

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**

6 (444)

NOVEMBER – DECEMBER 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

D e p u t y e d i t o r i n c h i e f

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 6, Number 444 (2020), 228 – 235

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.151>

UDC 629.011

V. G. Solonenko¹, N. M. Makhmetova¹, V. A. Nikolaev², M. Ya. Kvashnin¹,
I. S. Bondar¹, K. K. Joldassova¹, M. M. Alimkulov¹

¹Kazakh Academy of Transport and Communications named after 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, ivan_sergeevich_08@mail.ru, bekkur73@mail.ru, alimkulov_murat@mail.ru

STUDY OF STABILITY OF A TANK-CONTAINER WITH A FILLED LIQUID AT LONGITUDINAL OSCILLATIONS

Abstract. The effect of the oscillating fluid on the dynamic stability of the tank-container is studied at different filling capacities. The main method for studying the dynamic stability of a railway platform with a tank-container in theoretical calculations is the method of full integration, i.e. all the solutions of the system of differential equations describing the movement of the tank-container with liquid are found, and from them a conclusion is made on the stability of the movement. The study of the longitudinal vibrations of the liquid and the tank-container is considered at various impact speeds and without taking into account the galloping angle. The solution of the system of differential equations reduces to the solution of the hydrodynamic problem.

Key words: dynamic stability, tank-container, spring kit, acceleration, hydrodynamic force, collision speed.

The problem of determining the effect of an oscillating fluid on the dynamic stability of a partially filled tank-container is solved by comparing the dynamic stability areas of a full and partially filled tank-container obtained with the same parameters of the tank-container and the railway platform, types of disturbances and driving conditions. The longitudinal vibrations of the container with the liquid have a significant effect on their stability during movement. Consider the longitudinal vibrations of the tank-container, similar to transverse vibrations. To do this, we introduce the inertial coordinate system (fixed) OXZ, and the tank-container located in the plane of the unperturbed surface (movable) O₁X₁Z₁, connected to the tank's surface (see figure 1).

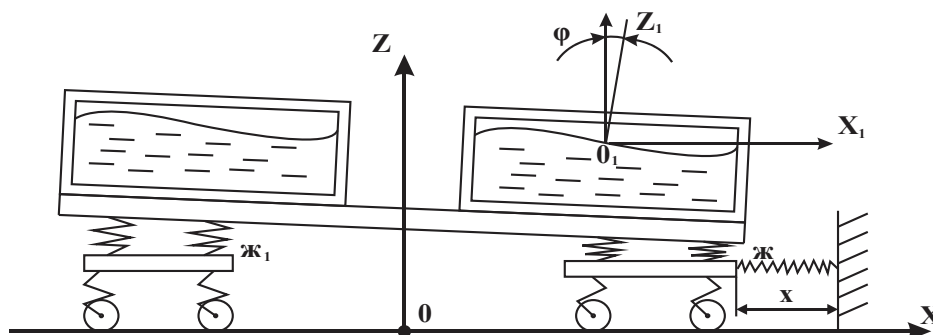


Figure 1 – Design diagram of a platform with a tank-container

The fluid motion relative to the moving system O₁X₁Z₁ will be determined by the function $q_n(t)$, and the longitudinal motion of the «container-liquid» system will be determined by the coordinate function- $X(t)$. Then the problem of hydrodynamics is formulated as follows, it is necessary to find the potential of

the absolute velocities $\varphi_a(x, z, t)$ - particles of a liquid in a container moving with a speed - $\dot{X}(t)$. Since the progressive movement of the tank-container is investigated, the potential velocity of the absolute movement will be [1]:

$$\varphi_a = \varphi + \dot{X}(t)x_1, \quad (1)$$

where \dot{X} - the speed of the tank-container in the longitudinal direction. The function $\varphi(x_1, z_1, t)$ satisfies the Laplace equation and the boundary conditions:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z_1^2} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \text{ - on a wettable surface and } \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \varphi}{\partial z_1} = 0 \text{ - on a free surface.} \quad (3)$$

