

ISSN 2518-170X (Online),
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
Satbayev University

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Satbayev University

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Satbayev University

**SERIES
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

5 (443)

SEPTEMBER – OCTOBER 2020

THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of geology and technical sciences scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of geology and technical sciences in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of geology and engineering sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді геология және техникалық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по геологии и техническим наукам для нашего сообщества.

Б а с р е д а к т о р ы
э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

И.К. Бейсембетов

Бас редакторының орынбасары
Жолтаев Г.Ж. проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абаканов Т.Д. проф. (Қазақстан)
Абишева З.С. проф., академик (Қазақстан)
Абсадықов Б.Н. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Агабеков В.Е. академик (Беларусь)
Алиев Т. проф., академик (Әзірбайжан)
Бакиров А.Б. проф., (Қырғызстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Қазақстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Тәжікстан)
Грэвис Р.М. проф. (АҚШ)
Жарменов А.А. проф., академик (Қазақстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Ресей)
Курскеев А.К. проф., академик (Қазақстан)
Курчавов А.М. проф., (Ресей)
Медеу А.Р. проф., академик (Қазақстан)
Мұхамеджанов М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Қазақстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (АҚШ)
Штейнер М. проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде
29.07.2020 ж. берілген № **KZ39VPY00025420** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *геология және техникалық ғылымдар бойынша мақалалар жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2020

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыр көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Г л а в н ы й р е д а к т о р
д. э. н., профессор, академик НАН РК

И. К. Бейсембетов

Заместитель главного редактора
Жолтаев Г.Ж. проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Абаканов Т.Д. проф. (Казахстан)
Абишева З.С. проф., академик (Казахстан)
Абсадыков Б.Н. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Агабеков В.Е. академик (Беларусь)
Алиев Т. проф., академик (Азербайджан)
Бакиров А.Б. проф., (Кыргызстан)
Буктуков Н.С. проф., академик (Казахстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Таджикистан)
Грэвис Р.М. проф. (США)
Жарменов А.А. проф., академик (Казахстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Россия)
Курскеев А.К. проф., академик (Казахстан)
Курчавов А.М. проф., (Россия)
Медеу А.Р. проф., академик (Казахстан)
Мухамеджанов М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Казахстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (США)
Штейнер М. проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ39VPY00025420**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *публикация статей по геологии и технических наукам.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2020

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.
Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

I. K. Beisembetov

Deputy editor in chief

Zholtayev G.Zh. prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

Abakanov T.D. prof. (Kazakhstan)
Abisheva Z.S. prof., academician (Kazakhstan)
Absadykov B.N. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Agabekov V.Ye. academician (Belarus)
Aliyev T. prof., academician (Azerbaijan)
Bakirov A.B. prof., (Kyrgyzstan)
Buktukov N.S. prof., academician (Kazakhstan)
Bulat A.F. prof., academician (Ukraine)
Ganiyev I.N. prof., academician (Tadjikistan)
Gravis R.M. prof. (USA)
Zharmenov A.A. prof., academician (Kazakhstan)
Kontorovich A.Ye. prof., academician (Russia)
Kurskeyev A.K. prof., academician (Kazakhstan)
Kurchavov A.M. prof., (Russia)
Medeu A.R. prof., academician (Kazakhstan)
Muhamedzhanov M.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Ozdoyev S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Postolatii V. prof., academician (Moldova)
Stepanets V.G. prof., (Germany)
Humphery G.D. prof. (USA)
Steiner M. prof. (Germany)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. KZ39VPY00025420**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *publication of papers on geology and technical sciences.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2020

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev

69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 5, Number 443 (2020), 181 – 187

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.119>

UDC 625.23/24.001

**V. G. Solonenko¹, N. M. Makhmetova¹, V. A. Nikolaev², M. Ya. Kvashnin¹,
S. E. Bekzhanova¹, I. A. Bazanova¹, A. A. Malik¹**

¹Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan;²Omsk State Transport University, Omsk, Russia.E-mail: v.solonenko@mail.ru, makhmetova_n1958@mail.ru, NikolaevVA@omgups.ru,
kvashnin_mj55@mail.ru, s.bekzhanova@bk.ru, inna_bazanova@mail.ru, arman.kz_1677@mail.ru

MODELING THE INFLUENCE OF THE ARTICLE DEVICE ON DYNAMIC INDICATORS OF FREIGHT WAGONS

Abstract. The article investigates the dynamic performance of a freight car with an articulation device - model SAC-1 RUS. As a criterion for assessing dynamic indicators, the acceleration of the car body and the dynamic deflections of the "spring-truck" system were selected, which characterize the ride and loss of stability of the car when it goes off the rails on various irregularities of the track.

