50% of the total logistics costs, could affect the constantly growing transportation costs and contribute to reducing logistics costs at a delivery frequency of 2–3 per month. Thus, there is always an optimal consignment size (depending on the size of the purchased batch), in which the total logistics costs for purchased goods delivery from the supplier's warehouse to the buyer's warehouse will be minimal.

References

1. Aleksejevs R., Guseinovs R., Medvedev A.N., Guseynov Sh.E. Model' perevozki sbornyykh gruzov [Groupage cargo transportation model]. *Transport and Telecommunication*. 2016. Vol. 17. No. 1, pp. 60–72. DOI: 10.1515/ttj-2016-0007.
2. Liotta G., Stecca G., Kaihara T. Optimizatsiya gruzopotokov i snabzheniya v ustoychivyykh proizvodstvennykh i transportnykh setyakh [Optimisation of freight flows and sourcing in sustainable production and transportation networks]. *International Journal of Production Economics*. 2015. №164, pp. 351–365.
3. Natsypaeva Ye A. Analiz sushchestvuyushchikh podkhodov k otsenke delovoy aktivnosti predpriyatiya [Overview of existing approaches to business activity of enterprise assessment]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-ekonomicheskogo universiteta*. 2011. №3, pp. 85–87.
4. Shcherbinina L.Ju., Peres'ko Ju.A. Obzor metodik po otsenke indeksov delovoy aktivnosti [Review of techniques for the evaluation of the in-

- dex of business activity]. *Voprosy jekonomiki i upravlenija*. 2016. Vol. 3. №1, pp. 52–55.
5. Shidlovskij I.G. *Sovershenstvovanie upravleniya zapasami pri postavkakh partionnykh gruzov* [Improving inventory management in the supply of a batch of goods]. PhD thesis, NIU VShJe. 2018. Moscow.
 6. Romashko M.V. *Sovershenstvovanie protsessa dostavki melkopartionnykh gruzov pri sokrashchenii sroka dostavki* [Improving the delivery process of small-batch goods while reducing the delivery time]. PhD thesis, MADI. 2000. Moscow.
 7. Stepanova E.G. *Sovershenstvovanie sistemy upravleniya zapasami na predpriyatii* [Improvement of the inventory management system at the trade enterprise]. *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii*. 2016. №12, <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/76422>. Date access 31.01.2020.
 8. Lutsenko E.A. Rol' avtomobil'nogo transporta v obsluzhivanii khabov [The role of automobile transport in hubs service]. *International Journal of Advanced Studies*. 2015. Vol. 5 №3, pp. 50–54.
 9. Marian V.P., Sinicyn A.Ju. Rossiya – ASEAN – 20 let sotrudnichestva [Russia-ASEAN: two decades of development]. *Vlast*. 2017. Vol. 25. №2, pp. 186–193.
 10. Fedorov N.V. Zona svobodnoy trgovli EAES – V'etnam: itogi pervogo goda raboty [The Free Trade Zone of the EAEU – Vietnam: Results of the First Year of Work]. *Vestnik MMA*. 2017. №2, pp. 69–77.
 11. Karickaja I.M., Sitnikova Ja.V., Markasova O.A. Torgovyje otnosheniya Rossii i Kitaya – klyuchevye strategicheskie initsiativy [Trade relationships between Russia and China – the key strategical enterprises]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2017. Vol. 56. №02, pp. 24–28.
 12. Domnina S.V., Fedorenko A.I. Razvitie rynka transportno-logisticheskikh uslug v stranakh Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza [Development of the transport and logistics services market in the countries of the Eurasian economic Union]. *Logistika segodnja*. 2014. Vol. 66. №06, pp. 344–361.
 13. Peretin I.V. Analiz faktorov, sposobstvuyushchikh kolebaniyu kursa rublya, i ikh vliyanie na ekonomiku RF [Analysis of factors that contribute

to fluctuations in the ruble exchange rate and their impact on the Russian economy]. *Molodoj ucheny*. 2016. Vol. 127. №23, pp. 274–276.

14. Lutsenko E.A. Razrabotka algoritma resheniya zadachi optimizatsii razmera partii gruza pri mezhdunarodnykh avtomobil'nykh perevozkakh [Development of the algorithm for solving the optimization problem of the cargo consignment size in international road transport]. *Vestnik MADI*. 2018. Vol. 55. №4, pp. 102–110.

Список литературы

1. Алексеев Р. Модель перевозки сборных грузов / Алексеев Р., Гусейнов Р., Медведев А.Н., Гусейнов Ш.Е. // *Transport and Telecommunication*. 2016. №1 (17). С. 60–72. DOI: 10.1515/ttj-2016-0007.
2. Лиотта Г. Оптимизация грузопотоков и снабжения в устойчивых производственных и транспортных сетях / Лиотта Г., Стежка Г., Кайхара Т. // *International Journal of Production Economics*. 2015. №164. С. 351–365.
3. Нацыпаева Е.А. Анализ существующих подходов к оценке деловой активности предприятия // *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*. 2011. №3. С. 85–87.
4. Щербинина Л.Ю. Обзор методик по оценке индексов деловой активности / Щербинина Л.Ю., Пересько Ю.А. // *Вопросы экономики и управления: научный журнал*. 2016. №3.1. С. 52–55.
5. Шидловский И.Г. Совершенствование управления запасами при поставках партийных грузов: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / И.Г. Шидловский; НИУ ВШЭ. М., 2018. 179 с.
6. Ромашко М.В. Совершенствование процесса доставки мелкопартийных грузов при сокращении срока доставки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / М.В. Ромашко; МАДИ. М., 2000. 158 с.
7. Степанова Е.Г. Совершенствование системы управления запасами на предприятии // *Современные научные исследования и инновации*. 2016. №12 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/76422> (дата обращения: 31.01.2020).
8. Луценко Е.А. Роль автомобильного транспорта в обслуживании хабов // *International Journal of Advanced Studies*. 2015. №3 (5). С. 50–54.

9. Мариан В.П. Россия – АСЕАН – 20 лет сотрудничества / Мариан В.П., Сеницын А.Ю. // Власть. 2017. №2. С. 186–193.
10. Федоров Н.В. Зона свободной торговли ЕАЭС – Вьетнам: итоги первого года работы // Вестник ММА. 2017. №2. С. 69–77.
11. Карицкая И.М. Торговые отношения России и Китая – ключевые стратегические инициативы / Карицкая И.М., Ситникова Я.В., Маркасова О.А. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №02 (56). С. 24–28.
12. Домнина С.В. Развитие рынка транспортно-логистических услуг в странах Евразийского экономического союза / Домнина С.В., Федоренко А.И. // Логистика сегодня. 2014. №06 (66). С. 344–361.
13. Перетин И.В. Анализ факторов, способствующих колебанию курса рубля, и их влияние на экономику РФ // Молодой ученый. 2016. №23 (127). С. 274–276.
14. Луценко Е.А. Разработка алгоритма решения задачи оптимизации размера партии груза при международных автомобильных перевозках // Вестник МАДИ. 2018. №4 (55). С. 102–110.

DATA ABOUT THE AUTHOR

Lutsenko Elizaveta Aleksandrovna, Assistant Professor «Motor transportations»

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

*64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
elutsenko07@gmail.com*

SPIN-code: 4142-2781

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Луценко Елизавета Александровна, старший преподаватель кафедры «Автомобильные перевозки»

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Ленинградский проспект, 64, Москва, 125319, Российская Федерация

elutsenko07@gmail.com

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-1-26-34

UDC 656.135

**MODEL FOR DETERMINING
THE OPTIMAL SIZE OF A MULTI-NOMENCLATURE
CARGO BATCH, TAKING INTO ACCOUNT
THE WEIGHT AND VOLUME CHARACTERISTICS
OF THE TRANSPORT VEHICLE**

Lutsenko E.A.

There is considered the cargo transportation dynamics that indicates an increase in the small consignments volume. There are determined the main criteria for small shipments delivery in relation to transport companies and their customers. Based on criteria there was proposed solution to optimize cargo deliveries. This solution is to consolidate cargoes deliveries with different nomenclature positions in a single vehicle. There was proposed the model for determining the optimizing consignment size task that allows loading the transport vehicle with several nomenclature positions of cargoes effectively.

Purpose. *To determine the consignment size using weight and volume characteristics of load units and the transport vehicle.*

Methodology / Methods. *In the article mathematical statistics method was used.*

Conclusion. *The algorithm for determining the optimizing consignment size task is proposed.*

Keywords: *small consignments; weight and volume characteristics; consumer demand; automobile transport.*

**МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО
РАЗМЕРА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОЙ ПАРТИИ
ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ВЕСОГАБАРИТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Луценко Е.А.

Рассмотрена динамика грузоперевозок, свидетельствующая об увеличении объема малых партий грузов. Определены основные

критерии доставки малых партий грузов по отношению к транспортным компаниям и их клиентам. На основе этих критериев было предложено решение по оптимизации доставки грузов. Это решение заключается в консолидации поставок грузов различных номенклатурных позиций в одном транспортном средстве. Предложена модель определения задачи оптимизации размера груза, позволяющая эффективно загружать транспортное средство несколькими номенклатурными позициями товаров.

Цель. *Определить размер партии грузов с помощью объемно-массовых характеристик укрупненных грузовых единиц и транспортного средства.*

Методология / Методы. *В статье используется метод математической статистики.*

Результаты. *Предложен алгоритм определения оптимального размера партии грузов.*

Ключевые слова: *мелкие партии; объемные и массовые характеристики; потребительский спрос; автомобильный транспорт.*

Currently, the transport system must interact with other components of the cargo delivery transport system: the warehouse complex, suppliers and goods consumers [1, 2]. Thus, transport companies should be focused on achieving both their own goals and the goals of participants who interact throughout the whole supply chain from the goods manufacturer to their final consumer.

The finished products consumer is aimed at minimizing transportation costs. The main criterion that affects transportation costs is the rolling stock (automotive rolling stock). It is due to the efficient use of vehicles that the transportation rate (set by transport companies) is reduced.

For all supply chain participants, the most effective delivery option is to deliver a batch of an equal a fully loaded vehicle batch. This option allows, on the one hand, to effectively use rolling stock, which is one of the fundamental tasks in the activities of transport companies, and on the other – to deliver goods batch as quickly as possible from the manufacturer to the products consumer, bypassing the time spent on storage in intermediate warehouses [3, 4].

However, the cargo transportation dynamics indicates an increase in the small shipments volume. According to the research agency M.A. Research, the share of groupage cargo transportation in the Russian Federation in the cost volume structure of the commercial road cargo transportation market in 2017 amounted to 20.7%, and in 2020, this segment is expected to increase to 24.6%. The main factors for the growth of small consignments transportation by road are a decrease in the physical volume of one delivery of transported goods, a decrease in total costs by consolidating goods of different nomenclature positions from different shippers, and the territorial expansion of trade networks. Indicators that predict business activity (PMI) [5, 6] and the inventories level [7–9] also evidence this trend.

For goods transportation in small batches, the main thing for the customer (the consumer of goods) is, on the one hand, to minimize transportation costs, and on the other hand, there is a need to reduce the time for delivery of goods in small batches. When transporting small consignments of goods, additional necessary delivery participants appear (for example, warehouse complexes – for storage and distribution small consignments to one dispatch with a full load of vehicle in the direction of one consignee).

For transport companies, the main criteria for cargo transportation remain transportation costs reduction and need for efficient use of rolling stock. This criterion is not fundamental for goods transportation with a full load of vehicles. Consider the impact of the main criteria for small shipments delivery in relation to transport companies and their customers (Table 1).

Table 1.

Criteria for goods delivery in small batches

Criteria	Transport companies	Customers
Minimizing transportation costs	+	+
Minimizing delivery time	+	+
The efficiency of vehicles use	+	–

Thus, it can be noted from Table 1 that the customer is not interested in efficient use of vehicles when ordering goods delivery. In order to optimize the delivery of transport companies and at the same time not to lose customers, it is necessary to improve the delivery process in small

batches. Not all transport companies have the capacity to full the rolling stock fleet with trucks of lower load capacity. Therefore, one of the solutions to optimize cargo deliveries can be the consolidation of goods deliveries [10–13] with different nomenclature positions in a single vehicle. This solution will allow to use rolling stock efficiently, and to deliver goods in the required for customers volume, corresponding to the final consumers demand, which in turn will reduce the total logistics costs.

On water transport, a method was developed to determine the unit loading volume of cargoes and the number of units of cargoes of two nomenclature positions to improve the efficiency of vehicle cargo space using. The efficiency of vehicle exploitation depends on the utilization degree of cargo capacity (by volume) and load capacity (by weight).

A complex indicator that characterizes the efficiency of vehicle usage in terms of volume and weight is the unit cargo capacity. This indicator is fundamental in the tariff rates formation for small shipments transportations.

In addition to the compatibility of transported cargoes of different nomenclature items, the efficiency of vehicle using depends on the volume and weight goods characteristics. The main cargo characteristic is the unit loading volume that shows the average volume of one ton of cargo in a vehicle. It is this characteristic that determines whether the load is heavy (full load capacity use) or light (partial load capacity use) for the certain vehicle.

The purpose of this method is to determine the unit loading volume of cargoes and the number of units of transported goods in two nomenclature items for a particular vehicle.

In accordance with the transport characteristics of cargo spaces (loading capacity – weight and cargo capacity – volume) and load unit (dimensions, gross weight) there is determined the unit volume of the vehicle and load unit. The further calculated stacking coefficient on water transport takes into account the use of a cargo space that differs from a parallelepiped (i.e., the space between the cargo and the walls of the cargo space is additionally considered). This factor for palleted cargoes delivery by motor vehicles can be neglected, as discussed cargo in the integrated cargo units is approximated to the form of a parallelepiped, as the vehicle itself, i.e., cargo shape coefficient can be taken equal to one.

Comparing the unit loading volumes of cargoes and the vehicle allows determining which one of the two cargoes is heavy and which is light. Setting up a system of equations for load capacity and cargo capacity of the vehicle allows determining load of two types of cargoes.

The algorithm for calculating the effective cargo space use in a vehicle is shown in Fig. 1.

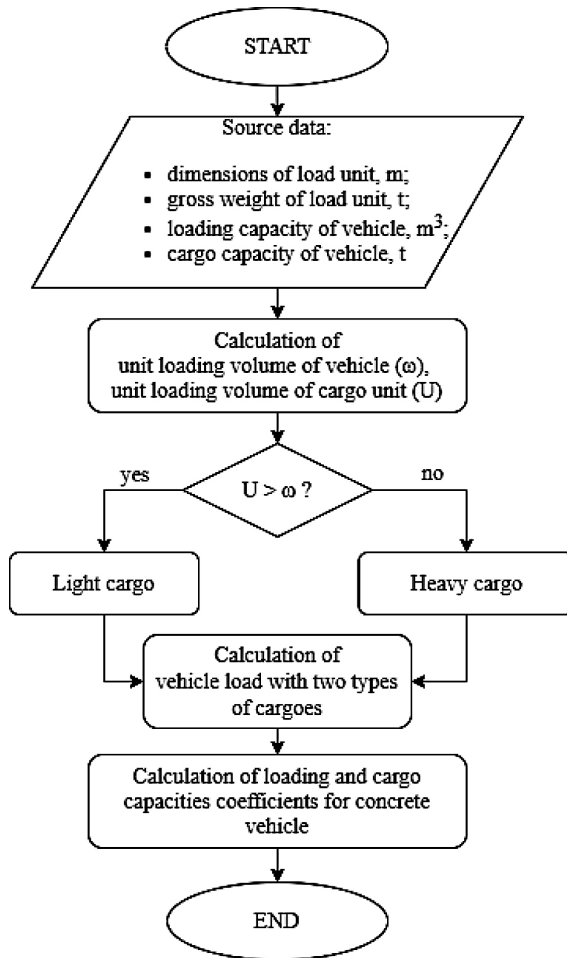


Fig. 1. Algorithm for efficient vehicle usage

Determining the optimal loading of a particular vehicle with cargoes of different nomenclature positions (using the method used in water transport) can also be used in road transport, taking into account adjustments. As the carriage of goods in small consignments may require a vehicle load cargoes with more than two nomenclature items, it is necessary to upgrade the approach with the possibility of loading goods of more than two items.