The equation of the free surface in the tank-container is written in the form [2]

$$\zeta(x_1, t) = \sum q_n(t) \psi(x_1, 0).$$

Then the solution of equation (2) taking into account the boundary conditions (3) can be represented as

$$\varphi(x_1, z_1, t) = \sum \frac{d}{\pi n} \dot{q}_n(t) \dot{\psi}_n(x_1, z_1), \quad (4)$$

where $\dot{q}_n(t)$ - time functions characterizing the movement of the liquid, d - length of the tank-container; $\dot{\psi}_n(x_1, z_1)$ are the eigenvalues obtained by the Fourier method for $\dot{q}_n(t) = \cos(\omega_n t)$, i.e. when studying the natural vibrations of a liquid, the eigenvalues are determined by the formula [3]

$$\psi_n(x_1, z_1) = \frac{2}{\sqrt{d}} \sin \frac{\pi n}{d} x_1 \frac{ch \frac{\pi n}{d} (z_1 + R + h)}{ch \frac{\pi n}{d} (R\pi + h)}. \quad (5)$$

Natural frequencies are defined as follows

$$\mu_n = \frac{\omega_n^2}{g} = \frac{n\pi}{d} th \frac{n\pi}{d} \left(\frac{\pi}{4} R + h \right). \quad (6)$$

We proceed to obtain a system of equations of longitudinal oscillations of the liquid and the tank-container, taking into account the galloping of the platform. In this case, the potential velocity of the absolute motion of the liquid particles, determined by the relation (1), will take the form [4]

$$\varphi_a = \varphi + \dot{\psi} \varphi_1^{(2)} + (\dot{X} + l\dot{\psi})x_1, \quad (7)$$

where $\varphi_1^{(2)}$ - is the Zhukovsky potential, whose approximate value is determined by the relation

$$\varphi_1^{(2)} = x_1 z_1 + x_1^0 z_1 - x_1 z_1^0 - \frac{(-1)^{n+1} 8d^2}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \frac{sh \frac{(2n-1)\pi}{d} \left(z_1 + \frac{R\sqrt{\pi}}{2} + h \right)}{ch \frac{(2n-1)\pi}{d} \left(\frac{R\sqrt{\pi}}{2} + h \right)} \sin \frac{(2n-1)\pi}{d} x_1, \quad (8)$$

where x_1^0, z_1^0 - are the coordinates of the center of gravity of the fluid.

To compile the Lagrange equation, we represent the kinetic and potential energy in the form [5]

$$T = \frac{1}{2} m_1 \dot{X}^2 + \gamma \rho \dot{X} \sum_{n=1}^{\infty} \dot{q}_n a_n + \frac{1}{2} m_{\mathcal{K}} \gamma \dot{X}^2 + \frac{1}{2} \gamma \sum m_n \dot{q}_n^2,$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \mathcal{K} X^2 + \frac{1}{2} \gamma \rho g \sum g_n^2 + \frac{1}{2} \mathcal{K} c_1 \psi(X),$$

and the dispersion function from vibration dampers in spring sets and from the conventional absorbing apparatus of the tank-container will be found by the formula [6]

$$\Phi = \frac{1}{2} \gamma \sum \varepsilon_n \dot{q}_n^2 + \varphi \mathcal{K} |X \dot{X}|.$$

The static characteristic $F(X)$ of the absorbing apparatus, taking into account the rigidity of the tank-container, will take the following values

$$F(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } a |X| < \delta; \\ X[1 + \varphi \text{sign}(X\dot{X})], & \delta \leq X \leq \Delta; \\ f(X), & \text{if } a |X| > \Delta; \end{cases} \quad (9)$$

where

$$f(X) = \begin{cases} 0, & \text{at } X < \Delta; \\ N + \kappa_2(X - \Delta) & \text{at } |X| > \Delta; \end{cases}$$

Δ - is the course of the absorbing apparatus, the characteristic of the real absorbing apparatus is shown in figure 2.