When an articulated car moves along different path irregularities, the acceleration that occurs at various points along the length of the car is not the same. In compiling the system of differential equations of motion of the "spring - truck" system, the Lagrange equation of the second kind was used as the mathematical apparatus.

The body acceleration and the dynamic deflections of the springs were chosen as the criteria for assessing the running properties of the cars. The first characterizes the smoothness of the carriage, and the second characterizes the stability of the wheel, i.e. wheel derailment. It is known that the magnitude of the acceleration at different points along the length of the car is not the same, since the value of the vertical acceleration of bouncing is influenced by the vertical oscillations of the body's galloping. Therefore, when solving the system of differential equations, the body accelerations were determined at two points: above the center plates of the bogies and the center plate of the device for articulating freight cars or above the wheelsets, that is, in the places where acceleration sensors are installed during full-scale tests of cars.

Based on the analysis of the results obtained, it was revealed that articulated cars: exclude the possibility of relative vertical displacements of adjacent cars, with other equal dynamic parameters; lead to a noticeable deterioration in driving properties, accompanied by an increase in the value of vertical acceleration of the body. The values of accelerations and dynamic deflections of an articulated car are 6% higher than those of a four-axle freight car. The vertical acceleration of the front and rear of an articulated car is 30% greater than that of a typical car. Outside the critical speed for an articulated car, the value of vertical dynamic deflections significantly decreases in the case of an isolated irregularity with a length of 6 m or less.

Key words: articulated car, acceleration of the body, dynamic deflection, ride, articulation, unevenness of the path.

In 2019, a model articulated gondola car of increased payload capacity manufactured by Tikhvin Car-Building Plant JSC appeared on the CIS market. This gondola car model has a number of technical advantages, firstly, it improves transportation efficiency, and secondly, it provides a significant increase in the throughput of the railway network. Freight wagons should possess not only effective technical and economic characteristics, but also increased driving characteristics, stability and reliability. Therefore, it becomes necessary to conduct deep theoretical studies in order to determine the optimal dynamic performance of a freight car with an articulation device. Problems related to the study of the effective dynamic parameters of an articulated car taking into account the unevenness of the track are one of the urgent problems of transport technology and traffic safety in railway transport.

The aim of this work is to develop a mathematical model of a freight car with an articulation device that adequately describes the smoothness and stability of the car with various irregularities in the track, as

well as to give an objective assessment of the dynamic performance of an articulated car based on the solution of differential equations of motion.

In the works of Russian scientists [1-3], the results of a study of the dynamic loading of a freight car on modernized bogies of increased carrying capacity are presented, where the maximum acceleration of the car body from the speed of movement, in an empty state, is determined.

A characteristic element of a modern wagon is a device for articulating freight wagons, which is supported by a biaxial trolley (see figure 1). Wagon sections connected by a device for articulating freight wagons of the SAC-1 RUS brand allow their mutual rotation in the horizontal and vertical plane. The device is designed to connect two successive sections of the carriage with support on one common trolley.