References

1. Malikov O.B. Sklady i gruzovye terminaly v tsepyakh postavok [Warehouses and cargo terminals in supply chains]. *Russian Journal of Logistics & Transport Management*. 2015. Vol. 2. №2, pp. 3–7.
2. Lutsenko E.A. Rol' avtomobil'nogo transporta v obsluzhivanii khabov [The role of automobile transport in hubs service]. *International Journal of Advanced Studies*. 2015. Vol. 5 №3, pp. 50–54.
3. Domnina S.V., Fedorenko A.I. Razvitie rynka transportno-logisticheskikh uslug v stranakh Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza [Development of the transport and logistics services market in the countries of the Eurasian economic Union]. *Logistika segodnja*. 2014. Vol. 66. №06, pp. 344–361.
4. Terentyev Yu.A., Filimonov V.V., Malinetskiy G.G., Smolin V.S., Koleodov V.V., Suslov D.A., Karpukhin D.A., Mashirov A.V., Shavrov V.G., Fongratowski S.V., Kovalev K.L., Ilyasov R.I., Poltavets V.N., Levin B.A., Davydov A.M., Koshkidko Yu.S., Kurenkov P.V., Karapetyants I.V., Kryukov P.V., Drozdov B.V., Kraposhin V.S., Semenov M.Yu., Nizhelskiy N.A., Solomin V.A., Bogachev V.A., Fomin V.M., Nalyvaichenko D.G., Bogachev T.V., Tochilo V.V. Integrirovannaya tranzitno-transportnaya sistema (ITTS) Rossii na osnove vakuumnogo magnitno-levitatsionnogo transporta (VMLT) [Russia integrated transit transport system (ITTS) based on vacuum magnetic levitation transport (VMLT)]. *Transportnye sistemy i tekhnologii* [Transportation Systems and Technology]. 2018. Vol. 4. №3 suppl. 1, pp. 57–84. DOI: 10.17816/transsyst201843s157-84.
5. Shcherbinina L.Ju., Peres'ko Ju.A. Obzor metodik po otsenke indeksov delovoy aktivnosti [Review of techniques for the evaluation of the in-

- dex of business activity]. *Voprosy ekonomiki i upravleniya*. 2016. Vol. 3. №1, pp. 52–55.
6. Natsypaeva Ye A. Analiz sushchestvuyushchikh podkhodov k otsenke delovoy aktivnosti predpriyatiya [Overview of existing approaches to business activity of enterprise assessment]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo social'no-jeconomicheskogo universiteta*. 2011. №3, pp. 85–87.
 7. Nahmias S. Sistemy skoroportyashchikhsya zapasov [Perishable Inventory Systems]. *International Series in Operations Research & Management Science*. 2011. 96 pp. DOI: 10.1007/978-1-4419-7999-5.
 8. Bochkarev P.A. *Metodika rascheta pokazateley nadezhnosti v tsepyakh postavok* [Managing supply chain reliability in supply logistics]. PhD thesis, NIU VShJe. 2015. St. Petersburg.
 9. Sviridova V.V., Kudryashova T.V. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya zapasami na torgovom predpriyatii [Improvement of the inventory management system at the trade enterprise]. *BENEFICIUM*. 2019. Vol. 30. №1, pp. 35–52.
 10. Nagorniye Ye., Naumov V., Shulika O. Model' vybora optimal'noy mezhdugorodnoy skhemy dostavki upakovannykh gruzov s ispol'zovaniem avtomobil'nogo transporta [The model for selecting the optimal intercity scheme for packaged cargo delivery with the use of road transport]. *Avtomobil'nyy transport*. 2014. №35, pp. 110–115.
 11. Aleksejevs R., Guseinovs R., Medvedev A.N., Guseynov Sh.E. Model' perevozki sbornyykh gruzov [Groupage cargo transportation model]. *Transport and Telecommunication*. 2016. Vol. 17. No. 1, pp. 60–72. DOI: 10.1515/ttj-2016-0007.
 12. Bakulich O.O., Musatenko O.V., Samojlenko E.S. Analiz pokazateley effektivnosti raspredelitel'noy sistemy dostavki gruzov [Analysis of the efficiency indicators of cargo delivery distribution system]. *Tekhnologicheskyy audit i rezervy proizvodstva* [Technology audit and production reserves]. 2016. Vol. 29. №3/2, pp. 40–44. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.71550.
 13. Liotta G., Stecca G., Kaihara T. Optimizatsiya gruzopotokov i snabzheniya v ustoychivyykh proizvodstvennykh i transportnykh setyakh

[Optimisation of freight flows and sourcing in sustainable production and transportation networks]. *International Journal of Production Economics*. 2015. №164, pp. 351–365.

Список литературы

1. Маликов О.Б. Склады и грузовые терминалы в цепях поставок // *Russian Journal of Logistics & Transport Management*. 2015. №2(2). С. 3–7.
2. Луценко Е.А. Роль автомобильного транспорта в обслуживании хабов // *International Journal of Advanced Studies*. 2015. №3 (5). С. 50–54.
3. Домнина С.В. Развитие рынка транспортно-логистических услуг в странах Евразийского экономического союза / Домнина, С.В., Федоренко, А.И. // *Логистика сегодня*. 2014. №06 (66). С. 344-361.
4. Терентьев, И.А., Филимонов, В.В., Малинецкий, Г.Г. и др. Интегрированная транзитно-транспортная система (ИТТС) России на основе вакуумного магнитно-левитационного транспорта (ВМЛТ) // *Транспортные системы и технологии*. 2018. Т. 4. №3 прилож. 1. С. 57-84. DOI: 10.17816/transsyst201843s157-84
5. Щербинина Л.Ю. Обзор методик по оценке индексов деловой активности / Щербинина, Л.Ю., Пересько, Ю.А. // *Вопросы экономики и управления: научный журнал*. 2016. №3.1. С. 52–55.
6. Нацыпаева Е.А. Анализ существующих подходов к оценке деловой активности предприятия // *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*. 2011. №3. С. 85–87.
7. Намиас С. Системы скоропортящихся запасов // *International Series in Operations Research & Management Science*. 2011. 96 с. DOI: 10.1007/978-1-4419-7999-5.
8. Бочкарев П.А. Методика расчета показателей надежности в цепях поставок: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / П.А. Бочкарев; НИУ ВШЭ. СПб., 2015.
9. Свиридова В.В., Кудряшова Т.В. Совершенствование системы управления запасами на торговом предприятии // *BENEFICIUM*. 2019. №1 (30). С. 35–52.

10. Нагорный Е., Наумов В., Шулика О. Модель выбора оптимальной междугородной схемы доставки упакованных грузов с использованием автомобильного транспорта // Автомобильный транспорт. 2014. №35. С. 110–115.
11. Алексеев Р. Модель перевозки сборных грузов / Алексеев Р., Гусейнов Р., Медведев А.Н., Гусейнов Ш.Е. // Transport and Telecommunication. 2016. №1 (17). С. 60–72. DOI: 10.1515/tjt-2016-0007.
12. Бакулич О.О., Мусатенко О.В., Самойленко Е.С. Анализ показателей эффективности распределительной системы доставки грузов // Технологический аудит и резервы производства. 2016. №3/2 (29). С. 40–44. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.71550.
13. Лиотта Г. Оптимизация грузопотоков и снабжения в устойчивых производственных и транспортных сетях / Лиотта Г., Стежка Г., Кайхара Т. // International Journal of Production Economics. 2015. №164. С. 351–365.

DATA ABOUT THE AUTHOR

Lutsenko Elizaveta Aleksandrovna, Assistant Professor «Motor transportations»

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russian Federation

elutsenko07@gmail.com

SPIN-code: 4142-2781

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Луценко Елизавета Александровна, старший преподаватель кафедры «Автомобильные перевозки»

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Ленинградский проспект, 64, Москва, 125319, Российская Федерация

Федерация

elutsenko07@gmail.com

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-1-35-49

УДК 629.13

АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КУЗОВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

*Аблаев Р.Р., Аблаев А.Р.,
Абрамова Л.С., Ксенофонтова В.А.*

В настоящее время существует множество различных методов определения скорости движения транспортного средства в момент столкновения. В условиях ограниченных исходных данных для экспертов, таких как следы колес на проезжей части в условиях места происшествия, наиболее оптимальным методом является метод определения скорости автомобиля в момент столкновения, основанный на учете затрат кинетической энергии на деформацию элементов и деталей автомобилей. В связи с чем, статья посвящена проблеме анализа остаточных деформаций в элементах кузова автомобиля при определении скорости его движения в момент столкновения. Проведен анализ различных видов остаточных деформаций и методов их оценки. Предложен метод прямого интегрирования для анализа остаточных деформаций в элементах кузова легкового автомобиля, поскольку он наиболее точно отражает всю механику образования деформаций кузова и на уровне низкой трудоемкости. Этот фактор является одним из важных при выборе методики исследования обстоятельств дорожно-транспортного происшествия. Предложенная методика показывает наименьшую погрешность вычислений при определении скорости движения автомобилей в момент столкновения.

Цель – разработать и обосновать модель учета затрат кинетической энергии на деформацию конструктивных элементов кузова легкового автомобиля при определении его скорости движения в момент столкновения на основании анализ остаточных

деформаций в элементах кузова автомобиля методом прямого интегрирования.

Метод или методология проведения работы: в статье использовались системный подход, методы анализа и математического моделирования.

Результаты: предложенная в работе методика дает возможность на стадии исследования обстоятельств дорожно-транспортного происшествия определить скорость движения автомобилей в момент столкновения по их деформациям, которая более полно учитывает все затраты кинетической энергии на механизм деформирования сложных кузовных элементов, имеющих ребра, гофры и другие элементы, повышающие их жесткость при изгибе.

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять в экспертной практике исследования обстоятельств и механизма дорожно-транспортного происшествия при определении скорости движения автомобилей в момент столкновения.

Ключевые слова: энергия; деформация; напряженное состояние; автомобиль; скорость движение; столкновение.

ANALYSIS OF RESIDUAL DEFORMATIONS IN CAR BODY ELEMENTS BY DIRECT INTEGRATION METHOD

*Ablaev R.R., Ablaev A.R.,
Abramova L.S., Ksenofontova V.A.*

Currently, there are many different methods to determine the speed of a vehicle at the time of collision. Under the conditions of limited initial data for experts, such as wheel tracks on the roadway at the scene of an accident, the best method is to determine the speed of a car at the time of collision, based on the amount of kinetic energy spent for the deformation of elements and parts of cars. In this regard, the article is devoted to the problem of analysis of residual deformations in the

elements of the car body when determining the speed of its movement at the moment of collision. The analysis of various types of residual deformations and methods of their estimation is carried out. The method of direct integration for the analysis of residual deformations in the elements of the car body is proposed, since it most accurately reflects the entire mechanics of the deformation process for the car body at the low level of labor intensity. This factor is one of the most important when choosing a method for investigating the circumstances of a road accident. The proposed method shows the smallest error of calculations when determining the speed of cars at the moment of collision.

The research purpose is to develop and justify a model for accounting for the cost of kinetic energy for the deformation of structural elements of the car body when determining its speed at the moment of collision based on the analysis of residual deformations in the elements of the car body by direct integration.

Methodology the article uses a systematic approach, methods of analysis and mathematical modeling.

Results: the proposed method allows at the stage of investigation of traffic accidents to determine the speed of the vehicle at the time of collision in their deformations, which more fully accounts for all costs kinetic energy for the deformation mechanism of complex body elements having ribs, corrugations, and other elements, which increase the bending stiffness.

Practical implications: the obtained results should be used in expert practice to study the circumstances and mechanism of a traffic accident when determining the speed of cars at the time of a collision.

Keywords: energy; strain; stress state; car; speed movement; collision.

Постановка проблемы

В последнее время наблюдается значительный рост эксплуатируемых транспортных средств в мире, что обуславливает повышение в геометрической прогрессии количества дорожно-транспортных происшествий. При этом, современные транспортные средства характеризуются высокими значениями средней скоро-

сти эксплуатации, что оказывает влияние на повышение количества происшествий с тяжкими последствиями. Одним из способов профилактики наступления дорожно-транспортного происшествия является вынесение объективного наказания правонарушителям, что зачастую невозможно без объективного анализа обстоятельств дорожно-транспортного происшествия и установления фактических значений скоростей движения транспортных средств в момент столкновения [1, 2].

Существуют множество различных математических моделей, которые позволяют установить значение скорости движения транспортных средств в момент столкновения [1, 10, 13], однако для их использования в экспертной практике необходимы дополнительные данные о следах, которые остались на месте происшествия и которые, к сожалению, не всегда корректно фиксируют в первичных документах. Этот факт исключает возможность использования классических методов исследования и требует непосредственной оценки и анализа остаточных деформаций кузовных элементов транспортных средств, при определении скорости движения этих автомобилей в момент столкновения.

Цель статьи – разработать и обосновать модель учета затрат кинетической энергии на деформацию конструктивных элементов кузова легкового автомобиля при определении его скорости движения в момент столкновения на основании анализ остаточных деформаций в элементах кузова автомобиля методом прямого интегрирования.

Изложение основного материала

Для обоснования косвенных методов анализа рассмотрим ряд задач для пластически деформируемых элементов конструкции легкового автомобиля, при этом в качестве основной меры деформации будем принимать энергию деформации или эквивалентную ей работу. Рассмотрим одномерный случай. Пусть элемент конструкции имеет первоначальную длину l_0 и площадь поперечного сечения F_0 (рисунок 1) [5].

Под действием усилия P на i -м шаге деформации длина элемента уменьшится на величину dl_i , тогда приращение работы деформирования будет равно (1) [3]:

$$dA_{di} = P dl_i. \tag{1}$$

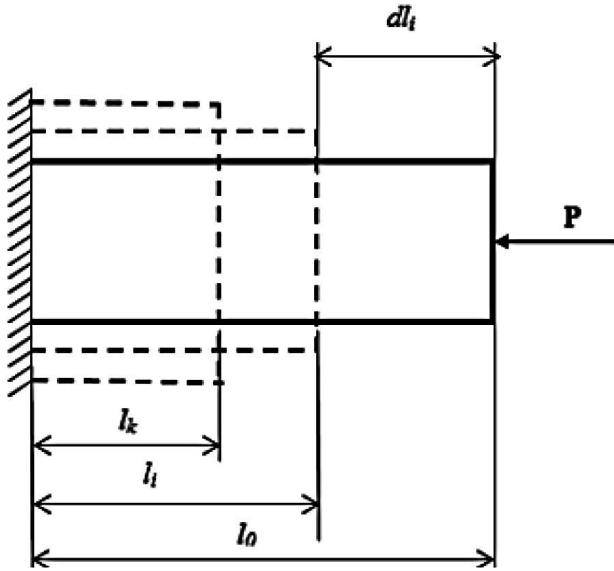


Рис. 1. Одномерная пластическая деформация элемента конструкции

В момент, когда элемент конструкции будет находиться в конечном состоянии l_k , полная работа деформирования будет равна (2):

$$A_d = \int_{l_0}^{l_k} P dl. \tag{2}$$

С учетом знака работы поменяем пределы интегрирования (3):

$$A_d = \int_{l_k}^{l_0} P dl. \tag{3}$$

Если усилие P представить как распределенное q_{cp} по площади F_0 , а площадь F_0 выразить через объем V_0 (4)

$$F_0 = \frac{V_0}{l_0}. \tag{4}$$

Тогда интеграл (3) можно записать в виде (5):

$$A_o = V_0 q_{cp} \int_l^{l_0} \frac{dl}{l}. \quad (5)$$

В выражении (5) объем V_0 вынесен за знак интеграла, так как при пластических деформациях объем тела не меняется [7, 12]. Среднее давление q_{cp} на поверхности контакта также выносится за знак интеграла, так как согласно теореме о среднем в теории пластичности [3, 14], давление на поверхности пластически деформируемого тела принимается равным q_{cp} с высокой степенью точности.