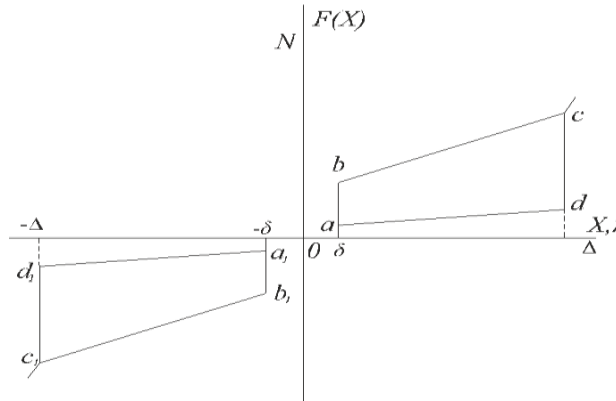


Figure 2 – Static characteristic of an absorbing apparatus

Substituting the potential and kinetic energy ratios, the scattering functions into the Lagrange equation of the second kind and, after performing some transformations, we obtain a system of differential equations describing the longitudinal vibrations of the liquid and the tank-container, taking into account the galloping of the railway platform at various speeds of collisions [7]:

$$\begin{cases} M\ddot{X} + l_2 m^* \ddot{\psi} + \rho \sum a_{2n-1} \ddot{q}_{2n-1} + F(X) = 0, \\ (I_1 + I^*) \ddot{\psi} + l_2 m^* \ddot{X} + \rho \sum \beta_{2n-1} \ddot{q}_{2n-1} + k^2 \psi + 2\beta l_3 \dot{\psi} - \rho g \sum a_{2n-1} \ddot{q}_{2n-1} = 0, \\ \rho \beta_{2n-1} \ddot{\psi} + \frac{\rho}{\mu_{2n-1}} \ddot{q}_{2n-1} + \rho a_{2n-1} \ddot{X} + 2\varepsilon_{2n-1} \frac{\rho}{\mu_{2n-1}} \dot{q}_{2n-1} - \rho g a_{2n-1} \psi + \rho g q_{2n-1} = 0, \end{cases} \quad (10)$$

where l_2 is the distance from the center of gravity of the «tank-container-liquid» system to the center of oscillation O; $2l_3$ - base of the tank-container; m^* - is the compressed mass of the tank-container and railway platform; I_1 - moment of inertia of the tank-container relative to the transverse axis of rotation; I^* - is the moment of inertia of the equivalent body; $k^2 = 2\kappa l_3^2 - \rho g \tau_0 l_1 - m_1 g l_2$.

The hydrodynamic coefficients a_{2n-1} and β_{2n-1} are the coefficients of series expansion [8]

$$x_1 = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \psi_n(x_1, 0) u \varphi_1^2 = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \psi_n(x_1, 0) dx,$$

moreover

$$a_n = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} x_1 \psi_n(x_1, 0) dx \quad u \quad \beta_n = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} (\varphi_1^{(2)})_{z_1=0} \psi_n(x_1, 0) dx.$$

Calculating these integrals, we obtain

$$a_{2n-1} = \frac{2d^{\frac{3}{2}}}{(2n-1)^2 \pi^2}; \quad (11)$$

$$\beta_{2n-1} = \frac{2z^0 d^{\frac{3}{2}}}{(2n-1)^2 \pi^2} + \frac{8d^{\frac{3}{2}}}{(2n-1)^3 \pi^3} th \frac{(2n-1)\pi}{d} \left(\frac{R\sqrt{\pi}}{2} + \right). \tag{12}$$

By changing variables in the system of equations (10) $q_{2n-1} = x_{2n-1} a_{2n-1} \mu_{2n-1}$ we get [9]

$$\begin{cases} m\ddot{X} + l_2 m^* \ddot{\psi} + \sum \tilde{m}_{2n-1} \ddot{x}_{2n-1} + F(X) = 0, \\ I\ddot{\psi} + l_2 m^* \ddot{X} + \sum \delta_{2n-1} \tilde{m}_{2n-1} x_{2n-1} + k^2 \psi + 2\beta l_3 \dot{\psi} - g \sum \tilde{m}_{2n-1} x_{2n-1} = 0, \\ \delta_{2n-1} \ddot{\psi} + \ddot{X} + \ddot{x}_{2n-1} + 2\varepsilon_{2n-1} \dot{x}_{2n-1} - g\psi + \omega_{2n-1}^2 x_{2n-1} = 0, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \tag{13}$$

The following notation is introduced in these equations:

$$I = I_1 + I^*; \delta_{2n-1} = z_1^0 + \frac{4d}{\pi} th \frac{(2n-1)\pi}{d} (\sqrt{\pi}R + h); \omega_{2n-1}^2 = g\mu_{2n-1}; \tilde{m}_{2n-1} = \rho a_{2n-1}^2 \mu_{2n-1} \gamma.$$