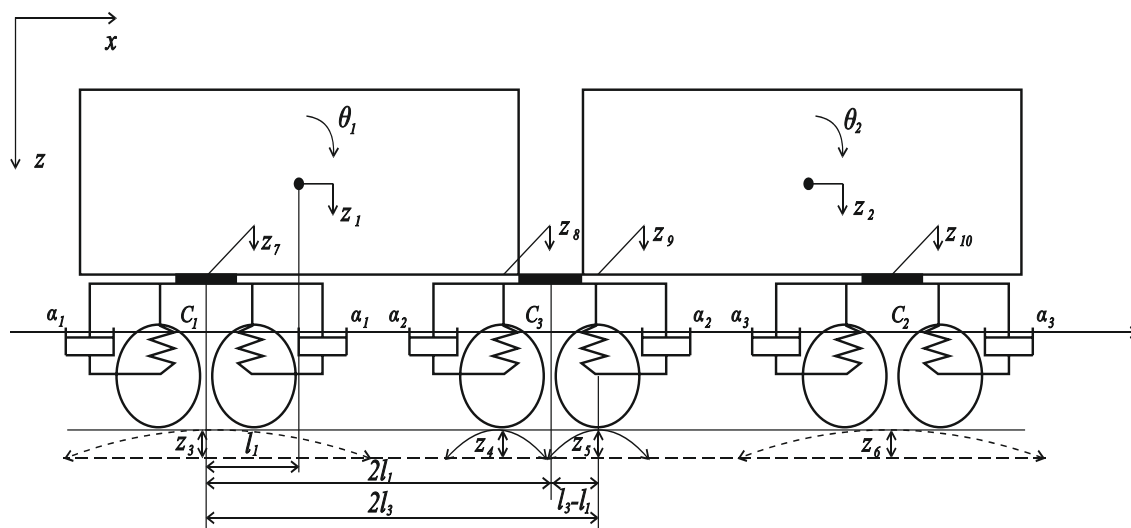


Figure 1 – Design diagram of an articulated wagon

The rotation of the sections of the car relative to the three coordinate axes is due to the presence of a spherical hinge in the structure. Consider the oscillations of an articulated car when moving along various irregularities of the path. Two types of bumps were considered, namely, periodic and isolated bumps at various lengths. Suppose that the car body is supported through the trolleys and the trolley of the articulation device on three trolleys with ordinary spring suspension. The rigidity of the carriage structure and the absorbing apparatus are taken into account through the rigidity of the articulation device, i.e. averaged stiffness is taken.

When studying plane vertical vibrations, an articulated car is considered as a special case of a generalized mechanical system, the mathematical model of which is defined as follows: an articulated car is a flat oscillatory system with degrees of freedom; suspension elements are characterized by independent parameters, i.e. mass and moment of inertia about the coordinate axes.

We assume that the wheelsets rotate relative to their own axes Oy and there is no translational movement relative to the side beams of the carts. The vertical movements of the two-part body are z_1 and z_2 , respectively, and the galloping angles are θ_1 and θ_2 . The generalized coordinates are: z_2 , θ_1 and θ_2 .

The vertical displacement of the body z_1 is determined through the generalization of the coordinates using the expression [4]:

$$z_1 = z_2 - l_3(\theta_1 + \theta_2).$$

The positive directions of the displacements z_1 , z_2 and the galloping angles θ_1 , θ_2 are shown by arrows, the symbols z_3 , z_5 , z_6 are the irregularities of the path (see figure 1).

The movement of an articulated freight car along an absolutely rigid path is given by the second-order Lagrange equation

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (1)$$

where T - is the kinetic energy, Π - is potential energy, Φ - is the dissipative function, q_i - is the generalized coordinate, \dot{q}_i - is the generalized speed, Q_i - is the generalized force corresponding to the generalized coordinate q_i . The dissipative function, kinetic and potential energy are defined below by the relations

$$\Phi = \alpha_1[\dot{z}_2 - l_3(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) - l_1\dot{\theta}_1 - \dot{z}_3]^2 + \alpha_2(\dot{z}_2 - l_1\dot{\theta}_2 - \dot{z}_5)^2 + \alpha_3(\dot{z}_2 - l_1\dot{\theta}_2 - \dot{z}_6)^2, \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{2}I_{oy}\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}I_{oy}\dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}m[\dot{z}_2 - l_3(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)]^2 + \frac{1}{2}m\dot{z}_2^2, \quad (3)$$

$$\Pi = c_1[z_2 - l_3(\theta_1 + \theta_2) - l_1\theta_1 - z_3]^2 + c_2(z_2 - l_1\theta_2 - z_5)^2 + c_3(z_2 - l_1\theta_2 - z_6)^2. \quad (4)$$

In expressions (2 - 4): I_{oy} - the central moment of inertia of the body; c_1, c_2, c_3 - stiffness of one spring set in kg/cm; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - resistance coefficients of one hydraulic damper in kg·sec/cm.

To derive a system of differential equations of motion of an articulated car, we substitute relations (2-4) into equation (1), then after some transformations we obtain a system of differential equations in the form [5]:

