

М. М. Козяр¹, Л. В. Войтович¹, Л. С. Серілко¹, В. О. Щурик¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВІЛЬНОРОЛИКОВОЇ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ЗМІЩЕННІ НАПІВФОРМ

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

В статті наведено результати дослідження динаміки вільноролікової центрифуги для виготовлення залізобетонних трубчастих виробів (типу центрифуги МР-380, з горизонтальним пружним підвищенням форми-опалубки) при радіальному зміщенні напівформ. Математична модель відповідної механічної системи, створена шляхом складання диференціальних рівнянь руху та програмного забезпечення для їх розв'язання, дозволила оцінити вплив на динаміку центрифуги чинника зміщення напівформ.

ВСТУП

Центрифугування є одним із найбільш поширених способів формування (розподілу та ущільнення) бетонної суміші при виготовленні бетонних і залізобетонних трубчастих виробів [1], зокрема стояків опор ЛЕП. Однак, при експлуатації центрифуг для виготовлення довгомірних трубчастих виробів виникають проблеми, пов'язані із збуренням коливань форми-опалубки та її підвіски внаслідок неточного скріплення напівформ. В нинішніх умовах виробництва це трапляється досить часто, оскільки використовується, в основному, зношений опалубочний парк. В той же час в існуючих джерелах досліджується динаміка подібних центрифуг лише за умови точного збирання форм [2]. На прикладі центрифуги МР-380 [3] (рис. 1), що найчастіше використовується для формування стояків опор ЛЕП (в т. ч. стояків СЦ20211 – на Стрийському ВАТ «Галенергобудпром») і є проблемною [2] з точки зору оптимальності характеристик жорсткості й інерційних, авторами досліджено коливання опорних станин (2) центрифуги при статичній незрівноваженості (ексцентриситеті – $e = |O_1C_1|$) форми-опалубки (з наповненням) (1) та радіальному зміщенні напівформ – δ . Крім того, процес центрифугування розглядався лише на стадії ущільнення, коли вплив зміщення напівформ є найбільш суттєвим, з огляду на високу швидкість обертання. В такому випадку форму-опалубку (з наповненням) можна вважати твердим тілом.

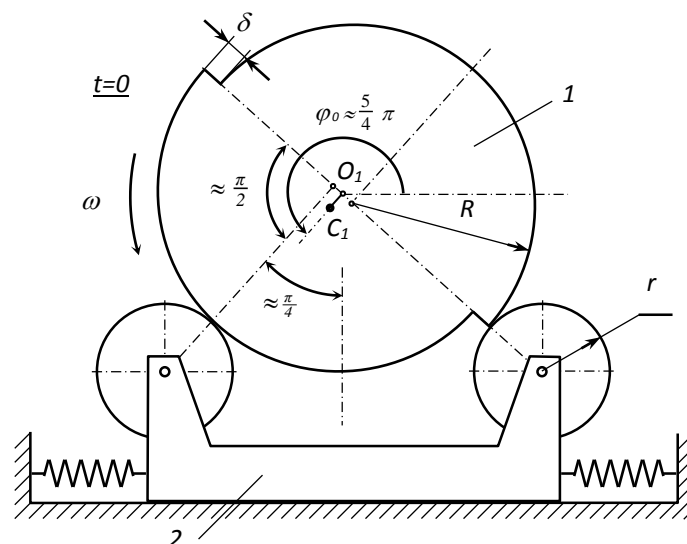


Рисунок 1 – Конструктивна схема центрифуги типу МР-380 (положення при $t = 0$)

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для складання диференціальних рівнянь руху досліджувану систему представлено у спрощеному вигляді (рис. 2). Щоб визначити горизонтальне зміщення s форми-опалубки відносно опорної станини (при параметрах системи, близьких до виробничих: $R=0,262$ м; $r=0,250$ м;