All coefficients of this system can be calculated and, therefore, it can be integrated. Using standard programs, all unknowns that are part of the system of equations (13), functions and their derivatives were obtained. At the same time, the longitudinal force was calculated according to relations (9) and the coefficient of dynamics k_{dyn} of spring sets according to the formula

$$k_{dyn} = \frac{\alpha\psi + \beta\dot{\alpha}\dot{\psi}}{P_{cm}}. \tag{14}$$

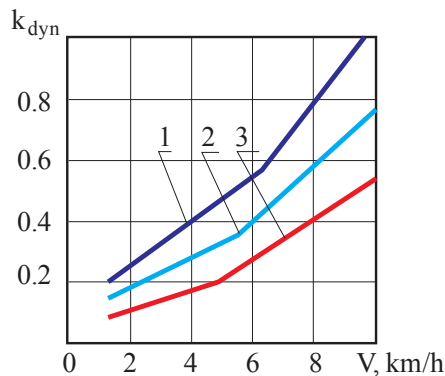
The resulting force of the hydrodynamic pressure of the liquid on the right bottom X_2^1 and on the left bottom X_2^2 will be equal to:

$$X_2^1 = \rho \iint \left(\frac{\partial \varphi_a}{\partial t} \right)_{x=\frac{d}{2}} ds; X_2^2 = -\rho \iint \left(\frac{\partial \varphi_a}{\partial t} \right)_{x=-\frac{d}{2}} ds.$$

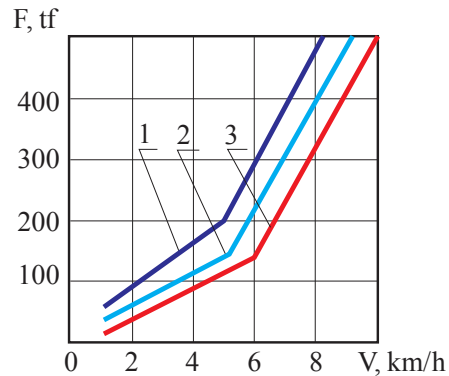
The magnitude of the hydrodynamic force will be equal to: $X_2 = X_2^1 + X_2^2$. To calculate the hydrodynamic pressure of the liquid on the bottom during the collision of the tank-container, hydrostatic force should be added to the hydrodynamic force [10]

$$P_2 = X_2 + X_2^{cm} = X_2 + \iint_{\Sigma+s} (\rho_0 + \rho g z_1) ds.$$

Below are some results obtained on the basis of the proposed methodology using standard programs. Figures 3 and 4 show graphs of the dependence, respectively, of the coefficient of dynamics and longitudinal force on the speed of collision. The curves correspond to loading cases: 1- one tank-container; 2- two tank-containers; 3- three tank-containers.



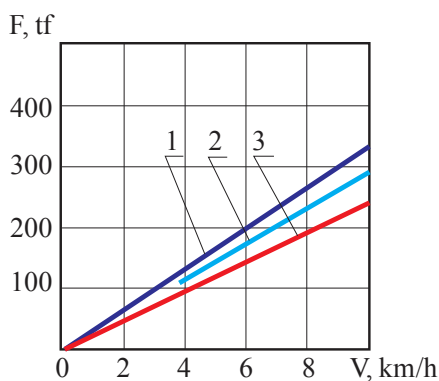
The curves correspond to the load: 1-one tank-container; 2- two tank-containers; 3- three tank-containers
Figure 3 – Graph of the dynamics coefficient versus impact velocity



The curves correspond to the load: 1- one tank-container; 2- two tank-containers; 3- three tank-containers
Figure 4 – Graph of longitudinal force versus impact velocity

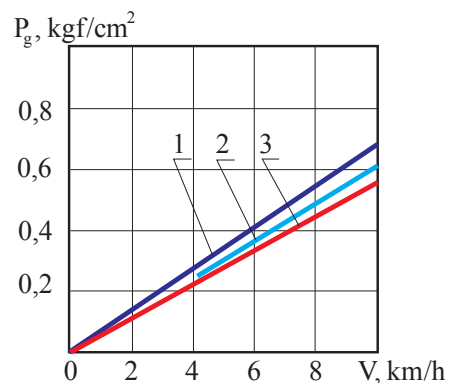
As can be seen from figure 3, the dynamic coefficient in the cases of loading two and three tank-containers is much less for the case of loading one tank-container for all impact speeds. The decrease in the value of the dynamics coefficient in these cases can be explained by the significantly greater inertia of these tank-containers, i.e. an increase in ρ - is the radius of inertia. For the case of loading three tank-containers, the limit value of the dynamics coefficient is reached at approximately a collision speed of 10 km/h.