$$\left. \begin{aligned} (I_{oy} + ml_3^2)\ddot{\theta}_1 + ml_3^2\ddot{\theta}_2 - ml_3\ddot{z}_2 + 2\alpha_1(l_1 + l_3)^2\dot{\theta}_1 + 2\alpha_1l_3(l_1 + l_3)\dot{\theta}_2 - 2\alpha_1(l_1 + l_3)\dot{z}_2 + \\ + 2c_1(l_1 + l_3)^2\theta_1 + 2c_1l_3(l_1 + l_3)\theta_2 - 2c_1(l_1 + l_2)z_2 = -2\alpha_1(l_1 + l_3)\dot{z}_3 - 2c_1(l_1 + l_3)z_3; \\ ml_3^2\ddot{\theta} + (I_{oy} + ml_3^2)\ddot{\theta}_2 - ml_3\ddot{z}_2 + 2\alpha_1l_3(l_1 + l_3)\dot{\theta}_1 + (2\alpha_1l_3^2 + 2\alpha_2l_1^2 + 2\alpha_3l_1^2)\dot{\theta}_2 + \\ + (-2\alpha_1l_3 + 2\alpha_2l_1 + 2\alpha_3l_1)z_2 + 2c_1l_3(l_1 + l_3)\theta_1 + (2c_1l_3^2 + 2c_2l_1^2 + 2c_3l_1^2)\theta_2 + \\ + (2c_1l_3 - 2c_2l_1 + 2c_3l_1)z_2 = -2\alpha_1l_3\dot{z}_3 - 2\alpha_2l_1\dot{z}_5 + 2\alpha_3l_1\dot{z}_6 - 2c_1l_3z_3 - 2c_2l_1z_5 + 2c_3l_1z_6; \\ -ml_3\ddot{\theta}_1 - ml_3\ddot{\theta}_2 + 2m\ddot{z}_2 - 2\alpha_1(l_1 + l_3)\dot{\theta}_1 + (-2\alpha_1l_3 - 2\alpha_2l_1 + 2\alpha_3l_1)\dot{\theta}_2 + \\ + (2\alpha_1 + 2\alpha_2 + 2\alpha_3)\dot{z}_2 - 2c_1(l_1 + l_3)\theta_1 + (-2c_1l_3 - 2c_2l_1 + 2c_3l_1)\theta_2 + \\ + (2c_1 + 2c_2 + 2c_3)z_2 = 2\alpha_1\dot{z}_3 + 2\alpha_2\dot{z}_5 + 2\alpha_3\dot{z}_5 + 2\alpha_3\dot{z}_6 + 2c_1z_3 + 2c_2z_5 + 2c_3z_6; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Solving the system of differential equations (5) with respect to the highest derivatives, we obtain:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\theta}_1 = \frac{ml_1l_3^2 + 2I_{oy}l_1 + I_{oy}l_3}{2I_{oy}(I_{oy} + ml_3^2)} F_1 - \frac{l_3(ml_1l_3 + I_{oy})}{2I_{oy}(I_{oy} + ml_3^2)} F_2 + \frac{l_3(ml_1l_3 - I_{oy})}{2I_{oy}(I_{oy} + ml_3^2)} F_3, \\ \ddot{\theta}_2 = \frac{l_3(I_{oy} - ml_1l_3)}{2I_{oy}(I_{oy} + ml_3^2)} F_1 + \frac{I_{oy}(2l_1 - l_3) + ml_1l_3^2}{2I_{oy}(I_{oy} + ml_3^2)} F_2 - \frac{I_{oy}(2l_1 + l_3) + ml_1l_3^2}{2I_{oy}(I_{oy} + ml_3^2)} F_3, \\ \ddot{z}_2 = \frac{ml_1l_3 - I_{oy}}{2m(I_{oy} + ml_3^2)} F_1 + \frac{ml_1l_3 - 2ml_3^2 - I_{oy}}{2m(I_{oy} + ml_3^2)} F_2 - \frac{ml_1l_3 + 2ml_3^2 + I_{oy}}{2m(I_{oy} + ml_3^2)} F_3, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

where:

$$F_1 = [z_2 - (l_1 + l_3)\theta_1 - l_3\theta_2 - z_2]2c_1 + [\dot{z}_2 - (l_1 + l_3)\dot{\theta}_1 - l_3\dot{\theta}_2 - \dot{z}_2]2\alpha_1;$$

$$F_2 = (z_2 - l_1\theta_2 - z_5)2c_2 + (\dot{z}_2 - l_1\dot{\theta}_2 - \dot{z}_5)2\alpha_2;$$

$$F_3 = (z_2 + l_1\theta_2 - z_6)2c_3 + (\dot{z}_2 + l_1\dot{\theta}_2 - \dot{z}_6)2\alpha_3.$$

Based on a comparison of the structural elements of the articulated and typical carriage, the following geometric and mechanical characteristics were adopted: body length -19.540m, body height - 3.2m, width -3.0m, weight -42t and the total static deflection at full load is 45mm. The parameters included in equations (5-6) take the following values: $m = 39542$ kg, $l_1 = 5.21$ m, $l_3 = 6.38$ m, $I_{oy} = 183 \cdot 10^4$ kg·m², $c_1=c_3=394$ Kg/cm, $c_2=380$ Kg/cm, $\alpha_1=\alpha_2=26$ Kg/cm, $\alpha_3=44$ Kg/cm [6].