Выполняя интегрирование, получим (6):

$$A_o = V_0 \sigma_s \ln \frac{l_0}{l}. \quad (6)$$

При больших деформациях среднее давление q_{cp} достигает предела текучести и тогда работа деформирования в одномерном случае может быть определена с помощью выражения (7):

$$A_o = \sigma_s V_0 \ln \frac{l_0}{l}, \quad (7)$$

где σ_s – напряжение текучести материала, при этом упругая составляющая энергии деформации составит $A_y = \frac{1}{2} q_{cp} \Delta l$.

Рассмотрим двумерный случай деформации. После прекращения действия активных сил, вызвавших пластическую деформацию в теле, форма тела будет изменена [3, 4, 5, 6]. Характерный пример двумерной пластической деформации представлен на рисунке 2.

Под действием более жесткого тела I, в деформируемом теле II возникли пластические (остаточные) напряжения, поле распространения которых характеризуется линиями скольжения O'C, O'D и так далее. Вдоль линий скольжения касательные напряжения достигают максимума и материал течет. Известно [6, 8, 11, 12], что вдавливание I в II вызывает распространение пластических деформаций на следующие расстояния (8):

$$AC = BD = 2a. \quad (8)$$

Линии O'C и O'D представляют собой полуокружности с радиусом $2a$. Энергия деформации для этой схемы может быть вычислена по формуле (9):

$$\mathcal{E}_o = A_o = 2(\pi + 2)\sigma_s ah, \tag{9}$$

где σ_s – напряжение текучести;

h – глубина внедрения.

В случае, если деформирующее тело имеет не плоскую форму, а например, сферическую (рисунок 3), то работу деформации следует вычислять с помощью выражения (10) [9, 12]:

$$A = \int_h^{h_o} P dh, \tag{10}$$

где усилие P вычисляется по формуле (11):

$$P = \iint \sigma_n dF. \tag{11}$$

Для случая сферы (12):

$$\sigma_n = \sigma_s \left(1 + \frac{\pi}{2} - \gamma \right). \tag{12}$$

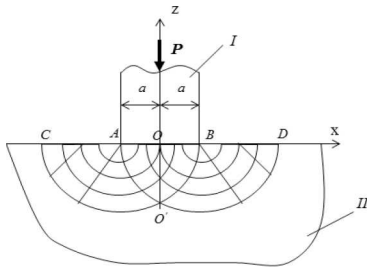


Рис. 2. К определению зоны пластической деформации в деформируемом твердом теле

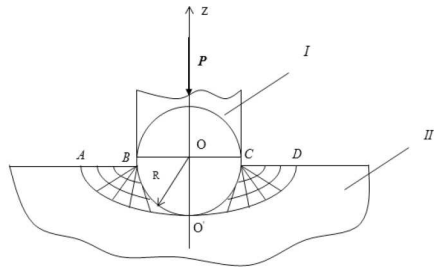


Рис. 3. Пластическое деформирование мягкой стали сферическим твердым телом

Большой интерес представляет задача анализа пластических деформаций при изгибе элементов конструкции из листовой стали, таких как внешние панели кузова, капот, крышка багажника, и др. Обозначим через R_I и R_{II} радиусы внутренней и наружной поверхностей изгибаемого листа (рисунок 4).

В результате изгиба лист получил деформацию, характеризуемую углом изгиба $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$, при этом радиусы точек внутренней и наружной поверхностей стали r_1 и r_2 . Возникающие при этом пластические деформации зависят от угла φ и могут быть определены по формуле (13):

$$\varepsilon_t = \frac{r_1 \varphi - l_0}{l_0}, \quad (13)$$

где l_0 – ширина изгибаемого элемента.

При разгрузке изогнутого листа окончательный радиус срединной поверхности $r_{ост}$ определится из выражения (14)

$$\frac{1}{r_{ост}} = \frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_{разг}}, \quad (14)$$

где $r_{разг}$ – радиус упругой разгрузки (15):

$$\frac{1}{r_{разг}} = \frac{M}{EJ}, \quad (15)$$

где M, E, J – характеристики упругого изгиба.

Внешние панели, изготовленные из листового материала в виде пластин, при действии сжимающей нагрузки (рисунок 5), обычно теряют устойчивость [11, 12, 14].

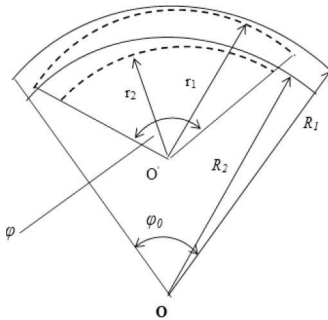


Рис. 4. Пластический изгиб стального листа

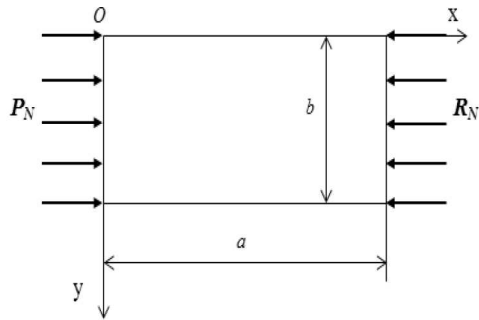


Рис. 5. К определению критической сжимающей силы для деталей типа пластин

Последующее деформирование не требует дополнительных затрат энергии и ими можно пренебречь. Действие сжимающей силы P_N и равной ей реакции R_N определяется из уравнения устойчивости (16):

$$\nabla^2 \nabla^2 u_z = -\frac{P_N}{D} \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2}, \quad (16)$$

где u_z – прогиб пластины;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} - \text{цилиндрическая жесткость};$$

h – толщина пластины;

E, ν – характеристики материала.

Минимальное значение силы P_N , при которой пластина быстро изогнется, определяется интегрированием (17):

$$P_N = \frac{\pi^2 D \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)}{\frac{m^2}{a^2}}. \tag{17}$$

Если деформированная плоская панель имеет более одной полуволны изгибной деформации, то в (17) следует определить m из выражения (18):

$$\mu = \sqrt{m^2 + m}, \tag{18}$$

где $\mu = \sqrt{2}$ – при изгибе в виде двух полуволн, $\mu = \sqrt{6}$ – три полуволны и так далее.

Энергия, затраченная на деформацию такого элемента конструкции, будет равна работе силы P_N (19):

$$\mathfrak{E}_\partial = A_\partial = \frac{1}{2} P_N \Delta x, \tag{19}$$

где $\Delta x = \text{arc sin } \frac{m\pi x}{a}$.

Автомобильные панели пола и внешние обычно имеют ребра, гофры и другие элементы, повышающие их жесткость при изгибе. Такие элементы конструкции продолжают сопротивляться действию внешних сил и после потери устойчивости, при этом возникают большие деформации [9]. Для анализа таких случаев была рассмотрена задача деформации пластины произвольного переменного профиля (20):

$$h = f(x, y). \tag{20}$$

Для учета возникающих больших деформаций были выведены модифицированные уравнения Кармана [9] (21):

$$\begin{cases} \nabla^2 \nabla^2 F = L_1(h, w, x, y) \\ \nabla^2 \nabla^2 W = L_2(h, F, w, x, y) \end{cases} \tag{21}$$

где L_1 и L_2 – дифференциальные операторы;

F – функция напряжений;

h – толщина пластины.

Решая эти модифицированные уравнения Кармана совместно, возможно получить уравнения для определения нормальных и касательных напряжений, действующих в срединной плоскости панели пола автомобиля.

Выводы

Предложенная в работе методика дает возможность на стадии исследования обстоятельств дорожно-транспортного происшествия определить скорость движения автомобилей в момент столкновения по их деформациям, которая более полно учитывает все затраты кинетической энергии на механизм деформирования сложных кузовных элементов, имеющих ребра, гофры и другие элементы, повышающие их жесткость при изгибе. Это дает возможность усовершенствовать математическую модель определения скорости движения автомобилей в момент столкновения по их остаточным повреждениям.

Перспективой дальнейших исследования является адаптация предложенных модифицированных уравнений Кармана в общую математическую модель определения скорости движения транспортного средства по его остаточным деформациям, предложенных в работе и практическая апробация усовершенствованной модели при исследовании дорожно-транспортного происшествия.

Список литературы

1. Аблаев Р.Р. Современные возможности исследования технической состоятельности данных, полученных в процессе следственного эксперимента при наездах на пешеходов / Р.Р. Аблаев, А.Р. Аблаев, В.А. Ксенофонтова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. Т. 61, № 1. С. 91–97. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61). 91–97.
2. Аблаев Р.Р. Постановка задачи оптимальной ресурсоэффективной компоновки механизированных объектов / Р.Р. Аблаев, А.Р. Аблаев //

- Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. №1 (339). С. 70–74. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-339-1-70-74.
3. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов. М: Высш. шк., 1990. 398 с.
 4. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 542 с.
 5. Ветрогон А.А. Уточнение количества энергии поглощенной кузовом автомобиля при ДТП / А.А. Ветрогон // Вестник СевНТУ №152, 2014. С. 134–136.
 6. Гольчевский В.Ф. Экспертное исследование прочностных свойств кузовов транспортных средств, подвергшихся конструктивным изменениям: монография / В.Ф. Гольчевский, Н.Ю. Жигалов, Н.Ю. Гольчевская. Иркутск: ФГКОУ ВПО ВСИ МВД РФ, 2015. С. 56–69.
 7. Falaleev A.P. Lifelong modelling of properties for materials with technological memory / A.P. Falaleev, V.V. Meshkov // AV IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. N 153 (2016).
 8. Niemer M., Barrho J. Observer design for road gradient estimation // Reports in Industrial Information Technology, Vol.7, Shaker Verlag, Aachen: pp. 23–30, 2004.
 9. Кирсанов А.Р. Оптимизация прочности каркаса салона автомобиля при фронтальном ударе с использованием программного обеспечения решения задач линейной статики / А.Р. Кирсанов, С.К. Хализов, С.А. Курдюк, Е.О. Иванов, В.А. Овчинников // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. Конструирование и технология. М.: МГТУ, 2005. №3. С. 119–126.
 10. Ксенофонтова В.А. Методика определения скорости движения транспортного средства в момент столкновения по остаточным деформациям элементов конструкции / В.А. Ксенофонтова, А.Р. Аблаев, Р.Р. Аблаев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4-1 (336). С. 130–134. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39217127> (дата обращения 08.04.2020).
 11. Nurkhaliesa Balqis Hamzah, Halim Setan and Zulkepli Majid Reconstruction of traffic accident scene using close-range photogrammetry technique // Geoinformation Science Journal, Vol. 10, No. 1, 2010, pp. 17–37.

12. Огородников В.А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы): монография / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О. Сивак. Винница, 2005. 204 с.
13. Совершенствование методов автотехнической экспертизы при дорожно-транспортных происшествиях [Текст]: монография / В.П. Волков, В.А. Ксенофонтова, В.Н. Торлин и др. Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2010. 476 с.
14. Becker T., Reade M., and Scurlock B. Simulations of Pedestrian Impact Collisions with Virtual CRASH 3, Accident Reconstruction Journal, Vol. 26, No. 2, 2016, <http://arxiv.org/abs/1512.00790>.
15. Теребушко О.И. Основы теории упругости и пластичности / О.И. Теребушко. М.: Наука, 1984. 320 с.

References

1. Ablaev R.R., Ablaev A.R., Ksenofontova V.A. Sovremennye vozmozhnosti issledovaniya tekhnicheskoy sostoyatel'nosti dannyh, poluchennyh v processe sledstvennogo eksperimeta pri naezdah na peshekhodov [Modern possibilities of studying the technical consistency of data obtained in the course of an investigative experiment when hitting pedestrians]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* [Modern technology. System analysis. Modeling]. 2019. V. 61, № 1, pp. 91–97. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61). 91–97.
2. Ablaev R.R., Ablaev A.R. Postanovka zadachi optimal'noj resursoeffektivnoj komponovki mekhanizirovannyh ob'ektov [Setting the problem of optimal resource-efficient layout of mechanized objects]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology]. 2020. №1 (339), pp. 70–74. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-339-1-70-74.
3. Aleksandrov A.V., Potapov V.D. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. 1990. 398 p.
4. Vasidzu K. *Variacionnye metody v teorii uprugosti i plastichnosti* [Variational methods in the theory of elasticity and plasticity]. 1987. 542 p.
5. Vetrogon A.A. Utochnenie kolichestva energii pogloshchennoj kuzovom avtomobilya pri DTP [Specification of the amount of energy

- absorbed by the car body in an accident]. *Vestnik SevNTU* [Bulletin of SevNTU]. №152. 2014, pp. 134–136.
6. Gol'chevskij V.F., Zhigalov N.Yu., Gol'chevskaya N.Yu. *Ekspertnoe issledovanie prochnostnykh svojstv kuzovov transportnykh sredstv, podvergshihsia konstruktivnym izmeneniyam* [Expert study of the strength properties of vehicle bodies that have undergone structural changes]. 2015, pp. 56–69.
 7. Falaleev A.P., Meshkov V.V. Lifelong modelling of properties for materials with technological memory. *AV IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. No. 153 (2016).
 8. Hiemer M., Barho J. Observer design for road gradient estimation. *Reports in Industrial Information Technology*, Vol.7, Shaker Verlag, Aachen: pp. 23–30, 2004.
 9. Kirsanov A.R., Halizov S.K., Kurdyuk S.A., Ivanov E.O., Ovchinikov V.A. Optimizaciya prochnosti karkasa salona avtomobilya pri frontal'nom udare s ispol'zovaniem programmnoho obespecheniya resheniya zadach linejnoy statiki [Optimization of the strength of the car interior frame during a frontal impact using software for solving linear static problems]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. "Priborostroenie". Konstruirovaniye i tekhnologiya* [Bulletin of the Bauman Moscow state technical University. Ser. "Instrument making". Design and technology]. 2005. №3, pp. 119–126.
 10. Ksenofontova V.A., AblaeV A.R., AblaeV R.R. Metodika opredeleniya skorosti dvizheniya transportnogo sredstva v moment stolknoveniya po ostatochnym deformaciya elementov konstrukcii [Method of determining the speed of a vehicle at the moment of collision by residual deformations of structural elements]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology]. 2019. № 4-1 (336), pp. 130–134.
 11. Nurkhaliesha Balqis Hamzah, Halim Setan and Zulkepli Majid Reconstruction of traffic accident scene using close-range photogrammetry technique. *Geoinformation Science Journal*, Vol. 10, No. 1, 2010, pp. 17–37.

12. Ogorodnikov V.A., Kiselev V.B., Sivak I.O. *Energiya. Deformacii. Razrushenie (zadachi avtotekhnicheskoy ekspertizy)* [Energy. Deformations. The destruction of (the problems of autotechnical expert appraisal)] 2005. 204 p.
13. Volkov V.P., Ksenofontova V.A., Torlin V.N. *Sovershenstvovanie metodov avtotekhnicheskoy ekspertizy pri dorozhno-transportnyh proisshestviyah* [Improving the methods of auto technical expertise in road accidents]. 2010. 476 p.
14. Becker T., Reade M., and Scurlock B. Simulations of Pedestrian Impact Collisions with Virtual CRASH 3, *Accident Reconstruction Journal*, Vol. 26, No. 2, 2016, <http://arxiv.org/abs/1512.00790>.
15. Terebushka O.I. *Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity*. 1984. 320 p.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Аблаев Ремзи Рустемович, доцент кафедры «Экономика предприятия», кандидат экономических наук, судебный эксперт
Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
ablaev.expert@mail.ru

Аблаев Алим Рустемович, доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», кандидат технических наук
Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
alim_ablaev@mail.ru

Абрамова Лариса Сергеевна, доцент кафедры «Экономика предприятия», кандидат экономических наук
Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
ablaev.expert@mail.ru

Ксенофонтова Виктория Анатольевна, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», кандидат технических наук, судебный эксперт
Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
vaksenofontova.v@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ablaev Remzi Rustemovich, associate Professor of the Department of enterprise Economics, Candidate of Economic Sciences, forensic expert
Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
ablaev.expert@mail.ru

Ablaev Alim Rustemovich, associate Professor of the Department “power Installations of marine vessels and structures”, Candidate of Technical Sciences
Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
alim_ablaev@mail.ru

Abramova Larisa Sergeevna, associate Professor of the Department of enterprise Economics, Candidate of Economic Sciences
Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
ablaev.expert@mail.ru

Ksenofontova Viktoriya Anatolievna, associate Professor of the Department of Automobile transport, Candidate of Technical Sciences, forensic expert
Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
vaksenofontova.v@gmail.com

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-1-50-66

УДК 656.13

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ЭКОЛОГИЮ

Рагимов Э.А.