$\delta=0\dots0,010$ м) проведено графічно-геометричний експеримент і встановлено наближену траєкторію геометричного центра O_1 форми-опалубки в русі відносно опорної станини (рис. 3), вважаючи цей рух безвідривним. Тоді залежність $s(t)$ визначиться проектуванням траєкторії на вісь x , за умови, що час переходів $0 \rightarrow 1$ та $2 \rightarrow 3$ незначний, а обертання рівномірне. Решта параметрів системи (інерційні, жорсткісні, демпфуючі та швидкісні) також приймалися близькими до виробничих [3], а саме: $m_1 \approx 2m_2 \approx 20000$ кг; $c \approx 0,868 \cdot 10^7$ Н/м; логарифмічний декремент затухання коливань станини $\ln(A_k/A_{k+1}) \approx \ln 8$; $\omega \approx 42$ с⁻¹.

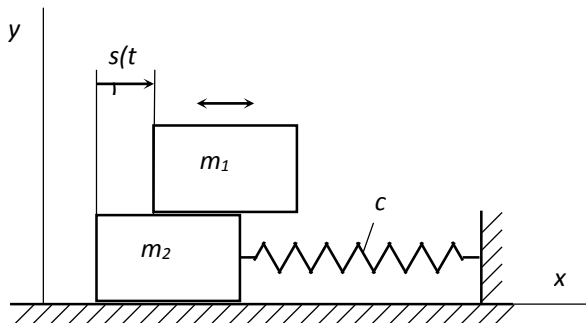


Рисунок 2 – Динамічна модель центрифуги (s – горизонтальне зміщення форми-опалубки відносно опорної станини)

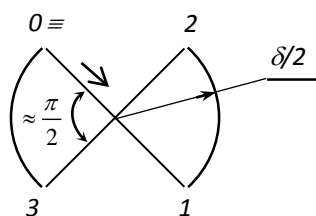


Рисунок 3 – Траєкторія руху геометричного центра O_1 форми-опалубки відносно опорної станини (при $\delta \ll R$; наближено; напрям руху: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$, причому, так двічі за період $T=2\pi/\omega$)

Рух форми-опалубки, відповідно вибраній динамічній моделі системи (рис. 2), описується диференціальним рівнянням (1), а рух опорної станини – рівнянням (2), причому $x_1=x_2+s(t)$:

$$m_1 \ddot{x}_1 = R; \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = -R - \alpha \dot{x}_2 - cx_2, \quad (2)$$

де R – горизонтальна складова реакції станини; α – коефіцієнт демпфування (в'язкого тертя, еквівалентного повному); c – жорсткість пружин.

Враховуючи, що $m_1 + m_2 = m$, з рівнянь (1) та (2) отримано

$$m \ddot{x}_2 + \alpha \dot{x}_2 + cx_2 = -m_1 \cdot \ddot{s}(t), \quad (3)$$

яке є рівнянням вимушених коливань, тому може бути представленим [4, с. 73] у вигляді

$$\ddot{x}_2 + 2n \cdot \dot{x}_2 + k^2 \cdot x_2 = \frac{1}{m} \cdot F^{3\delta}, \quad (4)$$

де $F^{3\delta}$ – збурююча сила; $k = \sqrt{c/m}$ – власна циклічна частота коливань станини разом з формою-опалубкою; $n \approx k \cdot \ln(A_k/A_{k+1}) / (2\pi)$ – коефіцієнт, що характеризує тертя. Тут A_k/A_{k+1} – відношення двох послідовних максимальних відхилень у власних коливаннях цієї системи.