As criteria for assessing the running properties of cars, body accelerations and dynamic spring deflections were selected. The former characterizes the smooth running of the car, and the latter the stability of the wheel, i.e. wheel derailment [7]. It is known that the magnitude of the acceleration at different points along the length of the car is not the same, since the vertical vibrations of galloping of the body contribute to the value of the vertical acceleration of bouncing. Therefore, when solving the differential equations of motion, the accelerations of the body were determined at two points: above the Fridays of the trolleys and the Friday of the device for articulating freight wagons or above the wheelsets, that is, in places where acceleration sensors are installed during field tests of wagons. The depth of the

roughness of the path, that is, the double amplitude of the sinusoid or the vertical distance between the lower and upper points of the roughness is denoted by z_i (where $i=3,4,5,6$), which is 1 cm.

Figure 2 shows graphs of the dependence of the acceleration \ddot{z} of the rear of the car on the speed of movement in the case of isolated bumps, respectively, with a length of 6, 12.5 and 25 m. Curves 1, 2 and 3 correspond to path irregularities of 6, 12.5 and 25 m in length. The acceleration value of an articulated wagon is 30% greater than that of a four-axle freight wagon.

Figure 3 shows the graphs of the dynamic deflections of the rear spring sets z_δ depending on the speed of movement in the case of an isolated roughness, respectively, with a length of 6, 12.5 and 25 m. Curves 1, 2 and 3 correspond to path irregularities of 6, 12.5 and 25 m in length. The magnitude of the dynamic deflections of an articulated wagon is 6% greater than that of a four-axle freight wagon.

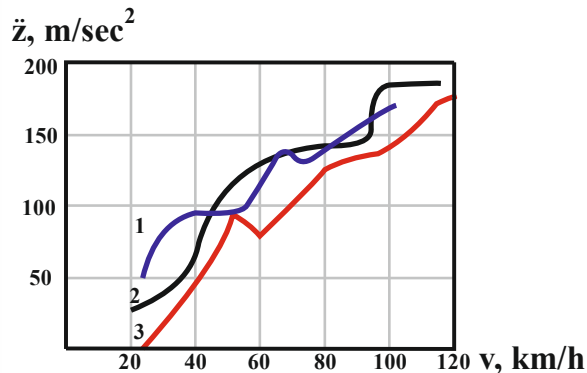


Figure 2 – Graphs of the dependence of the acceleration of the rear of the car on the speed in case isolated bumps. The curves correspond to: 1- the length of the roughness is 6 m; 2- the length of the roughness is 12.5 m; 3- the length of the roughness is 25 m

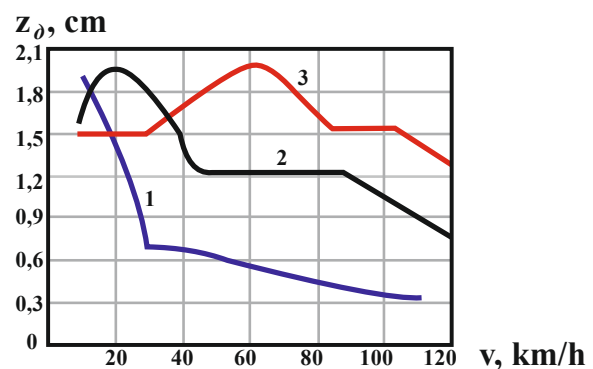


Figure 3 – Dynamic deflections of the rear spring sets depending on the speed of movement in the case of an isolated unevenness. The curves correspond to: 1- the length of the roughness is 6 m; 2- the length of the roughness is 12.5 m; 3- the length of the roughness is 25 m

Figures 4-5 show graphs of the dependence of accelerations on speed with periodic irregularities of the path, respectively, for the front and rear parts of the car. Curves 1 and 2 correspond to irregularities of the path 12.5 and 25 m long. The values of the vertical accelerations of the front and rear of the articulated car are 30% greater than that of a typical car.

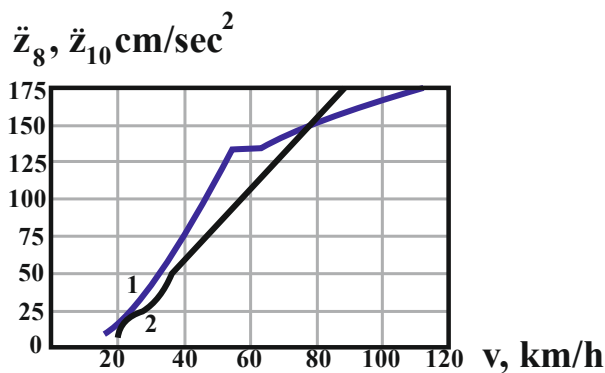


Figure 4 – Graph of the acceleration of the front parts of the car on the speed with periodic irregularities of the path. 1 - the length of the roughness is 12.5 m; 2- the length of the roughness is 25 m