Часто считается, что электромобили являются важным средством сокращения выбросов парниковых газов и энергопотребления в глобальном транспорте, особенно для автомобильного пассажирского транспорта.

Целью данной статьи является изучение относительного использования энергии и выбросов парниковых газов электромобилей по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания. Сравнение энергоэффективности, а также сравнение выбросов парниковых газов были использованы в качестве методов в данной статье. Сравнения энергоэффективности осложняются противоречивыми методами, используемыми для первичных источников электроэнергии, таких как гидро, солнечная энергия или энергия ветра.

В этой статье пересматривается степень, в которой электромобили могут эффективно решать проблемы глобального изменения климата и истощения запасов ископаемого топлива.

Более того, в статье утверждается, что сравнение электромобилей и транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания намного сложнее, чем общепризнано. Неопределенности возникают как при использовании первичной энергии, так и при расчете выбросов парниковых газов.

В целом, должен быть сделан вывод о том, что выгоды от использования электромобилей для энергии и парниковых газов меньше, чем обычно предполагается.

Только когда во взаимосвязанных энергосистемах преобладают возобновляемые источники энергии, будет безопасно заявлять о превосходстве электромобилей.

Ключевые слова: выбросы углерода; электрические транспортные средства; энергоэффективность; хранилище энергии; эффективность перелива.

IMPACT OF ELECTRIC CARS ON THE ECOLOGY

Rahimov E.A.

It is frequently believed that electric cars are an important means of reducing greenhouse gas emissions and energy consumption in global transport, especially for passenger automobile transport.

The purpose of this paper is to study the relative energy usage and greenhouse gas emissions of electric vehicles compared to cars with an internal combustion engine.

A comparison of energy efficiency as well as a comparison of greenhouse gas emissions were used as methods in this paper.

Energy efficiency comparisons are complicated by conflicting methods used for primary sources of electricity, such as hydro, solar, or wind.

This paper reviews the extent to which electric cars can effectively address global climate change and fossil fuel depletion.

Moreover, the paper proves that comparing electric vehicles and vehicles with an internal combustion engine is much more complicated than generally accepted.

Uncertainties arise both when using primary energy and when calculating greenhouse gas emissions.

In general, it must be concluded that the benefits of using electric vehicles for energy and greenhouse gases are less than usually expected.

Only when renewable energy prevails in interconnected energy systems, it will be safe to claim the superiority of electric vehicles.

Keywords: *carbon emissions; electric cars; energy efficiency; energy storage; spillover effects.*

Введение

Глобальный транспорт является как основным потребителем мировой добычи нефти, так и основным источником выбросов парниковых газов, в частности, от углекислого газа (CO₂).

Таким образом, сокращение как потребления энергии, так и выбросов парниковых газов на транспорте может сыграть важную

роль в решении глобальных проблем истощения запасов ископаемого топлива (особенно нефти) и изменения климата, с которыми сталкивается мир.

Таблица 1.

Номенклатура

CH ₄ метан
CO ₂ углекислый газ
CO ₂ -экв эквивалента углекислого газа
N ₂ O закись азота

Электрические транспортные средства, в данном случае включающие электромобили с полным аккумулятором, а также гибридные электромобили с подключаемым модулем, часто рассматриваются в качестве важного средства решения обеих проблем [1]. Кроме того, они помогают уменьшить загрязнение воздуха в городах. Другие исследователи [2–4] утверждают, что существенные барьеры для внедрения электромобилей остаются из-за множества социальных и технических барьеров. Ма и др. [5] сравнили выбросы парниковых газов от электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания на основе полного жизненного цикла для калифорнийских и британских сетей. Как и ожидалось, они обнаружили, что электромобили сравнительно лучше работали в Калифорнии, чем в Великобритании, из-за менее интенсивного использования ископаемого топлива.

Кроме того, они обнаружили, что рабочие характеристики электромобилей улучшились в условиях низких скоростей в городских условиях и что затраты на производство парниковых газов при производстве автомобилей были выше, чем при производстве автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, главным образом из-за производства аккумуляторов.

Онат и др. [1] провели анализ энергии и парниковых газов для каждого штата США для автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, электромобилей и гибридных электромобилей. Они

обнаружили, что как у электромобилей, так и у гибридов потребление энергии в течение полного жизненного цикла было ниже, чем у автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в целом по США, а также более низкие выбросы углерода. Однако гибриды были превосходны электромобилям для потребления энергии почти во всех штатах.

Наконец, Хокинс и соавторы [6] резюмировали свои выводы следующим образом: «Мы находим, что электрические транспортные средства, работающие на существующей европейской структуре электроснабжения, обеспечивают снижение потенциала глобального потепления на 10–24% по сравнению с обычными дизельными или бензиновыми транспортными средствами, предполагающими срок службы 150 000 км.

Тем не менее, электромобили демонстрируют потенциал значительного увеличения токсичности для человека, экотоксичности для пресной воды, эвтрофикации пресной воды и воздействия истощения металлов, что в значительной степени связано с цепочкой поставок транспортных средств. Результаты чувствительны к предположениям об источнике электроэнергии, потреблении энергии на этапе использования, сроке службы транспортного средства и графиках замены аккумулятора».

Целью данной статьи является изучение относительного использования энергии и выбросов парниковых газов электромобилей по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания. Сравнение энергоэффективности, а также сравнение выбросов парниковых газов были использованы в качестве методов в данной статье. Сравнения энергоэффективности осложняются противоречивыми методами, используемыми для первичных источников электроэнергии, таких как гидро, солнечная энергия или энергия ветра.

Более того, в статье утверждается, что сравнение электромобилей и транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания намного сложнее, чем общепризнано. Неопределенности возникают как при использовании первичной энергии, так и при расчете выбросов парниковых газов.

В целом, должен быть сделан вывод о том, что выгоды от использования электромобилей для энергии и парниковых газов меньше, чем обычно предполагается.

Только когда во взаимосвязанных энергосистемах преобладают возобновляемые источники энергии, будет безопасно заявлять о превосходстве электромобилей.

В этой статье пересматривается степень, в которой электромобили могут эффективно решать проблемы глобального изменения климата и истощения запасов ископаемого топлива. Поскольку только 4,4% электроэнергии, произведенной в мире в 2013 году, было произведено из нефти [7], электромобили безоговорочно могут помочь отсрочить наступление «пика добычи нефти». Но в следующих трех разделах этой статьи утверждается, что невозможно однозначно сказать, поможет ли значительный переход на электромобили сэкономить энергию или парниковые газы по сравнению с продолжением использования обычных транспортных средств, работающих на бензине или дизельном топливе.

Сравнение энергоэффективности

Сравнение энергоэффективности различных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания легко; например, сравните число транспортных средств в км для каждого транспортного средства на литр используемого бензина. Но для сравнения электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания бензин и электричество должны быть переведены в первичные энергетические термины – например, сырая нефть для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и уголь для производства электроэнергии на угольных электростанциях. Но возникает трудность при преобразовании электричества в первичную энергию для различных неископаемых видов топлива.

Для производства тепловой энергии на атомных или геотермальных электростанциях первичная энергия всегда рассчитывается на основе тепловой энергии, используемой для выработки электроэнергии, так же как на электростанциях, работающих на ископаемом топливе.

Для нетеплового возобновляемого электричества, такого как электричество, производимое гидроэлектростанциями или ветряными турбинами, разные органы власти используют разные методы преобразования [8]. Международное энергетическое агентство [7] преобразует гидроэнергию, фотоэлектрические элементы и энергию ветра в соотношении 1:1. В отличие от этого, ВР преобразует гидроэлектроэнергию в первичную энергию таким же образом, как и для ядерной электроэнергии – на основе тепловой эквивалентной электроэнергии на тепловой электростанции, предполагая 38% эффективность преобразования на современной тепловой электростанции» [9]. Отсюда следует, что первичная энергоэффективность, рассчитанная для данного электромобиля, будет сильно различаться в зависимости от источника неископаемой энергии.

В энергосистеме, использующей 100% ядерной энергии, эффективность будет такой же, как в энергосистеме, использующей 100% гидроэлектроэнергии, если рассчитать ее методом ВР, но намного ниже, если использовать метод Международного энергетического агентства. Понятно, что это неудовлетворительный результат. Это также делает расчеты эффективности использования энергии двигателя внутреннего сгорания электрическими транспортными средствами произвольными для сетей, использующих значительное количество первичной электроэнергии из возобновляемых источников энергии. Проблема может усугубиться только в том случае, если, как и ожидалось, энергия ветра, гидро и, особенно, фотоэлектрических элементов, будет обеспечивать все более высокий процент мирового электричества.

Дальнейшее осложнение возникает, если есть необходимость в накоплении энергии. Доля атомной электроэнергии падает, и даже Международная ассоциация по атомной энергии не прогнозирует, что ее доля значительно возрастет, если вообще увеличится [10]. Хотя на улавливание и хранение углерода в значительной степени влияют сценарии Межправительственной группы экспертов по изменению климата на смягчение последствий изменения климата, это в значительной степени недоказанная технология [11], и кро-

ме того, имеет высокие энергетические затраты [12] и длительные сроки реализации.

Отсюда следует, что возобновляемые источники энергии должны будут играть главную роль в долгосрочном смягчении последствий изменения климата [13]. Тем не менее, возобновляемые источники энергии с наибольшим потенциалом, ветряное и солнечное электричество [14], являются прерывистыми источниками, и поэтому потребуется некоторая форма накопления энергии, если электроснабжение будет постоянно соответствовать спросу. В настоящее время производство электроэнергии из этих источников достаточно мало [9], чтобы ассимилироваться в существующие сети (где почти вся энергия поступает от ископаемого топлива, гидроэлектростанций и атомных станций), но это придется изменить.

Аккумуляция энергии, возможно, с использованием энергоносителей, таких как водород или метанол, значительно снизит чистую электроэнергию, доступную из данной валовой энергии ветра и солнечной энергии. Таким образом, затраты на первичную энергию для электромобилей, работающих от таких источников, будут расти. Один из предложенных способов уменьшить потребность в аккумуляции энергии коммунальными предприятиями или жилыми домами – это использовать «транспортное средство в сеть». При использовании транспортного средства для хранения в сети электрические транспортные средства будут подключены к электрической сети и будут накапливать энергию в своих аккумуляторных батареях и продавать такую накопленную электроэнергию в сеть, когда спрос на электроэнергию превышает генерируемое предложение [15].

Но такой подход будет противоречить предложению о широком совместном использовании автомобилей, что значительно сократит количество принадлежащих автомобилей. В настоящее время автомобили находятся в пути только 4–5% времени [3]. Неизбежно, что совместно используемые транспортные средства теперь будут использоваться более интенсивно (то есть проезжать больше км в год), так что время их парковки также будет сокращено. Таким образом, возможности для дневной зарядки и хранения энергии в сети будут

уменьшены. Потребуется зарядка батарей в ночное время, но, если солнечная энергия станет доминирующим источником энергии в будущем, в ночное время необходимо, чтобы сеть потребляла энергию от аккумуляторов автомобиля, а не поставляла ее.

Сравнение выбросов парниковых газов

Проблемы, выявленной в предыдущем разделе, можно избежать, если сравнивать автомобиль с двигателем внутреннего сгорания и электромобиль на основе CO_2 или, в более общем смысле, выбросов парниковых газов, обычно выражаемых в эквиваленте CO_2 (CO_2 -экв.). Но затем возникает новая проблема: почти во всех опубликованных сравнениях, не связанных с ископаемым топливом, электричество (возобновляемые источники энергии и атомная энергия) предполагается, что эти источники генерируют нулевые выбросы парниковых газов, что они являются «нулевыми источниками углерода».

Но это далеко не так. Хотя это правда, что эти источники напрямую генерируют незначительные парниковые газы, это не относится к их косвенным выбросам.

Гидроэлектроэнергия является крупнейшим источником электроэнергии из возобновляемых источников энергии, и большая часть остающегося неиспользованного потенциала находится в тропических регионах Африки, Латинской Америки и Азии [11, 16].

Если водохранилища за тропическими дамбами содержат разлагающиеся растительные вещества (например, это происходит, если лес погружен), могут произойти значительные выбросы как CO_2 , так и метана (CH_4). CO_2 возникает в результате аэробного распада; CH_4 , мощный парниковый газ, от анаэробного распада. В первые годы эксплуатации выбросы в эквиваленте CO_2 могут конкурировать с выбросами на электростанциях, работающих на природном газе, с одинаковой выработкой электроэнергии [17]. Геотермальные растения также могут выделять парниковые газы [11]. В обоих случаях важно вычесть базовые выбросы (выбросы до строительства электростанции), чтобы получить более справедливую картину выбросов.

Что касается других возобновляемых источников энергии, выбросы парниковых газов возникают в результате затрат на строительство возобновляемых источников энергии или, в случае биоэнергии, для выращивания биомассы. Поскольку на ископаемое топливо по-прежнему приходится 86,3% всей коммерческой энергии [9], большая часть энергии, затрачиваемой на создание и обслуживание устройств возобновляемой энергии, все еще производится из ископаемого топлива. Значительные поступления азотных удобрений будут необходимы для повышения годового урожая с гектара биоэнергии, особенно на маргинальных почвах, которые останутся после удовлетворения глобальных потребностей в продовольствии и клетчатке. Но удобрения производят закис азота (N_2O), мощный и долгоживущий парниковый газ [18].

Крутцен и др [19] даже спорно утверждал, что из-за N_2O освобождения из оплодотворенных почв, топливо из биомассы может производить аналогичные или даже более высокие уровни CO_2 -экв чем ископаемое топливо. Можно подумать, что для такой страны, как Норвегия, где почти 100% электроэнергии вырабатывается на гидроэлектростанциях, замена существующих дорожных транспортных средств, работающих на нефтяном топливе, на электромобили приведет к значительному сокращению транспортных парниковых газов.

Но следует помнить, что Норвегия является частью более широкой европейской сети и экспортирует излишки гидроэлектроэнергии в другие страны. Вероятно, что чем больше гидроэнергии Норвегия потребляет, тем больше электроэнергии нужно будет вырабатывать из ископаемого топлива в других частях европейской энергосистемы, чтобы заменить норвежский гидроэнергетический импорт.

Побочные эффекты для электромобилей

До настоящего времени сравнения основывались на сопоставлении использования первичной энергии и выбросов парниковых газов на транспортное средство-км для электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания.

Однако такие сравнения не будут действительны, если произойдут побочные эффекты. Положительное распространение происходит, если 'продвижение одного про-экологического поведения повышает вероятность того, что люди примут другое проэкологическое поведение [20]. Отрицательный вторичный эффект возникает, когда введение определенного проэкологического поведения (такого как переработка отходов) приводит к снижению принятия других проэкологических поведений отдельными лицами. Негативные побочные эффекты связаны с другими понятиями, такими как «энергетический отскок» и «моральное лицензирование» [21].

Клекнер и др. [22] специально исследовали такие эффекты для электромобилей в Норвегии. Электромобили хорошо продаются в Норвегии, учитывая, что различные налоги на транспортные средства снижены или отменены, а также дорожные сборы и стоимость парковки. Они обнаружили, что, если в домохозяйствах есть только электромобиль, они ездят на нем меньше, чем владельцы обычных автомобилей. Однако большинство покупок электромобилей в домашних хозяйствах являются дополнением к автопарку, а не заменой транспортных средств.