В рівнянні (4) x_2 визначається, згідно з принципом суперпозиції, як результат дії 3-х збудуючих сил: гармонійної сили $F_1^{3\delta} = m_1 \cdot e \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$ – внаслідок незбалансованості форми з наповненням [5]; періодичної але не гармонійної сили $F_2^{3\delta}$ – внаслідок зміщення напівформ (й, відповідно, появи $s(t)$); періодичної знакозмінної ударної сили $F_3^{3\delta}$ (рис. 4). Слід зазначити, що дійсна картина коливань системи від останнього чинника залежить від напрямку зміщення напівформ при певному напрямку обертання і навпаки. На рис. 1 показано варіант, при якому із зростанням швидкості обертання фактор зміщення дещо «згладжується». Однак у всіх викладках враховувався варіант «жорсткішого» прояву даного фактора, що відповідає прийнятому припущенню про безвідривність руху форми-опалубки на опорній станині.

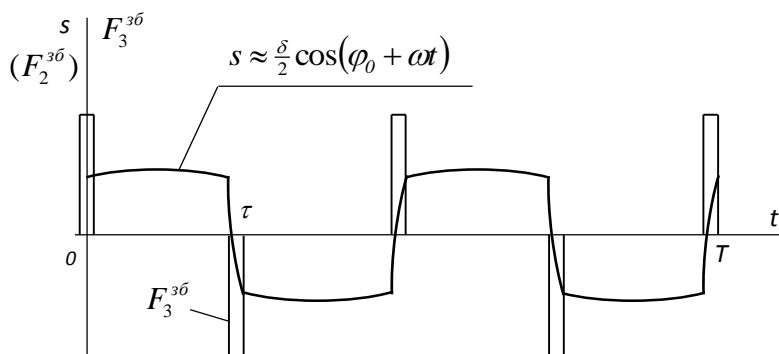


Рисунок 4 – Графіки залежностей $s(t)$ та $F_3^{3\delta}(t)$ (схематично, без дотримання пропорцій)

Таким чином, враховуючи, що $F^{3\delta} = F_1^{3\delta} + F_2^{3\delta} + F_3^{3\delta}$ і, відповідно, $x_2 = x_2^* + x_2^{**} + x_2^{***}$, з рівняння (4) маємо:

$$\ddot{x}_2^* + 2n \cdot \dot{x}_2^* + k^2 \cdot x_2^* = \frac{1}{m} \cdot F_1^{3\delta}, \quad (5)$$

$$\ddot{x}_2^{**} + 2n \cdot \dot{x}_2^{**} + k^2 \cdot x_2^{**} = \frac{1}{m} \cdot F_2^{3\delta}, \quad (6)$$

$$\ddot{x}_2^{***} + 2n \cdot \dot{x}_2^{***} + k^2 \cdot x_2^{***} = \frac{1}{m} \cdot F_3^{3\delta}. \quad (7)$$

Розв'язком диференціального рівняння (5) коливань під дією гармонійної сили $F_1^{3\delta}$ [4] є

$$x_2^* = A_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0 - \Theta_1), \quad (8)$$

де $A_1 = \frac{m_1 e \omega^2}{m \cdot \sqrt{(k^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}}$ – амплітуда відповідних коливань; $\Theta_1 = \arctg \frac{2n\omega}{k^2 - \omega^2}$ –

запізнення по фазі переміщення по відношенню до збудуючої сили.

Періодичну силу $F_2^{3\delta}$ визначено як силу інерції у відносному русі тіла (1) (див. рис. 2). Для неї графік залежності від часу аналогічний графіку $s(t)$ на рис. 4. Розкладаючи цю силу в ряд Фур'є і, обмежуючись першим членом розкладу, її перетворено в гармонійну

$$F_2^{3\delta} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} \cdot m_1 \delta \omega^2 \cdot \sin 2\omega t.$$

Тоді розв'язком рівняння (6), аналогічно розв'язку (5), буде:

$$x_2^{**} = A_2 \cdot \sin(2\omega t - \Theta_2), \quad (9)$$

де $A_2 = \frac{3\sqrt{2}m_1\delta\omega^2}{2\pi n\sqrt{(k^2 - 4\omega^2)^2 + 16n^2\omega^2}}$, $\Theta_2 = \arctg \frac{4n\omega}{k^2 - 4\omega^2}$ – відповідні амплітуда та запізнення по фазі.