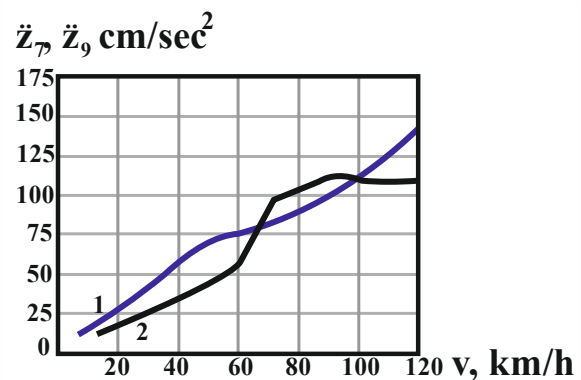


Figure 5 – Graph of the acceleration of the rear of the car from the speed. 1 - the length of the bumps is 12.5 m; 2- length of the roughness 25 m

In the case of isolated irregularities (lengths of 6, 12.5 and 25 m), the articulated car has a decrease in the value of vertical dynamic deflections with an increase in speed from 80 to 120 km/h . In the case of an isolated roughness of 6 m or less in length on an articulated car, the value of the vertical dynamic deflections significantly decreases beyond the critical speed.

In an articulated car, the vertical dynamic deflection reaches a maximum value of 2.0 cm in spring sets in the case of three irregularities, respectively, with a length of 6, 12.5 and 25 mm.

Conclusions. Based on the analysis of the results obtained, it was revealed that articulated wagons: exclude the possibility of relative vertical movements of adjacent wagons, *ceteris paribus* dynamic parameters; lead to a noticeable deterioration in driving properties, accompanied by an increase in the magnitude of the vertical acceleration of the body. The values of accelerations and dynamic deflections of an articulated wagon are 6% more than that of a four-axle freight wagon. It should be noted that the results obtained by the authors of [1-3] are in good agreement with the results of this work.

The vertical acceleration of the front and rear of an articulated car is 30% greater than that of a typical car. Outside the critical speed of an articulated car, the value of vertical dynamic deflections significantly decreases in the case of an isolated roughness of 6 m or less in length.

The analysis of the obtained results shows that the use of the articulation device of the SAC-1 RUS model worsens the dynamic characteristics of the articulated car, therefore, requires additional design solutions. Hence, as a consequence, it is necessary to conduct experimental studies in order to clarify the influence of dynamic loads on the track in accordance with the Technical Regulations for Traffic Safety in Railway Transport.

**В. Г. Солоненко¹, Н. М. Махметова¹, В. А. Николаев², М. Я. Квашнин¹,
С. Е. Бекжанова¹, И. А. Базанова¹, А. А. Малик¹**

¹М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы, Алматы, Қазақстан;

²Омбы мемлекеттік жол қатынасы университеті, Омбы, Ресей Федерациясы

ЖҮК ВАГОНЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ МҮШЕЛЕУ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ӘСЕРІН МОДЕЛДЕУ

Аннотация. Мақалада моделі SAC-1 RUS мүшелеу құрылғысы бар жүк вагонының динамикалық көрсеткіштері зерттелген. Динамикалық көрсеткіштердің бағалау критерийі ретінде вагон шанашағының үдеу және «рессор-арба» жүйесінің динамикалық иілу сипаты алынған, олар қозғалыстың бірқалыптылығын және вагонның рельстен шығып кетпеу жағдайын сипаттайды.

Мүшеленген вагонның әртүрлі тегіссіздік бойымен қозғалғанда оның ұзындығы бойынша түрлі нүктелерде пайда болатын үдеу жағдайы бірдей болмайды. «Рессор - арба» жүйесінің дифференциалдық теңдеулер жүйесін құрастыруда математикалық аппарат ретінде екінші ретті Лагранж теңдеуі қолданылды. Вагон қозғалысының дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімінен арба табанының үстіндегі және мүшелеу құрылғыларының үдеу сипаты, яғни далалық сынақ жүргізу кезінде үдеу датчиктері орнатылатын нүктелерде анықталды.

SAC-1 RUS маркалы мүшелеу қондырғысымен қосылған жүк вагондарының секциялары олардың көлденең және вертикаль жазықтықта өзара айналуына мүмкіндік береді. Құрылғы бір жалпы арбада тіреуіші бар екі тізбектей орналасқан вагон секцияларын қосуға арналған.