Эти домохозяйства, владеющие электромобилями, ездили на своих электромобилях больше, чем ожидалось, скорее всего из-за субсидий, уже упомянутых для электромобилей.

Следовательно, отрицательный побочный эффект, по-видимому, работает, что ставит под сомнение прямое сравнение энергии или CO₂-экв на транспортное средство-км для электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания.

Обсуждение и выводы

Электрические транспортные средства, безусловно, превосходят транспортные средства с двигателем внутреннего сгорания по снижению использования транспортного топлива и локального загрязнения воздуха. Учитывая, что затраты на электроэнергию также намного ниже затрат на бензин на транспортное средство-км, электромобили также будут иметь более низкие эксплуатационные

расходы, особенно в Европе, с высокими расходами на топливо на основе нефти [7]. Электрические сети могут (и обычно работают) на различных видах топлива, что облегчает переход к электромобилям, работающим на полностью неископаемом электричестве.

Как и ожидалось, в литературе нет сомнений относительно преимуществ электромобилей в отношении первичной энергии и парниковых газов. Если необходим километраж, соответствующий транспортным средствам с двигателем внутреннего сгорания, то увеличение массы аккумулятора приведет к снижению энергоэффективности электромобиля и увеличению выбросов парниковых газов. Выбросы парниковых газов также будут зависеть от состава топлива, используемого для энергоснабжения сети. Сравнения как энергии, так и парниковых газов также будут зависеть от предполагаемого срока службы транспортного средства-км и цикла вождения.

В этой статье были подняты некоторые другие вопросы, которые обычно не рассматриваются во многих исследованиях, посвященных изучению относительного использования энергии и выбросов парниковых газов электромобилей по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания.

Во-первых, сравнения энергоэффективности осложняются противоречивыми методами, используемыми для первичных источников электроэнергии, таких как гидро, солнечная энергия или энергия ветра. Эта проблема может стать более серьезной только в том случае, если энергия ветра и солнечная энергия будут доминировать в будущем энергоснабжении. Затраты энергии на хранение этих прерывистых источников энергии являются дополнительным осложнением.

Во-вторых, для сравнения парниковых газов прямые выбросы некоторых возобновляемых источников энергии добавляют еще один источник неопределенности. Кроме того, если более широкое использование электромобилей в богатой возобновляемыми источниками энергии стране, такой как Норвегия, приводит к снижению экспорта электроэнергии из возобновляемых источников энергии, то общесистемные выгоды от использования парниковых газов для электромобилей должны быть соответственно снижены.

В-третьих, новая, по-видимому, «зеленая» технология, такая как электромобили, создает побочные эффекты, что еще больше усложняет сравнение. В целом, должен быть сделан вывод о том, что выгоды от использования электромобилей для энергии и парниковых газов меньше, чем обычно предполагается. Только когда во взаимосвязанных энергосистемах преобладают возобновляемые источники энергии, будет безопасно заявлять о превосходстве электромобилей.

Список литературы

1. Онат Н.К., Куцуквар М., Татари О. Обычные, гибридные или электромобили с подключаемым модулем? Государственный сравнительный углерод и анализ энергетического следа в США // Прикладная энергия, 2015; 150. С. 36–49.
2. Штайнхильбер С., Уэлс П., Тханкаппан С. Социально-техническая инерция: понимание барьеров для электромобилей // Энергетическая политика, 2013; 60. С. 531–539.
3. Совакул Б.К., Хирш Р.Ф. Помимо батарей: изучение преимуществ и барьеров для подключаемых гибридных электромобилей и переход между транспортным средством и сеткой // Энергетическая политика, 2009; 37. С. 1095–1103.
4. Мориарти П., Ван С.Дж. Показатели экологической эффективности городского транспорта // Журнал устойчивого развития энергетики, водоснабжения и водного хозяйства. Системы окружающей среды, 2015; 3 (2). С. 183–195.
5. Ма Х., Балтазар Ф., Таит Н., Риера-Палоу Х., Харрисон А. Новое сравнение между выбросами парниковых газов в течение жизненного цикла аккумуляторные электромобили и автомобили внутреннего сгорания // Энергетическая политика, 2012; 44. С. 160–173.
6. Хокинс Т.Р., Сингх Б., Маджо-Беттез Г., Стремман А.Х. Сравнительная экологическая оценка жизненного цикла обычных и электрические транспортные средства // Журнал промышленной экологии, 2013; 17. С. 53–64.

7. Рагимов Э.А. Экологические особенности транспорта // Теоретическая и прикладная наука, 2019; 07 (75). С. 284–288. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.07.75.46>.
8. Мориарти П., Хоннери Д. Водородный стандарт для учета энергии? // Международный журнал водородной энергетики, 2010; 35. С. 12374–12380.
9. БП: статистический обзор мировой энергетики. Лондон, 2016.
10. Оценки Международной энергетической ассоциации (МАГАТЭ) в области энергетики. Электроэнергии и ядерной энергетики на период до 2050 года. Вена: МАГАТЭ, 2012.
11. Мориарти П., Хоннери Д. Подъем и падение углеродной цивилизации. Лондон: Спрингер, 2011.
12. Андерсон К. Двойственность в науке о климате // Природоведение, 2015, 8. С. 898–900.
13. Мориарти П., Ван С.Дж. Оценка глобальных прогнозов возобновляемых источников энергии // Энергетическая процедура, 2015, 75. С. 2523–2528.
14. Мориарти П., Хоннери Д. Каков глобальный потенциал возобновляемой энергии? // Обзор возобновляемой и устойчивой энергетики. 2012, 16. С. 244–52.
15. Тертон Х., Мора Ф. Транспортные системы для устойчивого развития: Комплексный энергетический анализ // Технологическое прогнозирование и социальные перемены, 2008, 75. С. 1091–1108.
16. Всемирный энергетический совет. Мировые энергетические ресурсы: обзор 2013 года. Лондон, 2013.
17. Фирнсайт П.М. Выбросы парниковых газов от гидроэлектростанций: споры обеспечивают трамплин для переосмысления предположительно чистый источник энергии // Изменение климата, 2004, 66 (2–1). С. 1–8.
18. Рагимов Э.А. Перспективы автоматизированных автомобилей для снижения транспортной энергии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2019, № 11. С. 11–16. DOI: <https://dx.doi.org/10.25791/pribor.11.2019.1001>.

19. Крутцен П.Дж., Мосье А.Р., Смит К.А., Винивартер В. Выпуск N_2O из производства агробиотоплива предотвращает глобальное потепление сокращение путем замены ископаемого топлива // Атмосфера и химическая физика, 2008, 8. С. 389–395.
20. Трулав Х.Б., Каррико А.Р., Вебер Е.С., Райми К.Т., Ванденберг М.П. Положительный и отрицательный побочный эффект проэкологии поведение: интегративный обзор и теоретические основы // Глобальное изменение окружающей среды, 2014, 29. С. 127–138.
21. Мерритт А.С., Эффрон Д.А., Монин Б. Моральное самолицензирование: когда мы хороши, мы становимся плохими // Социальный и личный физический компас, 2010, 4/5. С. 344–357.
22. Клекнер К.А., Наюм А., Мехметоглу М. Положительные и отрицательные побочные эффекты от покупки электромобиля до использования автомобиля // Транспортные исследования, 2013, 21, С. 32–38.

References

1. Onat N.C., Kucukvar M., Tatari O. Obychnye, gibridnye ili elektromobili s podklyuchaemym modulem? Gosudarstvennyy sravnitel'nyy uglevod i analiz energeticheskogo sleda v SSh [Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States]. *Prikladnaya energiya* [Applied Energy], 2015, 150, pp. 36–49.
2. Steinhilber S., Wells P., Thankappan S. Sotsial'no-tekhnicheskaya inertsiya: ponimanie bar'erov dlya elektromobiley [Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles]. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2013, 60, pp. 531–539.
3. Sovacool B.K., Hirsh R.F. Pomimo batarey: izuchenie preimushchestv i bar'erov dlya podklyuchaemykh gibridnykh elektromobiley i perekhod mezhdu transportnym sredstvom i setkoy [Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition]. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2009, 37, pp. 1095–1103.
4. Moriarty P., Wang S.J. Pokazateli ekologicheskoy effektivnosti gorodskogo transporta [Eco-efficiency indicators for urban transport].

- Zhurnal ustoychivogo razvitiya energetiki, vodosnabzheniya i vodnogo khozyaystva. Sistemy okruzhayushchey sredy* [Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems], 2015, 3(2), pp. 183–195.
5. Ma H., Balthasar F., Tait N., Riera-Palou X., Harrison A.A. Novoe sravnenie mezhdu vybrosami parnikovyykh gazov v techenie zhiznennogo tsikla akkumulyatornye elektromobili i avtomobili vnutrennego sgoraniya [New comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles]. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 2012, 44, pp. 160–173.
 6. Hawkins T.R., Singh B., Majeau-Bettez G., Stromman A.H. Sravnitel'naya ekologicheskaya otsenka zhiznennogo tsikla obychnykh i elektricheskikh transportnykh sredstv [Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles]. *Zhurnal promyshlennoy ekologii* [J Ind Ecol], 2013. 17, pp. 53–64.
 7. Rahimov E. A. Ekologicheskie osobennosti transporta [Ecological features of transport]. *Teoreticheskaya i prikladnaya nauka* [ISJ Theoretical & Applied Science], 2019, 07 (75), pp. 284–288. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.07.75.46>.
 8. Moriarty P., Honnery D. Vodородnyy standart dlya ucheta energii? [A hydrogen standard for energy accounting?]. *Mezhdunarodnyy zhurnal vodorodnoy energetiki* [Int. J Hydrogen Energy], 2010, 35, pp. 12374–12380.
 9. BP Statistical Review of World Energy. London, 2016.
 10. International Atomic Energy Association (IAEA) Energy. Electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050. Vienna: IAEA, 2012.
 11. Moriarty P., Honnery D. Rise and fall of the carbon civilisation. London: Springer, 2011.
 12. Anderson K. Dvoystvennost' v nauke o climate [Duality in climate science]. *Prirodovedenie* [Nature Geosci], 2015, 8, pp. 898–900.
 13. Moriarty P., Wang S.J. Otsenka global'nykh prognozov vozobnovlyаемykh istochnikov energii [Assessing global renewable energy fore-

- casts]. *Energeticheskaya protsedura* [Energy Procedia], 2015, 75, pp. 2523–2528.
14. Moriarty P., Honnery D. Kakov global'nyy potentsial vozobnovlyae-moy energii? [What is the global potential for renewable energy?]. *Obzor vozobnovlyae-moy i ustoychivoy energetiki* [Renew & Sustain Energy Rev], 2012, 16, pp. 244–52.
 15. Turton H., Moura F. Transportnye sistemy dlya ustoychivogo razvitiya: Kompleksnyy energeticheskiy analiz [Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis]. *Tekhnologicheskoe prognozirovaniye i sotsial'nye peremeny* [Technol Forecasting & Soc Change], 2008, 75, pp. 1091–1108.
 16. World Energy Council (WEC) World energy resources: 2013 survey. London: WEC, 2013.
 17. Fearnside P.M. Vybrosty parnikovyykh gazov ot gidroelektrostantsiy: spory obespechivayut tramplin dlya pereosmysleniya predpolozhitel'no chistyuy istochnik energii [Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly clean energy source]. *Izmeneniye klimata* [Clim Change], 2004, 66(2–1), pp. 1–8.
 18. Rahimov E.A. Perspektivy avtomatizirovannykh avtomobiley dlya snizheniya transportnoy energii [Prospects for automated cars to decrease transportation energy]. *Pribory i sistemy. Upravleniye, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems. Monitoring, Control, and Diagnostics], 2019, № 11, pp. 11–16. DOI: <https://dx.doi.org/10.25791/pribor.11.2019.1001>.
 19. Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. Vypusk N₂O iz proizvodstva agrobiotopliva predotvrashchaet global'noe poteplenie sokrashcheniye putem zameny iskopaemogo topliva [N₂O release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels]. *Atmosfera i khimicheskaya fizika* [Atmos Chem Phys], 2008, 8, pp. 389–395.
 20. Truelove H.B., Carrico A.R., Weber E.U., Raimi K.T., Vandenberg M.P. Polozhitel'nyy i otritsatel'nyy pobochnyy effekt proekologii povedeniya: integrativnyy obzor i teoreticheskie osnovy [Positive and negative

- spillover of pro-environmental behavior: An integrative review and theoretical framework]. *Global'noe izmenenie okruzhayushchey sredy* [Glob Environ Change], 2014, 29, pp. 127–138.
21. Merritt A.C., Effron D.A., Monin B. Moral'noe samolitsenzirovaniye: kogda my khoroshi, my stanovimsya plokhimi [Moral self-licensing: When being good frees us to be bad]. *Sotsial'nyy i lichnyy fizicheskiy kompas* [Soc & Person Psych Compass], 2010, 4/5, pp. 344–357.
22. Klockner C.A., Nayum A., Mehmetoglu M. Polozhitel'nye i otritsatel'nye pobochnye efekty ot pokupki elektromobilya do ispol'zovaniya avtomobilya [Positive and negative spillover effects from electric car purchase to car use]. *Transportnye issledovaniya* [Transp Res], 2013, 21, pp. 32–38.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Рагимов Эльмар Агарагим оглы, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института Географии имени акад. Г. Алиева
*Национальная Академия Наук Азербайджана
пр. Г.Джавида, 115, г. Баку, AZ1143, Азербайджан
elmar_rahimov@yahoo.com*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Rahimov Elmar Agarahim, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Institute of Geography named after acad. H. Aliyev
*Azerbaijan National Academy of Sciences
115, H. Javid ave., Baku, AZ1143, Azerbaijan
elmar_rahimov@yahoo.com*

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-1-67-80

УДК 656.13

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

*Сидоров М.В., Зар Ни Лин, Чижевский К.В.,
Семенов М.А., Сидоров В.Н.*

Работа посвящена вопросу развития и компоновке автомобилей с гибридной силовой установкой. В настоящее время наблюдается значительный рост их использования, который обосновывается высокими экономическими и экологическими показателями. Экологические показатели достигаются путем снижением выбросов отработавших газов за счет применения преобразованной и накопленной электрической энергии. Экономические показатели достигаются путем рекуперации кинетической энергии, тем самым повышая топливную эффективность. При активном развитии автомобилей с гибридной силовой установкой, в том числе на территории России, требуется создание дополнительных условий для обеспечения их технически исправного состояния.

Цель – определение рациональных схем компоновки гибридной силовой установки.

Метод или методология проведения работы: в статье использованы методы анализа литературных источников.

Результаты: выявлена перспективная компоновка гибридной силовой установки для автомобиля.

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять для повышения топливной экономичности автомобилей и снижения токсичности выбросов отработавших газов.

Ключевые слова: гибридная силовая установка; гибридный автомобиль; электромотор; двигатель внутреннего сгорания; тяговая аккумуляторная батарея; рекуперация; топливная экономич-

ность; токсичность выбросов отработавших газов; техническое обслуживание; ремонт.

FUTURE DEVELOPMENT OF CARS WITH HYBRID POWER INSTALLATION

*Sidorov M.V., Zar Ni Lin, Chijevsky K.V.,
Semenov M.A., Sidorov V.N.*

The work is devoted to the development of cars with hybrid power plant. There is now a significant increase in their use, justified by high economic and environmental indicators. Environmental - reduction of exhaust gas emissions due to use of converted and accumulated electric energy. Economic indicators are achieved by recovery of kinetic energy, thereby increasing fuel efficiency. With the active development of cars with hybrid power plant, including on the territory of Russia, it is necessary to create conditions to ensure their technically serviceable condition.