Figure 4 shows that the longitudinal force increases with an increase in the collision velocity; moreover, the longitudinal force in the case of loading two and three tank-containers is higher than in the case of loading one tank-container. This is explained by the fact that the maximum longitudinal force is proportional to the square root of the platform mass [2,11] and, therefore, for the same stiffness of the inter-car connections, a greater longitudinal force will be manifested when a larger tank-container collides. Figures 5 and 6 show graphs of, respectively, the longitudinal force and hydrodynamic pressure versus the collision speed during underfilling of the tank-container. The curves correspond to the cases: 1- underfilling 0.3m; 2- underfilling 0.6m; 3- underfilling 0.9m.



The curves correspond to: 1 - underfilling 0.3 m;
2- underfilling 0.6m; 3- underfilling 0.9m

Figure 5 – Graph of the longitudinal force versus collision speed during underfilling of the tank-container



The curves correspond to: 1 - underfilling 0.3 m;
2- underfilling 0.6m; 3- underfilling 0.9m

Figure 6 – Graph of hydrodynamic pressure versus collision speed during underfilling of the tank- container

From the analysis of graphs 5 and 6 it is seen that the longitudinal force and hydrodynamic pressure of the liquid on the bottom of the container with an increase in the impact velocity increase at the same level of filling with liquid. With an increase in underfilling at the same collision velocity, the hydrodynamic pressure of the liquid increases. It should be noted that the effect of the oscillating fluid on the maximum longitudinal forces of the tank-container is less affected than the hydrodynamic pressure of the fluid in the bottom.

Conclusions: The dynamic coefficient in cases of loading two and three tank-containers is much less than in comparison with the case of loading one tank-container for all impact speeds. The decrease in the value of the dynamics coefficient in these cases can be explained by the significantly greater inertia of these tank-containers, i.e. an increase in ρ - is the radius of inertia.

Longitudinal force increases with an increase in collision velocity; moreover, the longitudinal force in cases of loading two and three tank-containers is higher than in comparison with the case of loading one tank-container. The longitudinal force and hydrodynamic pressure of the liquid on the bottom of the container with increasing collision velocity increase at the same level of filling with liquid. With an increase in underfilling at the same collision velocity, the hydrodynamic pressure of the liquid increases.

В. Г. Солоненко¹, Н. М. Махметова¹, В. А. Николаев², М. Я. Квашнин¹,
И. С. Бондарь¹, К. К. Джолдасова¹, М. М. Алимкулов¹

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

²Омбы мемлекеттік жол қатынасы университеті, Омбы, Ресей

БОЙЛЫҚ ТЕРБЕЛІС БАРЫСЫНДА СҰЙЫҚПЕН ТОЛТЫРЫЛҒАН ТАНК-КОНТЕЙНЕРДІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Тербелмелі сұйықтықтың танк-контейнердің динамикалық тұрақтылығына түрлі деңгейде толтыру барысындағы әсері зерттеледі. Теориялық есептеуде танк-контейнері бар теміржол платформасының динамикалық тұрақтылығын зерттеудің негізгі әдісі – толық интеграциялау әдісі, яғни ішінде сұйықтық бар танк-контейнер қозғалысын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесінің барлық шешімі анықталды және сол бойынша қозғалыс тұрақтылығы туралы қорытынды жасалды. Сұйықтық пен танк-контейнердің бойлық тербелістерін зерттеу түрлі соқтығысу жылдамдығында қарастырылады.

Қозғалмаған бос беттің $O_1x_1z_1$ жазықтығында орналасқан, инерциялық OXZ және танк-контейнерге байланысты екі координаталық жүйені енгіземіз. Сұйықтық пен танк-контейнердің бойлық тербелістері серпіліс бұрышты ескерусіз қарастырады, яғни қозғалатын координаталар жүйесіне қатысты сұйықтық қозғалысы $q(t)$ функциясымен, ал бойлық тербеліс «контейнер-сұйықтық» жүйесінің қозғалысы $X(t)$ координат функциясы түрінде қарастырылады. Шешім гидродинамикалық есепті шешуге септігін тигізеді, яғни $\dot{X}(t)$ жылдамдықпен қозғалатын контейнердегі сұйықтықтың абсолютті жылдамдығын табуымыз қажет.