Періодичні ударні імпульси (див. рис. 4) визначено у вигляді

$$F_3^{3\delta} \cdot \Delta t = S_o \cdot (-1)^j \cdot f(t),$$

$$\text{де } j = \left[\frac{2\omega t}{\pi} \right], f(t) = \begin{cases} 1, & t \pmod{\frac{\pi}{2\omega}} = 0 \\ 0, & t \pmod{\frac{\pi}{2\omega}} \neq 0 \end{cases}.$$

Тут $S_o = m_1 \cdot \Delta v_{C_1} \cdot \cos \frac{\pi}{4}$ – одиночний імпульс; в ньому зміна відносної швидкості центра мас $C_1 \Delta v_{C_1} = \omega\delta(1 + \delta/r)$ (S_o й Δv_{C_1} визначено за окремою кінематичною схемою). Згідно з [4, с. 96] результатом попередніх k' імпульсів є

$$x_2^{***} = \frac{S_o}{mk^*} \cdot \sum_{j=1}^{k'} \left[e^{-n(t+\tau(k'+1-j))} \cdot \sin(k^*(t+\tau(k'+1-j))) \cdot (-1)^{j-1} \right], \quad (10)$$

де $k^* = \sqrt{k^2 - n^2}$ – циклічна частота власних затухаючих коливань системи, $\tau = \pi/(2\omega)$ – період імпульсів. Слід зазначити, що для отримання усталених коливань від імпульсів, які не припиняються, на момент часу $t=0$ приймали $k'=40$ й усі наступні імпульси також враховувались.

Таким чином, три складові координати x_2 (формули (8), (9) й (10)) визначено. З метою реалізації розрахунків по отриманій математичній моделі складено обчислювальну програму на мові Fortran PowerStation 4.0. Для описаного вище варіанта вихідних даних, близьких до виробничих, отримані результати відображено на рис. 5.

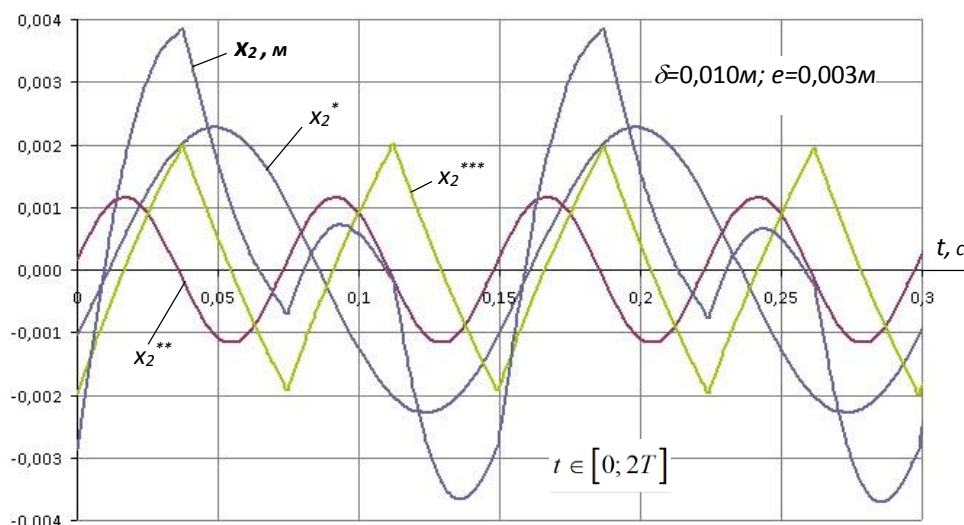


Рисунок 5 – Графіки складових та результуючої усталених коливань опорної станини центрифуги (за період двох обертів форми-опалубки)