Вагон секцияларының үш координаталық оське қатысты бұрылуы құрылымда болатын сфералық шарнирге байланысты. Тегіссіздіктің екі түрі қарастырылды, атап айтқанда түрлі ұзындықтағы периодты және оқшауланған жол тегіссіздігі. Вагон құрылымының және жұту аппаратының қаттылығы мүшелеу құрылғысының қаттылығы арқылы ескеріледі, яғни орташа қаттылық алынады.

Доңғалақ жұптары өзінің Оу осіне қатысты айналады және арбалардың бүйірлік арқалығына қатысты ілгерлемелі орын ауыстырмайды. Екі бөліктен тұратын шанашақтың вертикаль орын ауыстыру жағдайы – z_1 және z_2 , ал шоқырақтау бұрыштары – θ_1 және θ_2 . Жалпыланған координаттар ретінде z_2 , θ_1 және θ_2 алынды.

Вагонның жүргізгіш қасиеттерін бағалау критерийлері ретінде шанашақтың үдеуі мен рессордың динамикалық иілуі алынды. Біріншісі вагон қозғалысының бірқалыптығын сипаттайды, ал екіншісі доңгелек тұрақтылығын, яғни доңгелектің рельстен шығуын сипаттайды. Вагон ұзындығы бойымен түрлі нүктелердегі үдеу шамасы бірдей емес екендігі белгілі, өйткені шанашақтың вертикаль шоқырақтау тербелісі вертикаль секіру үдеуінің сан мәніне әсер етеді. Сондықтан қозғалыс дифференциалдық теңдеуін шешкен кезде дененің үдеу үдерісі екі нүктеде анықталды: арба табандарының үстінде және жүк вагондарының мүшелеу құрылғысының табанында немесе жұп доңғалақтарының үстінде, яғни вагондарды далалық сынақтан өткізу барысындағы үдеу датчиктері орнатылған жерлерде.

Алынған нәтижелерді талдау негізінде мүшеленген вагондардың: брдей динамикалық параметрлі көршілес вагондардың салыстырмалы вертикаль орын ауыстырмайтындығы анықталды; шанақтың вертикаль үдеуінің сан мәнінің өсуі жүру сипатын айтарлықтай нашарлатады. Мүшеленген вагонның үдеуі мен динамикалық иілуінің сан мәні төрт осьті жүк вагонына қарағанда 6% артық. Мүшеленген вагонның алдыңғы және артқы бөліктерінің вертикаль үдеуінің сан мәні типтік вагонға қарағанда 30% үлкен. Ұзындығы 6 м немесе одан да аз окшауланған тегіссіздікте критикалық жылдамдықтың шегінен асқанда, мүшеленген вагонның вертикаль динамикалық иілу үдерісі айтарлықтай азаяды.

Түйін сөздер: мүшеленген вагон, шанақтың үдеуі, динамикалық иілу, қозғалыстың бірқалыптылығы, мүшелеу құрылғысы, жолдың тегіссіздігі.

**В. Г. Солоненко¹, Н. М. Махметова¹, В. А. Николаев², М. Я. Квашнин¹,
С. Е. Бекжанова¹, И. А. Базанова¹, А. А. Малик¹**

¹Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан;

²Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСТРОЙСТВА СОЧЛЕНЕНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Аннотация. В статье исследуются динамические показатели грузового вагона с устройством сочленения – модели SAC-1 RUS. В качестве критерия оценки динамических показателей выбраны ускорения кузова вагона и динамические прогибы системы «рессора – тележка», которые характеризуют плавность хода и устойчивость вагона от схода с рельсов при различных неровностях пути.

При движении сочлененного вагона по различным неровностям пути ускорение, возникающее в различных точках по длине вагона, не одинаково. При составлении системы дифференциальных уравнений движения системы «рессора – тележка» в качестве математического аппарата использовано уравнение Лагранжа 2-го рода. Из решения системы дифференциальных уравнений движения вагона определялись ускорения над пятниками тележки и устройством сочленения, т.е. в точках где, как правило, устанавливаются датчики ускорения при натурных испытаниях.

Секции вагона, соединенные устройством для сочленения грузовых вагонов марки SAC-1 RUS, допускают их взаимный поворот в горизонтальной и вертикальной плоскости. Устройство предназначено для соединения двух последовательно расположенных секций вагона с опиранием на одну общую тележку.

Поворот секций вагона относительно трех осей координат происходит за счет наличия в конструкции сферического шарнира. Рассматривались два типа неровности, а именно периодическая и изолированная неровность пути при различных длинах. Жесткость конструкции вагона и поглощающего аппарата учитываются через жесткость устройства сочленения, т.е. берется осредненная жесткость.