Теміржол платформасының серпілуін ескере отырып, сұйықтық пен танк-контейнердің бойлық тербелістерінің дифференциалдық теңдеулер жүйесі соқтығысу жылдамдығын ескере отырып, 2-ші ретті Лагранж теңдеуі негізінде алынды. 2-ші ретті Лагранж теңдеуін құру үшін кинетикалық және потенциалдық энергия, серіппелі дірілдеткіш қондырғылардан және танк-контейнерінің әдеттегі сіңіру аппараттарынан шашырау функциясы есептелді.

Стандартты бағдарламаларды қолдана отырып, дифференциалдық теңдеулер жүйесіне кіретін барлық белгісіз мәлімет, функция және олардың туындылары алынды. Сонымен қатар серіппелі жиынтықтардың бойлық күші мен динамика коэффициенті есептелді.

Сандық тәжірибелер ұсынылған әдіс негізінде стандартты бағдарламаларды қолдану негізінде жүргізілді. Сандық тәжірибе нәтижелері соқтығысу жылдамдықтарынан динамика коэффициенті, бойлық және гидродинамикалық күштер тәуелділік графигі түрінде келтірілген.

Екі және үш танк-контейнерін тиеу кезінде динамика коэффициенті барлық соқтығысу жылдамдығы үшін бір танк-контейнерін тиеумен салыстырғанда, едәуір аз. Бұл жағдайда динамик коэффициентінің төмендеу жағдайын осы танк-контейнер инерциясы, яғни ρ -инерция радиусының едәуір жоғарылау сипатымен түсіндіруге болады.

Бойлық күш соқтығысу жылдамдығының жоғарылауы негізінде артады, дегенмен екі және үш танк-контейнерін тиеу кезінде бойлық күштің мәні, бір танк-контейнерін тиеумен салыстырғанда үлкен келеді. Соқтығысу жылдамдығының жоғарылауы арқылы контейнер түбіндегі сұйықтың бойлық күші мен гидродинамикалық қысымы сұйықтықпен толтыру бір деңгейге жеткенде артады. Бірдей соқтығысу жылдамдығымен құйылып, аз толтырылғанда сұйықтықтың гидродинамикалық қысымы артады.

Түйін сөздер: динамикалық орнықтылық, танк-контейнер, рессорлық жинақ, үдеу, гидродинамикалық күш, соқтығысу жылдамдығы.

В. Г. Солоненко¹, Н. М. Махметова¹, В. А. Николаев², М. Я. Квашнин¹,
И. С. Бондарь¹, К. К. Джолдасова¹, М. М. Алимкулов¹

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

²Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТАНКА-КОНТЕЙНЕРА ЗАПОЛНЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Аннотация. Изучается влияние колеблющейся жидкости на динамическую устойчивость танка-контейнера при различной заполняемости емкости. Основным методом исследования динамической устойчивости железнодорожной платформы с танком-контейнером при теоретических расчетах является метод полной интеграции, т.е. находятся все решения системы дифференциальных уравнений, описывающих движение

танка-контейнера с жидкостью, и по ним выдается заключение об устойчивости движения. Исследование продольных колебаний жидкости и танка-контейнера рассматривается при различных скоростях соударения.

Введем две системы координат: инерционную OXZ и связанную с танком-контейнером, находящуюся в плоскости невозмущенной свободной поверхности $O_1x_1z_1$. Рассматриваются продольные колебания жидкости и танка-контейнера без учета угла галлопирования, т.е. движение жидкости относительно подвижной системы координат рассматривается функцией $q(t)$, а продольное колебание движение системы «контейнер-жидкость» в виде функции координаты $X(t)$. Решение сводится к решению задачи гидродинамики, т.е. нахождению абсолютной скоростей жидкости в емкости контейнера, движущейся со скоростью $\dot{X}(t)$.