ВИСНОВКИ

Аналіз отриманих результатів свідчить про значний вплив зміщення напівформ, особливо фактору присутніх при цьому ударних взаємодій, на динаміку системи. Спостерігається «зубоподібність» коливань, значне збільшення амплітуд, а отже шуму та вібрацій, і, як результат, посилюється зношування деталей і вузлів центрифуги, зростає енерговитратність виробництва. Крім того, згубність наслідків наявного зміщення напівформ підсилюється жорсткістю вертикального підвішування форми-опалубки в подібних центрифугах. Тому цей чинник, разом із чинником уповільненого розподілу бетонної суміші при такому підвішуванні [2], говорить про нагальну потребу заміни поширених центрифуг типу МР-380 (фізично і морально застарілих) на більш досконалі. Позитивним моментом стосовно наявних наслідків при незначному зміщенні напівформ може вважатись розм'якшувальний вплив на бетонну суміш віброударних навантажень. Однак він корисний лише на стадії розподілу суміші (власне формування), а на стадії ущільнення може спричинити пошкодження або руйнування виробу. Тому контрольований віброударний вплив доцільно забезпечувати спеціальними пристроями [6; 7].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волянський О. А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій : підручник : у 2 ч. - К. : Вища шк., 1994. – Ч. 1. Технологія бетону. – 271 с.
2. Шурик В. О. Про вплив жорсткісних, демпфуючих та інерційних характеристик підвіски центрифуги на процес розподілу бетонної суміші при центрифугуванні // Вісник НУВГП : збірник наукових праць. – Рівне, 2005. – Вип. 2(30). – С. 138–145.
3. Косолапов И. И. Изготовление стоек железобетонных опор ВЛ электропередачи. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. – 136 с., ил.
4. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер ; пер. с англ. Л. Г. Корнейчука ; под ред. Э. И. Григолюка. – М. : Машиностроение, 1985. – 472 с.
5. Погребняк А. А. Упругие подвески квазиулевого жесткости тяжелых роторов : автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук / А. А. Погребняк. – Львов, 1986. – 23 с.
6. Разработка центрифуги для сопоставления технологий напорного и центробежного формования ж/б стоек опор ЛЭП. Отчет о НИР закл.; № гос.регистрации 01880077021/. – Ровно : УИИВХ, 1990. – 98 с.
7. Шурик В. Механічний пристрій для реалізації крутильної вібрації в роликівих та пасових центрифугах / В. Шурик, Л. Серілко, Г. Багнюк // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій : тези 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Львів, 2014. – С. 80.

REFERENCES

1. Volians'kyu O. A. Tekhnolohiya betonnykh i zalizobetonnykh konstruksiy: Pidruchnyk: U 2 ch. – K.: Vyshcha shk., 1994. – Ch. 1. Tekhnolohiya betonu.- 271 s.
2. Shchuryk V. O. Pro vplyv zhorstkisnykh, dempfuyuchykh ta inertsinykh kharakterystyk pidvisky tsentryfuhu na protses rozpodilu betonnoyi sumishi pry tsentryfuhuvanni.- Visnyk NUVHP (zbirnyk naukovykh prats'). Vyp. 2(30).- Rivne, 2005.- S.138...145.
3. Kosolapov I. I. Izgotovlieniye stoyek zhieliezobetonnykh opor VL eliektropieriedachi.- L.: Eniergoatomizdat. Lieningr. otd-niye, 1985.- 136 s., il.
4. Timoshienko S. P., Yang D.K., Uiver U. Koliebaniya v inzhieniernom dielie/ Per. s angl. L.G.Kornieychuka; pod ried. E.I.Grigoliuka.- M.: Mashinostroyeniye, 1985.- 472 s.
5. Pogriebniak A. A. Uprugiye podvieski kvazinulievoy zhiestkosti tiazhilykh rotorov. A/rief. dis. na soisk. uch. st. k.t.n., L'vov, LPI, 1986.- 23 s.
6. Razrabotka tsientrifugi dlia sopostavlieniya tiekhnologiy napornoho i tsientrobiezhnoho formovaniya z/b stoyek opor LEP. Otchiet o NIR zakl.; № gos.riegistratsii 01880077021/ Rovno: UIIVK, 1990.- 98 s.
7. Shchuryk V., Serilko L., Bahniuk H. Mekhanichnyy prystriy dlia realizatsiyi krutyl'noyi vibratsiyi v rolykovykh ta pasovykh tsentryfuhakh. Tezy 4-i Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi "Teoriya ta praktyka ratsional'noho proektuvannya, vyhotovlenniia i ekspluatatsiyi mashynobudivnykh konstruksiy. - L'viv, 2014, s. 80.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВІЛЬНОРОЛИКОВОЇ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ЗМІЩЕННІ НАПІВФОРМ

