

**Щурик В.О.**

к.т.н., доцент

Серілко Л.С.

к.т.н., доцент

Войтович Л.В.

к.т.н., старший викладач

Сасюк З.К.

к.с.-г.н., доцент

**Національний
університет водного
господарства та
природокористування**

Shchuryk V.**Serilko L.****Voitovych L.****Sasiuk Z.**

**National University of Water
and Environmental
Engineering**

УДК531.391;621.928.3; 62-25; 666.97.033.17**DOI: 10.37128/2306-8744-2019-4-9**

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БЕТОННИХ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ

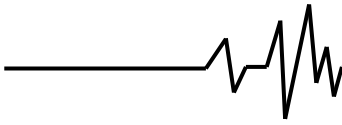
Представлено удосконалену комплексну математичну модель динаміки центрифуги для формування трубчастих виробів із бетонних або будь-яких інших в'язкопластичних малорухливих сумішей. В плоскій постановці задачі досліджується механічна система складається з форми-опалубки (порожнистого ротора) з частковим малорухливим наповненням, її пружно-демпфуючої підвіски та приводу. Приймалось, що ротор жорсткий, правильної геометричної будови, має певну статичну незбалансованість і може бути як горизонтальним, так і вертикальним. Наповнення – бетонна чи якась інша суміш як квазіоднорідне пластично-в'язке реологічне тіло, що повільно і в шарово-зсувній течії розтікається по внутрішній поверхні ротора під дією сил ваги та переносних сил інерції. Підвіска ротора є роликовою важільного типу, але може бути довільної конструкції, що має певні інерційні, жорсткісні та демпфуючі характеристики. Привод регульованої потужності забезпечує прикладення до ротора обертаючого моменту необхідної змінної величини. Для складання диференціальних рівнянь динаміки ротора використано загальні теореми і рівняння динаміки, зокрема теорему про рух центра мас та диференціальне рівняння обертання при плоскому русі тіла з полюсом у відмінній від центра мас точці. При цьому усунуто недоліки відомих математичних моделей з подібною постановкою задачі. Запропонована математична модель може бути зреалізованою за відомими алгоритмами чисельного інтегрування і використана для розробки чи корегування відповідного програмного забезпечення. Це дає змогу більш повно проводити дослідження динаміки центрифуг, враховувати й оптимізувати важливі їх параметри і характеристики.

Ключові слова: динаміка, центрифуга, центрифугування, відцентрове формування, ротор, трубчасті вироби, бетонна суміш, центрифугований бетон і залізобетон, математична модель, диференціальні рівняння.

Постановка проблеми. Для дослідження та техніко-економічного порівняння різних конструкцій центрифуг для формування бетонних й залізобетонних трубчастих виробів, обґрунтування параметрів нових центрифуг, а також для розробки відповідних експлуатаційно-технологічних вимог необхідна математична модель динаміки

механічної системи (рис.1), яка складається з форми-опалубки, частково наповненої бетонною сумішшю, пристрою її підвіски та механізму приводу центрифуги [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [2; 3] дана задача розв'язана з припущенням, що бетон по відношенню до форми нерухомий. Однак це відповідає лише



заключній стадії центрифугування – ущільненню сформованої суміші. В той же час необхідність розгляду руху системи на попередній стадії, - стадії розподілу суміші, - з огляду на необхідність інтенсифікації виробництва, підвищення якості виробів та скорочення виходу браку є очевидною. Проте в існуючій літературі з центрифугованого бетону [4; 5] процес розподілу описується досить схематично, на основі даних спостережень та якісних оцінок. Це зумовлено тим, що

аналітичний розв'язок задачі неможливий, а експериментальні дослідження пов'язані зі значними труднощами. Тому в [6] досліджувана механічна система була подана у вигляді дискретизованої математичної моделі – з метою дослідження її шляхом обчислювальних експериментів. Однак ця модель передбачає лише кінематичне задання обертання ротора, а також має деякі обмеження у складених диференціальних рівняннях.