Колесные пары вращаются относительно собственных осей Oy и отсутствует поступательное перемещение относительно боковых балок тележек. Вертикальные перемещения кузова, состоящего из двух частей, соответственно, z_1 и z_2 , а углы галопирования - θ_1 и θ_2 . В качестве обобщенных координат приняты: z_2 , θ_1 и θ_2 .

В качестве критериев оценки ходовых свойств вагонов выбраны ускорения кузова и динамические прогибы рессор. Первые характеризуют плавность хода вагона, а вторые – устойчивость колеса, т.е. сход с рельсов колеса. Известно, что величина ускорения в различных точках по длине вагона неодинакова, поскольку на значение вертикального ускорения подпрыгивания вносит вклад вертикальные колебания галопирования кузова. Поэтому при решении дифференциальных уравнений движения ускорения кузова определялись в двух точках: над пятниками тележек и пятником устройства для сочленения грузовых вагонов или над колесными парами, то есть в местах, где устанавливаются датчики ускорения при натурных испытаниях вагонов.

На основе анализа полученных результатов выявлено, что сочлененные вагон: исключают возможность относительных перемещений по вертикали соседних вагонов, при прочих равных динамических параметрах; приводят к заметному ухудшению ходовых свойств, сопровождающихся ростом величины вертикальных ускорений кузова. Величины ускорений и динамических прогибов сочлененного вагона больше на 6%, чем четырехосного грузового вагона. Вертикальные ускорения передней и задней части сочлененного вагона больше на 30%, чем у типового вагона. За пределами критической скорости у сочлененного вагона величина вертикальных динамических прогибов существенно уменьшается в случае изолированной неровности длиной 6 м и менее.

Ключевые слова: сочлененный вагон, ускорение кузова, динамический прогиб, плавность хода, устройство сочленения, неровность пути.

Information about authors:

Solonenko Vladimir Gelevich, Professor, Doctor of Technical Sciences, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; v.solonenko@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6503-6598>

Makhmetova Narzankul Musaevna, Professor, Doctor of Technical Sciences, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; makhmetova_n1958@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7324-5832>

Nikolaev Victor Alexandrovich, Professor, Doctor of Technical Sciences, Omsk State Transport University, Omsk, Russia; NikolaevVA@omgups.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0850-1796>

Kvashnin Mikhail Yakovlevich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; kvashnin_mj55@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3969-9299>

Bekzhanova Saule Ertaevna, Professor, Doctor of Technical Sciences, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; s.bekzhanova@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6272-9567>

Bazanova Inna Amandykovna, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; inna_bazanova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1899-0092>

Malik Arman Aydinovich, Assistant-Teacher, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan; arman.kz_1677@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3651-1702>

REFERENCES

[1] Luks D.Yu. Improving the reliability of freight cars in operation // Railway transport, M. N 11, 2013. P. 52-56 (in Russ.).

[2] Nekhaev V.A. Investigation of the influence of the parameters of the nonlinear system "car-track" on the dynamics of the railway crew // Izvestia Transsib, Omsk. 2017. N 3 (31). P. 6-78. (in Russ.).

[3] Petrov V.V. Mathematical model for assessing the impact of deviations of the design parameters of the carriage bogie from the nominal values on its dynamic properties // Izvestia Transsiba, Omsk. N 2 (38), 2019. P. 55-65 (in Russ.).

[4] Musayev Janat, Vladimir Solonenko, Narzankul Mahmetova, Mikhail Kvashnin, Azamat Alpeisov, Algazy Zhauyt. Some aspects of the experimental assessment of dynamic behavior of the railway track // Journal of theoretical and applied mechanics. Vol. 55, Issue 2. P. 421-432. Warsaw 2017 (in Eng.).

[5] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Musaev J.S., Bekzhanova S.E., Kvashnin M.Ya. The method of limiting speed when passing turnouts of railway vehicles with bogies of zk-1 // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 1, N 433. P. 151-162 (in Eng.). <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.19>

[6] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Musayev J.S., Bekzhanova S.E., Kvashnin M.Ya. Stresses in elements of metal railway bridges under the action of the crew // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. Vol. 2, N 434. 2019. P. 159-165 (in Eng.). <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.50>

[7] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Nikolaev V.A., Kvashnin M.Ya., Bekzhanova S.E., Bondar I.S., Mirzabaev S.A. Analysis of the stressed-deformed state of travel pipes with the use of hardware and software complex // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. Vol. 1, N 439. 2020. P. 181-188 (in Eng.). <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.22>

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

<http://www.geolog-technical.kz/index.php/en/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, А. Ахметова*
Верстка *Д. А. Абдрахимовой*

Подписано в печать 14.10.2020.
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
14 п.л. Тираж 300. Заказ 5.