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Об'єкт дослідження – центрифуга типу МР-380 для формування залізобетонних довговимірних трубчастих виробів, що має вільнороликову підвіску з горизонтальним підпружинюванням станин (опор) і в якій можливі радіальні зміщення напівформ переважно внаслідок зношеності опалубочного парку.

Мета роботи – створення математичної моделі динаміки центрифуги при наявності радіального зміщення напівформ, а також оцінка з її допомогою впливу згаданого зміщення на закон та характер руху опор центрифуги.

Врахування фактору зміщення напівформ актуальне з точки зору запобігання надмірного впливу на процес центрифугування вібрацій та ударів і, як наслідок, погіршення якості виробів, посиленого зношування деталей і вузлів центрифуги, перевищення допустимих рівнів шуму та вібрацій.

В статті наведено результати дослідження динаміки вільнороликової центрифуги для виготовлення залізобетонних трубчастих виробів (типу центрифуги МР-380, з горизонтальним пружним підвішуванням форми-опалубки) при радіальному зміщенні напівформ. Математична модель відповідної механічної системи, створена шляхом графічно-геометричного експерименту, складання диференціальних рівнянь руху та програмного забезпечення для їх розв'язання, дозволила оцінити вплив на динаміку центрифуги чинника зміщення напівформ.

Аналіз отриманих результатів свідчить про значний вплив зміщення напівформ (особливо фактору присутніх при цьому ударних взаємодій) на динаміку системи. Спостерігається «зубоподібність» коливань, значне збільшення амплітуд, а отже шуму та вібрацій, і, як результат, посилюється зношування деталей і вузлів центрифуги, зростає енерговитратність виробництва. Такі чинники при експлуатації існуючих центрифуг подібної конструкції, з урахуванням відомих недоліків з міркувань інтенсифікації формування, свідчать про нагальну потребу заміни поширених центрифуг типу МР-380 на більш досконалі.

Ключові слова: центрифуга, відцентрове формування залізобетонних трубчастих виробів, підвіска, радіальне зміщення напівформ, динаміка, вібрації й удари.

Козяр Микола Миколайович, доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: kaf.tmigm@nuwm.edu.ua

Войтович Леонід Володимирович, старший викладач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: vlv@rv.uar.net

Серілко Леонід Степанович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua

Щурик Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: v.o.shchuryk@nuwm.edu.ua

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF A CENTRIFUGE WITH FREE ROLLER SUPPORT FOR THE FORMATION OF REINFORCED CONCRETE TUBULAR PRODUCTS WITH THE RADIAL DISPLACEMENT OF FORMWORK HALVES

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

The object of the study is the centrifuge of MP-380 type for the formation of reinforced concrete long-length tubular products, which has a free roller suspension with horizontal springing of the supports, and in which the radial displacements of formwork halves are possible mainly due to the wear of the frameworks park.

The purpose of the work is to create a mathematical model of the dynamics of the centrifuge in the presence of radial displacement of formwork halves, as well as the assessment of its effect on the law of the displacement and the nature of the movement of the centrifuge bearings. Consideration of the displacement factor of formwork halves is relevant in terms of preventing excessive impact on the process of centrifugation of vibrations and impacts, and as a consequence, deterioration of product quality, increase of the parts and centrifugal units wear, exceeding the permissible levels of noise and vibration.