Objective – *determination of rational layout schemes of hybrid power plant.*

Method or methodology of work: *the article uses methods of analysis of literary sources.*

Results: *a promising arrangement of hybrid power plant for the car has been revealed.*

Field of application: *the results obtained are useful for improving the fuel efficiency of automobiles and reducing the toxicity of exhaust gas emissions.*

Keywords: *hybrid power plant; hybrid car; electric motor; internal combustion engine; traction battery; recuperation; fuel economy; toxicity of exhaust gas emissions; maintenance, repair.*

В соответствии со «Стратегией развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 г.» и «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» [3, 4] одним из приоритетных направлений инновационного

развития автомобилестроения в Российской Федерации в соответствии с мировыми тенденциями являются повышение энергоэффективности и экологичности автомобилей, соответствие их конструкции требованиям технических регламентов и других нормативных документов, а также технологии электрификации транспортных средств (электромобили, гибриды). Критическими технологическими операциями при производстве автомобилей являются производство систем управления и диагностики двигателя, накопителей электроэнергии. В сфере развития новых продуктов предполагается применение механизма консорциума в области автомобилестроения, который представляет собой временное объединение органов власти, организаций производителей автомобилей и компонентов, научно-исследовательских и общественных организаций, выполняющих совместные научно-исследовательские, опытно-конструкторские, инженерные и производственные работы, направленные на создание и реализацию высокотехнологичной продукции, включающей, в том числе, развитие гибридных автомобилей [3–8].

Автомобили с гибридной силовой установкой (ГСУ) отличаются от традиционных, наличием двух двигателей (ДВС и электрического). В настоящее время существуют следующие компоновки ГСУ, которые можно разделить на три принципиально отличающиеся схемы [1, 10]:

- последовательную (Plug-in Hybrid);
- параллельную (Mild Hybrid);
- последовательно-параллельную (Full Hybrid).

Последовательная схема ГСУ

Отличительной особенностью последовательной схемы является отсутствие механической связи ДВС и ведущих колёс автомобиля (рис. 1). В этом случае ДВС, работая на постоянном режиме минимального удельного расхода, вращает только ротор электрического генератора, как правило, переменного тока. В приводе ведущих колёс установлен электромотор, который соединен с накопителями электрической энергии. Так как накапливать можно

только электроэнергию постоянного тока, между ними устанавливается преобразователь (инвертор).

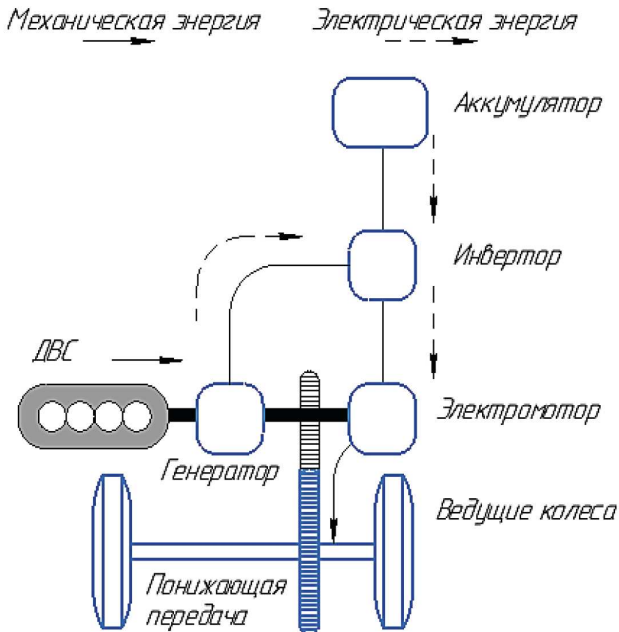


Рис. 1. Последовательная схема КЭУ

В зависимости от режима работы ДВС и условий дорожного движения, электрический ток, вырабатываемый генератором, может подаваться только на электромотор, работающий в этом случае в режиме электродвигателя, или только в накопитель энергии, а может одновременно в оба эти устройства. При замедлении транспортного средства электромотор работает в режиме генератора, обеспечивая рекуперацию кинетической-энергии автомобиля [1].

Достоинствами последовательной схемы являются возможность работы ДВС на режиме минимальных удельных расходов топлива или даже при постоянной частоте вращения коленчатого вала, бесступенчатого изменение передаточного числа трансмиссии и её значительное упрощение. Недостатками являются: малый

КПД системы передачи энергии от ДВС до ведущих колес; зарядка от аккумуляторных батарей и движение автомобиля происходит только в режиме постоянной работы ДВС.

Параллельная схема ГСУ

При параллельной схеме ГСУ (рис. 2) ДВС имеет механическую связь с ведущими колёсами. На автомобиле, в отличие от последовательной схемы, установлен только один электромотор. ДВС и электромотор могут работать на трансмиссию автомобиля как раздельно, так и совместно. ДВС через трансмиссию отдаёт энергию ведущим колёсам автомобиля и при избытке его энергии может через электромотор, работающий в этом случае в режиме генератора, питать накопитель [1]. При недостатке энергии ДВС для движения автомобиля дополнительная энергия к ведущим колёсам подводится от электромотора, работающего в режиме электродвигателя.

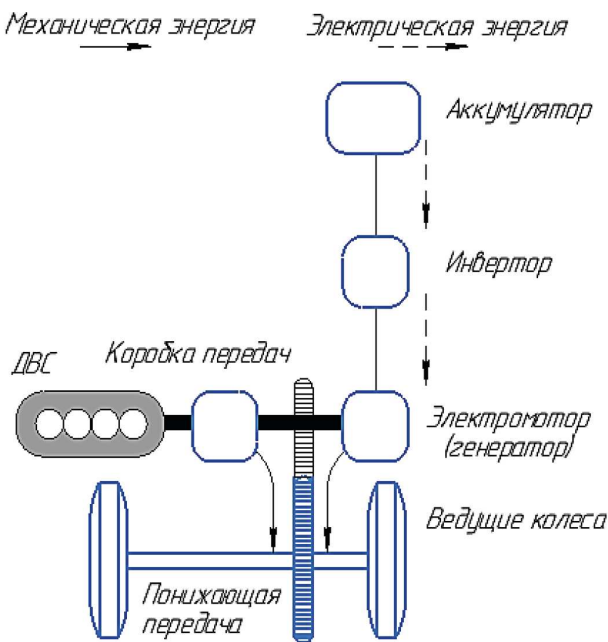


Рис. 2. Параллельная схема ГСУ

Достоинством параллельной схемы является более высокий КПД передачи энергии от первичного двигателя (ДВС) к ведущим колесам в сравнении с последовательной и возможность применения одной электромашины вместо двух [1]. Недостатками являются обязательное усложнение трансмиссии (так как нужно обеспечить подвод крутящего момента как отдельно от электромотора, так и отдельно от ДВС) и усложнение системы управления трансмиссией и ДВС.

Последовательно-параллельная схема ГСУ

Последовательно-параллельная схема представляет собой совмещение первых двух [1]. В параллельную схему добавлен дополнительный генератор и делитель мощности (рис. 3). Благодаря этому автомобиль при трогании и на малых скоростях движется только на электрической тяге, ДВС только обеспечивает работу генератора (как при последовательной схеме).

На высоких скоростях крутящий момент на ведущие колеса передается и от двигателя внутреннего сгорания [1]. При повышенных нагрузках (например, при подъеме в гору), когда генератор не в силах обеспечить требуемый ток, электромотор получает дополнительное питание от аккумулятора (параллельная схема).

Поскольку в системе имеется отдельный генератор, заряжающий аккумуляторную батарею, электромотор используется только для привода ведущих колес и во время рекуперативного торможения [1, 9, 14]. Через планетарный механизм (он же делитель мощности), часть крутящего момента от ДВС частично передается на колеса и частично отбирается для работы генератора, который питает либо электромотор, либо аккумуляторную батарею. Электронный блок управления все время регулирует подачу мощности из обоих источников [1].

Плюсы последовательно-параллельного гибридного двигателя данной схемы, в максимальной топливной экономичности и высокой экологичности. Минусы системы – сложность конструкции и высокая стоимость, поскольку требуется дополнительный генератор, достаточно емкая аккумуляторная батарея и сложный электронный блок управления.

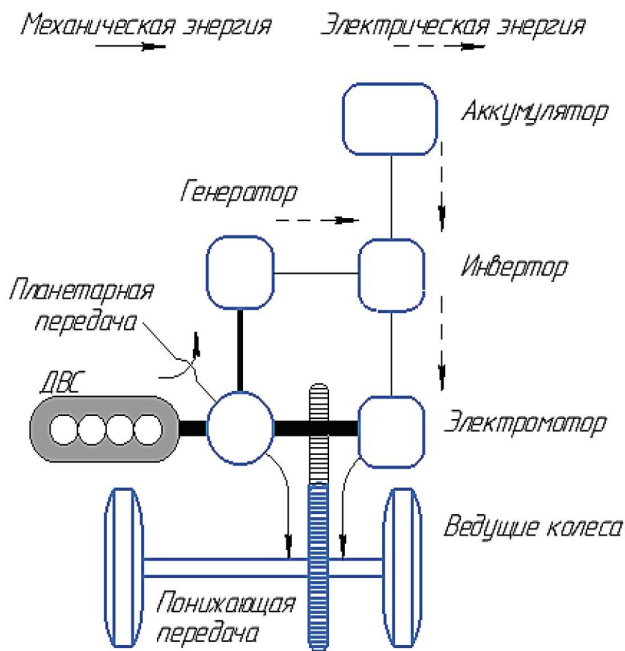


Рис. 3. Последовательно-параллельная схема ГСУ

Автомобили с гибридной силовой установкой имеют следующие основные преимущества [15]:

- экономичность. Расход топлива уменьшается от 20–25% при интенсивной эксплуатации автомобиля. Двигатель внутреннего сгорания тратит большую энергию при старте автомобиля, так как при движении с места на автомобиль действует большое сопротивление, в это время в работу включается электромотор, питающийся от аккумуляторов, который при увеличении оборотов собственного вала выдает максимальный крутящий момент, благодаря этому бензиновый или дизельный двигатель будут экономить топливо [15, 12, 13];
- экологичность;
- электродвигатели гибридной силовой установки могут работать как стартер или генератор;

- может обеспечить большой пробег без дозаправки;
- получение энергии посредством рекуперации, при торможении, а также зарядка аккумуляторных батарей при равномерном движении от электромотора, который работает как генератор.

Недостатки автомобиля с гибридной силовой установкой [11]:

- значительные сложности при утилизации аккумуляторной батареи;
- завышенная стоимость аккумулятора при его ограниченном ресурсе;
- недостаточность соответствующих ремонта, технического обслуживания и диагностирования, их высокая стоимость;
- сложность конструкции.

Тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ) является составной частью гибридного автомобиля [2, 5]. Основными параметрами работы ТАБ являются высокая пиковая и удельная мощность, удельная энергия, высокая степень приспособляемости к зарядке, способность максимально регенерировать энергию торможения, высокий ресурс работы.

В наши дни широко используется свинцово-кислотные батареи. Они относительно недороги и обладают высокой мощностью, надежностью и безопасностью [2, 5]. Но такие ТАБ имеют низкую удельную энергию, чувствительны к низкой температуре и имеют относительно небольшой ресурс работы, что препятствует их использованию в гибридах. Никель-кадмиевые ТАБ имеют высокую удельную мощность, значительный ресурс работы. Однако они не выдают необходимую энергию для гибридных автомобилей. Никель-водородные батареи имеют более высокий, по сравнению со свинцово-кислотными, ресурс, обладают необходимой энергией и сравнительно безопасны. Такие ТАБ используются в электромобилях и гибридных автомобилях небольшой мощности. К недостаткам никель-водородных батарей относят тепловыделение при высоких температурах, высокую стоимость, саморазряд и необходимость контролировать утечки водорода. Литий-ионные и литий-полимерные

батареи имеют высокую удельную энергию, мощность, и низкий саморазряд, что вполне обуславливает их применение в гибридных автомобилях. Однако литиевые ТАБ имеют относительно малый ресурс по количеству циклов заряд-разряд и склонность к старению. В настоящее время технология литиевых аккумуляторов активно развивается, в том числе для применения в гибридных автомобилях [1].

Перспективы развития автомобилей с гибридной силовой установкой и их сервисного обслуживания:

- совершенствование конструкции автомобиля;
- модернизация ТАБ;
- приобретение необходимой оснастки автосервиса;
- обеспечение профессионального обучения работников;
- развитие специализации услуг, представляемых предприятиями сервиса автомобилей;
- разработка нормативных и регламентных документов для проведения качественных работ по ремонту, техническому обслуживанию и диагностированию.

Аналитический обзор современного состояния развития автомобилей с гибридной силовой установкой позволил выявить следующие недостатки использования выше изложенных систем: сложность утилизации аккумуляторных батарей; высокая стоимость аккумуляторных батарей, сложность конструкции. Достоинства использования гибридных силовых установок заключается в следующем: экологичность; использование гибридной установки позволяет повысить пробег автомобиля без дозаправки; получение энергии посредством рекуперации.

Тенденция развития и увеличение эксплуатации автомобилей с гибридной силовой установкой обусловлены повышением требований международных стандартов по экологической безопасности и экономичности, ростом цен на углеводородное топливо. Необходим ряд мероприятий, направленных на развитие и создание производственно-технического обеспечения по поддержанию и восстановлению исправного и работоспособного состояния автомобилей с гибридной силовой установкой. Существует потреб-

ность в разработке технологий выполнения сервисных работ, а также их нормативно-технического обеспечения.

Список литературы

1. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: учеб. пособие / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов [и др.]. М.: МГТУ «МАМИ», 2007. 71 с.
2. Кузов современного автомобиля: материалы, проектирование и производство: учебное пособие / Пачурин Г.В. [и др.]. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 316 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/107953>
3. Распоряжение Правительства РФ от 28 апреля 2018 года N 831-р «Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности до 2025 года». 1 с.
4. Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 года N 1734-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 11 июня 2014 года)». 496 с.
5. Савич, Е.Л. Легковые автомобили: учебник. Минск: Новое знание, 2013. 758 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/43872>
6. Селифонов В.В., Круташов А.В., Баулина Е.Е. Приемно-распределительное устройство преимущественно для комбинированных энергетических установок транспортных средств (варианты) // Патент №55445 на полезную модель. 2006.
7. Селифонов В.В., Круташов А.В., Баулина Е.Е. Электромобиль особо малого класса гибридной энергетической установкой // Авто-тракторное электрооборудование. 2004. №9. С. 20–22.
8. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Ившин К.С., Скуба Д.В. Автомобили особо малого класса (квадроциклы) с гибридной энергосиловой установкой / Под общ. ред. В.А. Умняшкина. Ижевск: НИЦ «Регуляторная и хаотическая динамика», 2006. 137 с.
9. Умняшкин В.А., Филькин Н.М., Музофаров Р.С., Хамидуллин Р.П. Выбор мощности тягового электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания и параметров накопителей гибридных силовых установок автомобилей: Учебное пособие. Ижевск: НИЦ «Регуляторная и хаотическая динамика», 2006. 138 с.

10. Федотова Ю. Гибридные автомобили: настоящее и будущее // Ай-мпресс. 2005. №9 (49). С. 23–27.
11. Becerra G., Alvarez-Icaza L., Flores De La Mota I., Mendoza-Soto J.L. Simulation and Optimization Applied to Power Flow in Hybrid Vehicles. // Applied Simulation and Optimization, Springer, 2017, Cham.
12. Hellgren J., Jonasson E. Maximisation of brake energy regeneration in a hybridelec- tric parallel car // Int. J. Electric and Hybrid Vehicles, Vol. 1, No. 1, 2007, pp. 95–121.
13. Kazuaki Shingo, Kaoru Kubo, Toshiaki Katsu, and Yuji Hata. Development of Electric Motors for the TOYOTA Hybrid Vehicle “PRIUS”. Toyota Motor Corporation.
14. Kim D-H, Kim J-M, Hwang S-H, and Kim H-S. Optimal brake torque distribution for a four-wheeldrive hybrid electric vehicle stability enhancement // Proc. Instn Mech Engrs, Part D: J. Automobile Engineering, 2007, 221, pp. 1357–1366.
15. Masrur M.A., Garg V.K. Hybrid Electric and Hydraulic Technology Applications in Off-Road Vehicles // Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer, New York, 2012.