Система дифференциальных уравнений продольных колебаний жидкости и танка-контейнера с учетом галлопирования железнодорожной платформы получена на основе уравнения Лагранжа 2-го рода с учетом скорости соударения. Для составления уравнения Лагранжа 2-го рода были вычислены кинетическая и потенциальная энергия, функция рассеивания от гасителей колебаний в рессорных комплектах и от условного поглощающего аппарата танка-контейнера.

С использованием стандартных программ были получены все неизвестные, входящие в систему дифференциальных уравнений, функции и их производные. Одновременно были вычислены продольная сила и коэффициент динамической перегрузки рессорных комплектов.

Были проведены численные эксперименты на основе предложенной методики с использованием стандартных программ. Результаты численных экспериментов представлены в виде графиков зависимостей, соответственно, коэффициента динамики, продольной и гидродинамической силы от скорости соударения.

Коэффициент динамики в случаях загрузки двух и трех танков-контейнеров значительно меньше, чем по сравнению случаем загрузки одного танка-контейнера для всех скоростей соударения. Уменьшение значения коэффициента динамики в данных случаях можно объяснить значительно большей инерционностью этих танков-контейнеров, т.е. увеличением ρ - радиуса инерции.

Продольная сила растет с увеличением скорости соударения; причем значение продольной силы в случаях загрузки двух и трех танков-контейнеров больше, чем по сравнению случаем загрузки одного танка-контейнера. Продольная сила и гидродинамическое давление жидкости на днище контейнера с увеличением скорости соударения увеличиваются при одном и том же уровне заполнения жидкостью. При увеличении недолива при одной и той же скорости соударения гидродинамическое давление жидкости увеличивается.

Ключевые слова: динамическая устойчивость, танк-контейнер, рессорный комплект, ускорение, гидродинамическая сила, скорость соударения.

Information about authors:

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

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

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

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

Bondar Ivan Sergeevich, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan, Senior Lecturer, Candidate of Technical Sciences, Almaty, Kazakhstan; ivan_sergeevich_08@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7376-5643>

Joldassova Kuralay Kairberlinovna, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Almaty, Kazakhstan; bekkur73@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6407-9529>

Alimkulov Murat Mambetkulovich, Kazakh Academy of Transport and Communications named by M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, alimkulov_murat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1882-760X>

REFERENCES

- [1] Vershinsky S.V., Danilov V.N., Chelnokov I.I. The dynamics of cars. M.: Transport. 1988. 301 p. (in Russ.).
- [2] Cherkashin Yu.M. Calculation of transverse vibrations of a liquid and a side bump of a tank with incomplete filling // Vestnik VNIIZhT, 2009. N 3. P. 5-10 (in Russ.).
- [3] Filatov A.N. On the dynamic action of a liquid on a tank under arbitrary acceleration // Transactions of the Institute of Mechanics, 1996. Vol. 21. P. 107-111 (in Russ.).
- [4] Bauer H.F. Theory of liquid sloshing in compartmented cylindrical tanks due to bending excitation // AJAA Journal, 2003. Vol. 1, N 7. P. 1590-596 (in Eng.).
- [5] 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. Warsaw 2017. Vol. 55, Issue 2. P. 421-432. DOI: 10.15632/jtam-pl.55.2.421 (in Eng.)
- [6] Makhmetova N.M., Solonenko V.G., Bekzhanova S.E. The calculation of free oscillations of an anisotropic three-dimensional array of underground structures // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2017. Vol. 2, N 422. P. 175-184 (in Eng.).
- [7] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Bekzhanova S.E., Kvashnin M.Ya. Determination of rail voltages after impact of mobile composition // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2017. Vol. 5, N 425. P. 262-269 (in Eng.).
- [8] Gopak K.I. Hydrodynamic shock in a railway tank // In the book. Hydrodynamics and theory of elasticity. M. 2008. Vol. 7. P. 14-19 (in Russ.).
- [9] Solonenko V.G., Makhmetova N.M., Musayev J.S., Bekzhanova S.E., Kvashnin M.Ya. The method of limiting speed when passing turnouts of railway vehicles with bogies of model zk1 // 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>
- [10] 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. 2019. Vol. 2, N 434. P. 159-165 (in Eng.). <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.50> (in Eng.)
- [11] 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. 2020. Vol. 1, N 439. 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 15.12.2020.
Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
17,6 п.л. Тираж 300. Заказ 6.