The paper presents the results of the study of the dynamics of the free-roller centrifuge for the manufacture of reinforced concrete tubular products (MR-380 type of centrifuge, with a horizontal elastic suspension of the framework form) with the radial displacement of semi-forms. The mathematical model of the corresponding mechanical system, created by the graph-geometric experiment, the compilation of differential equations of motion and software for their solution, allowed estimating the influence on the dynamics of the centrifuge of the displacement factor of semi-forms.

The analysis of the obtained results testifies to the significant influence of the displacement of semi-forms (especially the factor of the present shock interactions) on the dynamics of the system. There is observed a "tooth-like" oscillation, a significant increase in amplitudes, and hence noise and vibration, and as a result, the wear and tear of parts and knots of the centrifuge as well as energy consumption of production increase. Such factors when operating existing centrifuges of similar design, taking into account the known shortcomings due to the intensification of formation, indicate the urgent need to replace the common centrifuges of MR-380 type with more updated ones.

Key words: centrifuge, centrifugal formation of reinforced concrete tubular products, suspension, radial displacement of semi-forms, dynamics, vibration and impact.

Koziar Mykola, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: kaf.tmigm@nuwm.edu.ua

Voytovych Leonid, Senior Lecturer of the Department of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: vlv@rv.uar.net

Serilko Leonid, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua

Shchuryk Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: v.o.shchuryk@nuwm.edu.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВОБОДНОРОЛИКОВОЙ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ РАДИАЛЬНОМ СМЕЩЕНИИ ПОЛУФОРМ

¹Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

Объект исследования – центрифуга типа МР-380 для формования железобетонных длинномерных трубчатых изделий, имеющая свободнороликовую подвеску с горизонтальным подпружиниванием станин (опор) и в которой возможны радиальные смещения полуформ преимущественно вследствие изношенности опалубочного парка.

Цель работы – создание математической модели динамики центрифуги при наличии радиального смещения полуформ, а также оценка с ее помощью влияния упомянутого смещения на закон и характер движения опор центрифуги.

Учет фактора смещения полуформ актуален с точки зрения предотвращения чрезмерного влияния на процесс центрифугирования вибраций и ударов и, как следствие, ухудшения качества изделий, усиленного износа деталей и узлов центрифуги, превышения допустимых уровней шума и вибраций.

В статье приведены результаты исследования динамики свободнороликовой центрифуги для изготовления железобетонных трубчатых изделий (типа центрифуги МР-380 - с горизонтальным упругим подвешиванием формы-опалубки) при радиальном смещении полуформ. Математическая модель соответствующей механической системы, созданная путем графогеометрического эксперимента, составления дифференциальных уравнений движения и программного обеспечения для их решения, позволила оценить влияние на динамику центрифуги фактора смещения полуформ.

Анализ полученных результатов свидетельствует о значительном влиянии смещения полуформ (особенно фактора присутствующих при этом ударных взаимодействий) на динамику системы. Наблюдается «зубоподобность» колебаний, значительное увеличение амплитуд, а значит шума и вибраций, и, как результат, усиливается износ деталей и узлов центрифуги, растет энергозатратность производства. Такие факторы при эксплуатации существующих центрифуг подобной конструкции, с учетом известных недостатков из соображений интенсификации формования, свидетельствуют о насущной необходимости замены распространенных центрифуг типа МР-380 на более совершенные.

Ключевые слова: центрифуга, центробежное формование железобетонных трубчатых изделий, подвеска, радиальное смещение полуформ, динамика, вибрации и удары.

Козяр Николай Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики, инженерной графики и машиноведения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: kaf.tnigm@nuwm.edu.ua

Войтович Леонид Владимирович, старший преподаватель кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: vlv@rv.uar.net

Серилко Леонид Степанович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua

Щурик Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: v.o.shchuryk@nuwm.edu.ua