References

1. Bahmutov S.V., Karunin A.L., Krutashov A.V. et al. *Konstruktivnye shemy avtomobilej s gibridnymi silovymi ustanovkami: ucheb. Posobie* [Design diagrams of cars with hybrid power plants]. M.: MGTU «MAMI», 2007. 71 p.
2. Pachurin G.V. et al. *Kuzov sovremennogo avtomobilja: materialy, proektirovanie i proizvodstvo* [Modern car body: materials, design and production]. Sankt-Peterburg: Lan, 2018. 316 p. <https://e.lanbook.com/book/107953/>
3. Order of the Government of the Russian Federation of April 28, 2018 N 831-r “On approval of the Strategy for the development of the automotive industry until 2025”. 61 p.
4. Order of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008 N 1734-r “On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period until 2030 (as amended on June 11, 2014)”. 496 p.
5. Savich E.L. *Legkovye avtomobili* [Cars]. Minsk: Novoe znanie, 2013. 758 p. <https://e.lanbook.com/book/43872>.

6. Selifonov V.V., Krutashov A.V., Baulina E.E. *Priemno-raspreditel'noe ustrojstvo preimushhestvenno dlja kombinirovannyh jenergeticheskikh ustanovok transportnyh sredstv (varianty)* [Receiving and distributing device mainly for combined power plants of vehicles]. Patent №55445, 2006.
7. Selifonov V.V., Krutashov A.V., Baulina E.E. *Jelektromobil' osobo malogo klassa gibridnoj jenergeticheskoy ustanovkoj* [Electric vehicle of particularly small class hybrid power plant]. *Avtotraktornoe jelektrooborudovanie*. 2004. №9, pp. 20–22.
8. Umnjashkin V.A., Fil'kin N.M., Ivshin K.S., Skuba D.V. *Avtomobili osobo malogo klassa (kvadrocikly) s gibridnoj jenergosilovoj ustanovkoj* [Ars of particularly small class (quadrocooks) with hybrid power plant] / ed. V.A. Umnjashkin. Izhevsk, 2006. 137 p.
9. Umnjashkin V.A., Fil'kin N.M., Muzofarov R.S., Hamidullin R.P. *Vybor moshhnosti tjavovogo jelektrodivigatelja, divigatelja vnutrennego sgoranija i parametrov nakopitelej gibridnyh silovyh ustanovok avtomobilej* [Selection of power of traction motor, internal combustion engine and parameters of accumulators of hybrid power plants of automobiles]. Izhevsk, 2006. 138 p.
10. Fedotova Ju. *Gibridnye avtomobili: nastojashhee i budushhee* [Hybrid Cars: Present and Future]. *Ajmpress*. 2005. №9 (49), pp. 23–27.
11. Becerra G., Alvarez-Icaza L., Flores De La Mota I., Mendoza-Soto J.L. *Simulation and Optimization Applied to Power Flow in Hybrid Vehicles*. *Applied Simulation and Optimization*, Springer, 2017, Cham.
12. Hellgren J., Jonasson E. Maximisation of brake energy regeneration in a hybridelec- tric parallel car. *Int. J. Electric and Hybrid Vehicles*, Vol. 1, No. 1, 2007, pp. 95–121.
13. Kazuaki Shingo, Kaoru Kubo, Toshiaki Katsu, and Yuji Hata. *Development of Electric Motors for the TOYOTA Hybrid Vehicle "PRIUS"*. Toyota Motor Corporation.
14. Kim D-H, Kim J-M, Hwang S-H, and Kim H-S. Optimal brake torque distribution for a four-wheeldrive hybrid electric vehicle stability enhancement. *Proc. Instn Mech Engrs, Part D: J. Automobile Engineering*, 2007, 221, 1357–1366.
15. Masrur M.A., Garg V.K. *Hybrid Electric and Hydraulic Technology Applications in Off-Road Vehicles*. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, 2012.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Сидоров Максим Владимирович, доцент кафедры «Механизация сельскохозяйственного производства», кандидат технических наук

*Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева
ул. Вишневого, 27, г. Калуга, Калужская область, 248007,
Российская Федерация
sidorov.maxim.79@mail.ru*

Зар Ни Лин, аспирант

*Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана
ул. Баженова, 2, г. Калуга, Калужская область, 248000, Рос-
сийская Федерация
zarniznl15@gmail.com*

Чижевский Константин Владимирович, студент

*Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана
ул. Баженова, 2, г. Калуга, Калужская область, 248000, Рос-
сийская Федерация
konstantin201997@yandex.ru*

Семенов Максим Андреевич, студент

*Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана
ул. Баженова, 2, г. Калуга, Калужская область, 248000, Рос-
сийская Федерация
traktopuct.maxim@yandex.ru*

Сидоров Владимир Николаевич, профессор кафедры «Колесные машины и прикладная механика», доктор технических наук
Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана

ул. Баженова, 2, г. Калуга, Калужская область, 248000, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sidorov Maxim Vladimirovich, Associate Professor of the Department of Mechanization of Agricultural Production, Candidate of Technical Sciences, Engineer

*Russian Timiryazev State Agrarian University, Kaluzhsky branch
27, Vishnevsky Str., Kaluga, Kaluga region, 248007, Russian Federation*

sidorov.maxim.79@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8022-866X

Zar Ni Lin, graduate student

*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch
2, Bagenova Str., Kaluga Region, 248000, Russian Federation
zarniznl15@gmail.com*

Chizhevsky Constantine Vladimirovich, student

*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch
2, Bagenova Str., Kaluga Region, 248000, Russian Federation
konstantin201997@yandex.ru*

Semenov Maxim Andreevich, student

*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch
2, Bagenova Str., Kaluga Region, 248000, Russian Federation
traktopuct.maxim@yandex.ru*

Sidorov Vldimir Nikolaevich, Professor of the Department «Wheel Machines and Applied Mechanics», Doctor of Technical Sciences

*Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch
2, Bagenova Str., Kaluga Region, 248000, Russian Federation
sidorov-kaluga@yandex.ru*

ORCID: 0000-0001-6794-7838

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-1-81-93

УДК 629.331

ХАРАКТЕРИСТИКИ БОКОВОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АМОРТИЗАТОРА

Тихов-Тинников Д.А., Федотов А.И., Алексеев А.В.

В статье представлено аналитическое исследование влияния технического состояния амортизатора на характеристики изменения боковой реакции в пятне контакта эластичной шины с опорной поверхностью. Исследуется процесс движения автомобиля по окружности с переездом единичной неровности. Предложено использовать зависимость боковой реакции от времени в качестве диагностического параметра для контроля технического состояния амортизатора. Выполнена оценка чувствительности и однозначности рассматриваемой зависимости.

Цель – теоретическое обоснование метода диагностирования подвески автомобиля по изменению боковых реакций в пятне контакта колеса с дорогой.

Методы проведения работы: использованы численные методы решения дифференциальных уравнений, методы математического моделирования и математического анализа.

Результаты: разработан математический аппарат для аналитического исследования чувствительности и однозначности боковых реакций автомобиля при изменении параметров технического состояния амортизаторов.

Область применения результатов: результаты могут быть использованы организациями и учреждениями, занимающихся разработкой методов диагностирования автотранспортных средств.

Ключевые слова: автомобиль; амортизатор; боковая реакция; подвеска; диагностика; чувствительность; однозначность.

CHARACTERISTICS OF LATERAL REACTION AT CHANGE OF TECHNICAL CONDITION OF SHOCK ABSORBER

Tikhov-Tinnikov D.A., Fedotov A.I., Alekseev A.V.

The article presents an analytical study of the influence of the technical condition of the shock absorber on the characteristics of lateral reaction change in the spot of contact of the elastic tire with the support surface. The process of moving the car around a circle with passing along a single road ledge is the object of research. The change in lateral reaction over time is a diagnostic parameter for monitoring the technical condition of the damper. Sensitivity and unambiguity of diagnostic parameter are calculated.

Purpose. *The theoretical justification for the method of diagnosing a car's suspension depending on changes in lateral reactions at the point of contact of the wheel with the road.*

Methodology *includes numerical methods for solving differential equations, methods of mathematical modeling and mathematical analysis.*

Results: *the mathematical apparatus for an analytical research of sensitivity and unambiguity of lateral reactions of the car at change of parameters of technical condition of shock absorbers.*

Practical implications: *organizations and institutions that develop vehicle diagnostic techniques can use the results.*

Keywords: *automobile; shock absorber; lateral reaction; suspension; diagnostics; sensitivity; unambiguity.*

Исследование изменений свойств устойчивости автомобилей является важной научно-технической задачей, решение которой осуществляется как аналитическими [1, 2, 12], так и экспериментальными методами [3–5, 13–15]. Данные свойства формируют способность транспортного средства противодействовать возникающим при движении воздействиям боковых сил. Указанная способность определяется процессами, происходящими в пятнах кон-

такта эластичных шин с дорогой, и характеризуется предельными и реализованными величинами боковых реакций.

Техническое состояние амортизаторов в значительной мере определяет величину и характер изменения боковых реакций. Снижение демпфирующих свойств подвески увеличивает амплитуду и время затухания колебаний подрессоренной и неподдресоренных масс, что приводит к нестабильности пятна контакта и как следствие к вариации боковых реакций в процессе движения автомобиля. Аналогичные зависимости можно установить и по другим элементам подвески: пружинам, рессорам, рычагам, шарнирам и сайлентблокам. Наличие представленной связи создает предпосылки для разработки метода диагностирования подвески на основе анализа изменения боковых реакций. Метод предусматривает проведение испытаний автотранспортного средства под действием боковой силы при возмущенном состоянии подвески. Непрерывное воздействие боковой силы обеспечивается движением автомобиля по криволинейной траектории [6] или по поперечному уклону [7]. В обоих случаях колебания подвески вызывает проезд колес автомобиля через единичную неровность.

Для выполнения исследований разработана математическая модель, описывающая движение автомобиля по окружности с переездом единичной неровности [11]. Математический аппарат модели включает уравнения динамического равновесия подрессоренной и неподдресоренных масс, а также взаимодействия эластичной шины и опорной поверхности дороги. При этом модель учитывает сглаживающую способность шины при переезде единичной неровности и изменения реакций в пятне контакта от проскальзывания и бокового увода [8]. Были рассчитаны характеристики процесса изменения боковых реакций на колесах автотранспортного средства категории М1 при его движении накатом со скорости 10 м/с, по окружности радиусом 15 м, с переездом единичной неровности квадратного профиля со стороной 0,05 м. Расчеты проводились по эмпирическим коэффициентам демпфирования, соответствующих работоспособному, промежу-

точному и неработоспособному техническому состоянию амортизаторов [9].

Результаты моделирования (рис. 1) позволяют выявить некоторые закономерности изменения значений боковых реакций в зависимости от технического состояния амортизаторов.

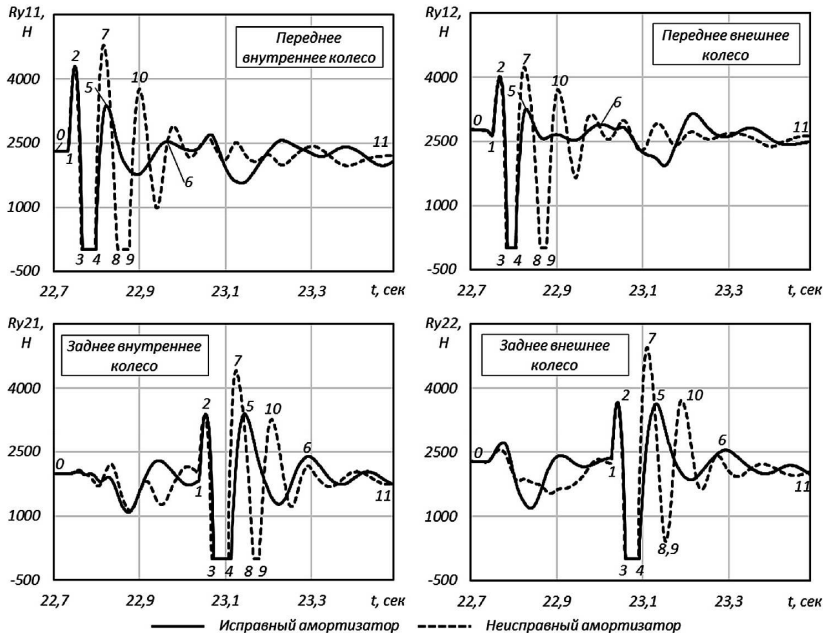


Рис. 1. Боковые реакции по колесам автомобиля (расчет)

Как видно из графиков начальные значения боковых реакций (точка 0) не равны между собой, что объясняется перераспределением нагрузки по колесам автомобиля, вследствие появления центробежной силы при движении автомобиля по окружности. Также имеются незначительные (менее 1%) отличия между начальными значениями боковых реакций для колес, демпфируемых исправными и неисправными амортизаторами.

Участок 0-1 характеризует изменение боковой реакции в пятне контакта до момента взаимодействия колеса с неровностью. Для

переднего внутреннего колеса, которое первым взаимодействует с препятствием, боковая реакция остается практически неизменной. При этом наезд данного колеса на неровность вызывает снижение боковой реакции на переднем внешнем колесе (рис. 1, точка 1). В рассматриваемых процессах не наблюдается значительных различий между боковыми реакциями передних колес, демпфируемыми исправными и неисправными амортизаторами. В свою очередь взаимодействие колес передней оси с препятствием приводит к изменениям боковых реакций колес задней оси (рис. 1, участок 0-1), по причине передачи динамического воздействия через подпрессоренную массу автомобиля. Характер изменения боковых реакций на данном участке различен для исправных и неисправных амортизаторов, при этом количественные значения изменений не имеют значительных отличий.

Участок 1-4 показывает изменение боковых реакций при непосредственном взаимодействии колес с неровностью. В данном случае нет значительных отличий по изменению боковых реакций для колес с исправными и неисправными амортизаторами. Для всех колес наблюдается увеличение боковой реакции при въезде на неровность (рис. 1, точка 2) и последующее ее снижение до нуля (рис. 1, точки 3, 4). Максимальное значение реакции при въезде изменяется в диапазоне от 140 до 211 процентов от начального значения, продолжительность отсутствия боковой реакции при съезде колеса с препятствия не превышает 0,04 сек.

Участки графиков от точки 4 до точки 11 характеризуют стабилизацию боковых реакций колес в после их взаимодействия с единичной неровностью. Характер протекания процессов при этом существенно отличается для исправных (участок 4-5-6-11) и неисправных амортизаторов (участок 4-7-8-9-10-11). При демпфировании колеса неисправным амортизатором стабилизация боковой реакции происходит с большей частотой и амплитудой по сравнению с исправным амортизатором. В трех случаях наблюдается снижение боковой реакции до нуля (участок 7-8). Указанные обстоятельства свидетельствуют о нестабильности пятна контакта, снижении

цепных свойств колеса с дорогой, что в конечном итоге приводит к ухудшению устойчивости и управляемости автомобиля.

Боковые реакции должны отвечать требованиям, предъявляемым к диагностическим параметрам: однозначности, чувствительности, стабильности и информативности [10]. Последние два свойства определяются на основе статистических исследований и в данной статье рассматриваться не будут. Чувствительность и однозначность возможно оценить аналитически на основе результатов математического моделирования процесса движения автомобиля.

Рассмотрим представленные на рис. 2 расчетные характеристики боковой реакции на переднем внутреннем колесе R_{y11} при изменении демпфирующих свойств амортизатора (где: $R_{y11}(\text{исп})$ – характеристика боковой реакции при технически исправном амортизаторе; $R_{y11}(0,9)$, $R_{y11}(0,8)$, $R_{y11}(0,7)$, $R_{y11}(0,6)$, $R_{y11}(0,5)$, $R_{y11}(0,4)$, $R_{y11}(0,3)$, $R_{y11}(0,2)$ и $R_{y11}(0,1)$ – характеристики боковых реакции при сниженных демпфирующих свойствах амортизатора до уровней 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20% и 10% соответственно).

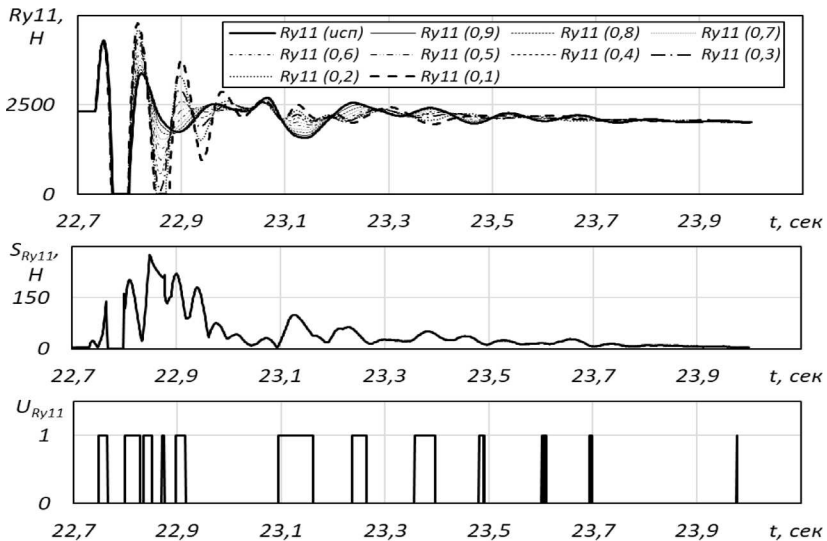


Рис. 2. Чувствительность $S_{R_{y11}}$ и показатель однозначности $U_{R_{y11}}$ боковой реакции переднего внутреннего колеса R_{y11}

Учитывая, что техническое состояние амортизаторов при моделировании задано через равные интервалы, оценку чувствительности можно получить, основываясь только на приращении величины боковой реакции. В этом случае она представляет собой среднюю величину модуля приращения боковой реакции:

$$S_{Ry} = \frac{\sum_{j=1}^n |Ry_j - Ry_{j+1}|}{n}. \quad (1)$$

Однозначность рассматривается как показатель, принимающий значение либо ноль (условие однозначности не выполняется), либо единица (условие однозначности выполняется), и определяемый по осредненному и нормированному по модулю значению приращения боковой реакции:

$$U_{Ry} = \begin{cases} U = \left(\sum_{j=1}^n \frac{(Ry_j - Ry_{j+1})}{|Ry_j - Ry_{j+1}|} \right) / n \\ 0 \rightarrow U < 1 \end{cases}. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2): Ry_j и Ry_{j+1} – боковые реакции в момент времени t ; j – индекс, характеризующий техническое состояние амортизаторов по демпфирующим свойствам.

Расчеты, выполненные по (1), показывают, что наибольшая чувствительность боковых реакций к изменению технического состояния амортизаторов наблюдается в течении 0,1 секунды после взаимодействия колеса с единичной неровностью. Максимальное значение чувствительности S_{RyII} составляет более 250 Н на каждые 10% изменения демпфирующих свойств амортизатора. При этом результаты расчетов по условию (2) свидетельствуют о наличии в данном периоде четырех зон однозначности (отсутствия экстремумов) функции боковой реакции при изменении параметра технического состояния амортизаторов.

Последующий период времени характеризуется значительным снижением уровня чувствительности, что делает его неперспективным для использования в дальнейших исследованиях. Аналогичные закономерности также наблюдаются по другим колесам автомобиля.

Полученные результаты требуют проведения экспериментальной проверки, но при этом позволяют сделать заключение о наличии потенциальной возможности определения технического состояния амортизаторов по величине и характеру изменения боковых реакций, что создает предпосылки для разработки оперативного метода контроля систем поддрессоривания колесных транспортных средств в условиях эксплуатации.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / Хачатуров А.А., Афанасьев В.Л., Васильев В.С., Гольдин Г.В., Додонов Б.М., Жигарев В.П., Кольцов В.И., Юрик В.С., Яковлев Е.И. Под ред. Хачатурова А.А. М: Машиностроение, 1976. 535 с.
2. Малюгин П.Н., Немчинов Д.В. Торможение колеса на косогоре // Сборник материалов II Национальной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство». Омск: СибАДИ, 2019. С. 290–293.
3. Кузнецов Н.Ю., Лысенко А.В., Зедгенизов В.Г. Экспериментальное исследование процесса переезда автомобилем единичной неровности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 11 (130). С. 191–198.
4. Кичигин Д.В., Зарщиков А.М. Стенд для испытания автомобильных шин в тормозном режиме // Сборник материалов II Национальной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство». Омск: СибАДИ, 2019. С. 111–114.
5. Назарько О.А. Экспериментальное исследование устойчивости легкового автомобиля в тяговом режиме движения с помощью датчиков линейного ускорения // Ученые записки Крым-

- ского инженерно-педагогического университета. 2012. № 36. С. 26–29.
6. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по окружности // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера. Конструкция, эксплуатация, экономика: материалы 90-й Международной научно-технической конференции. Иркутск: ИРНТУ, 2015. С. 232–237.
 7. Федотов А.И., Лысенко А.В., Тихов-Тинников Д.А. Контроль технического состояния подвески автомобилей в условиях эксплуатации методом движения по поперечному уклону // Журнал автомобильных инженеров. 2015. №6. С. 51–53.
 8. Кузнецов Н.Ю. Контроль технического состояния автомобильных амортизаторов на основе характеристик сцепления шин с опорной поверхностью: дис. ... канд. тех. наук. Иркутск, 2019. 221 с.
 9. Лысенко А.В. Дорожный метод контроля технического состояния амортизаторов в условиях эксплуатации: дис. ... канд. тех. наук. Иркутск, 2019. 293 с.
 10. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Кузнецов Е.С., Воронов В.П., Болдин А.П., Лукин В.П., Черненко В.А., Власов В.М., Фролов Ю.Н., Крамаренко Г.В., Янчевский В.А., Панкратов Н.П. Под ред. Кузнецова Е.С. 3 изд. М: Транспорт, 1991. 413 с.
 11. Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. №87(8). doi:10.1088/1755-1315/87/8/082018
 12. Simniceanu L. The Study of the Car's Stability Using a Simplified Model // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. №568(1). doi:10.1088/1757-899x/568/1/012053
 13. Prochowski L., Pusty T., Gidlewski M., Jemioł L. Experimental studies of the car-trailer system when passing by a suddenly appearing obstacle in the aspect of active safety of autonomous vehicles // IOP Con-

- ference Series: Materials Science and Engineering. 2018. №421(3). doi:10.1088/1757-899x/421/3/032024
14. Heerwan P.M., Asyraf S.M., Efistein A.N., Seah C.H., Zikri J.M., Syawahieda, J.N. Experimental study of the vehicle dynamics behavior during lane changing in different speeds // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. №257(1). doi:10.1088/1757-899x/257/1/012078.
15. Abdullah M.A., Jamil J.F., Salim M.A. Dynamic performances analysis of a real vehicle driving // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. №100(1). doi: 10.1088/1757-899X/100/1/012017

References

1. Hachaturov A.A., Afanas'ev V.L., Vasil'ev V.S., Gol'din G.V., Dodonov B.M., Zhigarev V.P., Kol'cov V.I., Jurik V.S., Jakovlev E.I. *Dinamika sistemy doroga – shina – avtomobil' – voditel'* [Dynamics of a system road – tyre – car – driver]. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 535 p.
2. Maljugin P.N., Nemchinov D.V. *Sbornik materialov II Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii "Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo"* [Compilation of materials of the II National Scientific and Practical Conference "Education. Transport. Innovations. Construction"]. Omsk, 2019. pp. 290-293.
3. Kuznecov N.Ju., Lysenko A.V., Zedgenizov V.G. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, no.11 (2017): 191–198.
4. Kichigin D.V., Zarshhikov A.M. *"Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo"* [Compilation of materials of the II National Scientific and Practical Conference "Education. Transport. Innovations. Construction"]. Omsk, 2019, pp. 111–114.
5. Nazar'ko O. A. *Uchenye zapiski Krymskogo inženerno-pedagogičeskogo universiteta*, no.36 (2012): 26–29.
6. Fedotov A.I., Lysenko A.V., Tihov-Tinnikov D.A. *Materialy 90-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoy konferencii "Avtomobil' dlja Sibii"*

- ri i Krajnego Seve-ra. Konstrukcija, jekspluatacija, jekonomika*” [Materials of the 90th International Scientific and Technical Conference “Car for Siberia and the Far North. Design, operation, economy”]. Irkutsk, 2015, pp. 232–237.
7. Fedotov A.I., Lysenko A.V., Tihov-Tinnikov D.A. *Zhurnal avtomobil’nyh inzhenerov*, no.6 (2015): 51–53.
 8. Kuznecov N.Ju. *Kontrol’ tehničeskogo sostojanija avtomobil’nyh amortizatorov na osnove harakteristik sčepenija shin s opornoj pov-erhnost’ju* [Monitoring the technical condition of automobile shock absorbers based on tire grip characteristics] Irkutsk: dis. ... cand. tech. sci., 2019. 221 p.
 9. Lysenko A.V. *Dorozhnyj metod kontrolja tehničeskogo sostojanija amortizatorov v uslovijah jekspluatacii* [Road method for monitoring the technical condition of shock absorbers under operating conditions] Irkutsk: dis. ... cand. tech. sci., 2019. 293 p.
 10. Kuznecov E.S., Voronov V.P., Boldin A.P., Lukin V.P., Chernenko V.A., Vlasov V.M., Frolov Ju.N., Kramarenko G.V., Jančevskij V.A., Pank-ratov N.P. *Tehničeskaja jekspluatacija avtomobilej: Učebnik dlja vuzov* [Technical Maintenance of Cars: Textbook for High Schools]. Moscow: Transport, 1991. 413 p.
 11. Fedotov A.I., Tihov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 87 (2018). doi:10.1088/1755-1315/87/8/082018
 12. Simniceanu L. *IOP Conference Series: Materials Science and Engi-neering*, 568 (2019). doi:10.1088/1757-899x/568/1/012053
 13. Prochowski L., Pusty T., Gidlewski M., Jemioł L. *IOP Conference Se-ries: Materials Science and Engineering*, 421 (2018). doi:10.1088/1757-899x/421/3/032024
 14. Heerwan P.M., Asyraf S.M., Efistein A.N., Seah C.H., Zikri J.M., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 257 (2017). doi:10.1088/1757-899x/257/1/012078.
 15. Abdullah M.A., Jamil J.F., Salim M.A. *IOP Conference Series: Ma-terials Science and Engineering*, 100 (2015). doi: 10.1088/1757-899X/100/1/012017

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Тихов-Тинников Дмитрий Анатольевич, старший научный сотрудник управления научных исследований, кандидат технических наук, доцент

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

ул. Ключевская, 40В, стр. 1, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, 670013, Российская Федерация

dm_tt@mail.ru

Федотов Александр Иванович, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, доктор технических наук, профессор
Иркутский национальный исследовательский технический университет

ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, Иркутская область, 664074, Российская Федерация

fai.abs@yandex.ru

Алексеев Алексей Васильевич, доцент кафедры «Автомобили», кандидат технических наук

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

ул. Ключевская, 40В, стр. 1, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, 670013, Российская Федерация

kafautoalexey@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tikhov-Tinnikov Dmitry Anatolyevich, Senior Researcher at the Research Department, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
*East Siberian State University of Technology and Management
40B/1, Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Republic of Buryatia,
670013, Russian Federation*

dm_tt@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0912-4109

Fedotov Alexander Ivanovich, Head of the Department of Road Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor
Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov Str., Irkutsk, Irkutsk region, 664074, Russian Federation
fai.abs@yandex.ru
Scopus Author ID: 56341065000

Alekseev Alexey Vasilyevich, Associate Professor of the Department of Cars, Candidate of Technical Sciences
East Siberian State University of Technology and Management
40B/1, Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670013, Russian Federation
kafautoalexey@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4279-0683

AUTHOR GUIDELINES

<http://ijournal-as.com/en/>

Volume of the manuscript: 7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7-10.

Margins all margins – 20 mm each

Main text font Times New Roman

Main text size 14 pt

Line spacing 1.5 interval

First line indent 1,25 cm

Text align justify

Automatic hyphenation turned on

Page numbering turned off

Formulas in formula processor MS Equation 3.0

Figures in the text

References to a formula (1)

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

ORCID:

ResearcherID:

Scopus Author ID:

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

<http://ijournal-as.com/>

Объем статей: 7-12 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-9. Рукописи большего объема принимаются по специальному решению Редколлегии.

Поля все поля – по 20 мм.

Шрифт основного текста Times New Roman

Размер шрифта основного текста 14 пт

Межстрочный интервал полуторный

Отступ первой строки абзаца 1,25 см

Выравнивание текста по ширине

Автоматическая расстановка переносов включена

Нумерация страниц не ведется

Формулы в редакторе формул MS Equation 3.0

Рисунки по тексту

Ссылки на формулу (1)

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.
2. Цель работы.
3. Материалы и методы исследования.
4. Результаты исследования и их обсуждение.
5. Заключение.
6. Информация о конфликте интересов.
7. Информация о спонсорстве.
8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

CONTENTS

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ПАРТИИ ГРУЗА ПРИ МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ <i>Луценко Е.А.</i>	7
МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОЙ ПАРТИИ ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ВЕСОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРНОГО СРЕДСТВА <i>Луценко Е.А.</i>	26
ANALYSIS OF RESIDUAL DEFORMATIONS IN CAR BODY ELEMENTS BY DIRECT INTEGRATION METHOD <i>Ablaev R.R., Ablaev A.R., Abramova L.S., Ksenofontova V.A.</i>	35
IMPACT OF ELECTRIC CARS ON THE ECOLOGY <i>Rahimov E.A.</i>	50
FUTURE DEVELOPMENT OF CARS WITH HYBRID POWER INSTALLATION <i>Sidorov M.V., Zar Ni Lin, Chijevsky K.V., Semenov M.A., Sidorov V.N.</i>	67
CHARACTERISTICS OF LATERAL REACTION AT CHANGE OF TECHNICAL CONDITION OF SHOCK ABSORBER <i>Tikhov-Tinnikov D.A., Fedotov A.I., Alekseev A.V.</i>	81
RULES FOR AUTHORS	94

СОДЕРЖАНИЕ

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE OPTIMIZING CONSIGNMENT SIZE IN INTERNATIONAL ROAD TRANSPORT <i>Lutsenko E.A.</i>	7
MODEL FOR DETERMINING THE OPTIMAL SIZE OF A MULTI-NOMENCLATURE CARGO BATCH, TAKING INTO ACCOUNT THE WEIGHT AND VOLUME CHARACTERISTICS OF THE TRANSPORT VEHICLE <i>Lutsenko E.A.</i>	26
АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КУЗОВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ <i>Аблаев Р.Р., Аблаев А.Р., Абрамова Л.С., Ксенофонтова В.А.</i>	35
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ЭКОЛОГИЮ <i>Рагимов Э.А.</i>	50
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ <i>Сидоров М.В., Зар Ни Лин, Чижевский К.В., Семенов М.А., Сидоров В.Н.</i>	67
ХАРАКТЕРИСТИКИ БОКОВОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АМОРТИЗАТОРА <i>Тихов-Тинников Д.А., Федотов А.И., Алексеев А.В.</i>	81
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	94

Доступ к журналу

Доступ ко всем номерам журнала –
постоянный, свободный и бесплатный.
Каждый номер содержится в едином файле PDF.

Open Access Policy

All issues of the ‘International Journal
of Advanced Studies’ are always open and free access.
Each entire issue is downloadable as a single PDF file.

<http://ijournal-as.com/>

Подписано в печать 31.03.2020. Дата выхода в свет 31.03.2020.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 10. Тираж 999 экз. Свободная цена.
Заказ 101/020. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
«Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии:
ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.