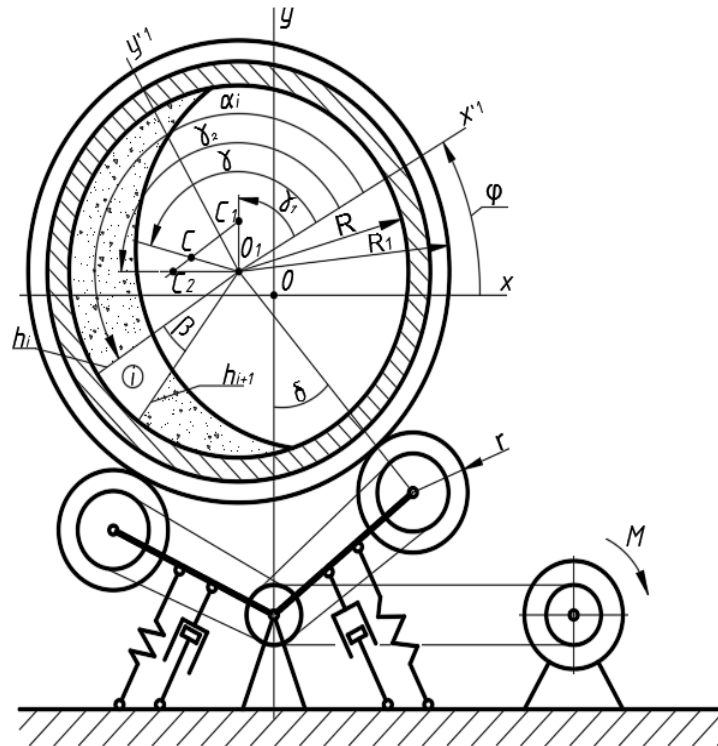


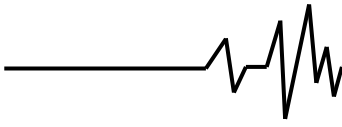
Рис. 1. Конструктивна схема центрифуги; в положенні статичної рівноваги $O_1 \equiv O$.

Метою статті є удосконалення згаданої дискретної (числової) моделі – з можливістю проведення досліджень при загальній постановці задачі. Це дозволить вивчати вплив на процес центрифугування практично усіх параметрів і чинників системи. Особливо важливою буде можливість визначати енергетичні витрати виробництва і, відповідно, оцінювати його ефективність.

Викладення основного матеріалу. Нехай в досліджуваній системі (рис.1) в загальному випадку форма-опалубка є абсолютно жорстким горизонтальним статично незбалансованим порожнистим ротором і характеризується масою m_1 , внутрішнім R і зовнішнім R_1 радіусами, моментом інерції $I_{z_{O_1}}^{(1)}$ та ексцентриситетом $e_1 = |O_1 C_1|$ й кутом γ_1 , які визначають положення центра мас ротора

C_1 в рухомій, скріпленій з ротором, системі координат $x'_1 O_1 y'_1$.

Наповнення ротора – це малорухливе пластично-в'язке реологічне квазіоднорідне тіло з наступними параметрами: m_2 - маса; S – площа в поперечному до осі ротора перерізі; ρ - густина; μ - коефіцієнт динамічної в'язкості; τ_0 - граничне напруження зсуву; ζ - коефіцієнт бокового тиску; k – лінійний коефіцієнт зменшення тиску з глибиною. Модель поведінки наповнення за [6] ґрунтується на поданні його руху відносно ротора у вигляді повільної (безінерційної) шарово-зсувної течії коаксіальних з ротором шарів елементарної товщини, що відбувається під дією сил тяжіння та переносних сил інерції від обертального і поступального рухів ротора. Положення і деформації наповнення описуються за



допомогою прийомів методу крупних частинок з механіки суцільних середовищ та деяких інших використаних й запропонованих прийомів, операцій і алгоритмів. При цьому положення визначається площами S_i крупних частинок, відповідними товщинами шару h_i в радіальних перерізах й аналогічними до ротора параметрами $e_2 = |O_1 C_2|$ і γ_2 , - з припущенням, що вільна поверхня наповнення є кусково-лінійною в полярній системі координат.

Підвіска ротора характеризується інерційними, жорсткістними й демпфуючими параметрами для обох напрямків абсолютної системи координат xOy , а саме: m_{n_x} , m_{n_y} , c_x , c_y , α_x , α_y - відповідно зведеними до геометричного центра ротора O_1 масами, жорсткостями і коефіцієнтами демпфування для горизонтального та вертикального напрямків. Слід зауважити, що c_x , c_y можуть визначатись функціями від координат x та y точки O_1 , - для врахування нелінійності пружного поля подібних підвісок [2]. Серед параметрів роликів підвіски також: r - радіус ролика; I_p - його момент інерції; $\delta \approx const = \pi/4$ - кут обхвату ротора опорами.

Зрештою, привод центрифуги являє собою трансмісію, переважно з пасовими передачами, та двигун або декілька двигунів, для чого здебільшого використовуються електродвигуни постійного струму. Привод має зведений момент інерції $I_{z_{O_1}}^{(T)}$, який враховує інерцію усіх елементів центрифуги, що обертаються, окрім ротора з наповненням, а також характеризується залежністю обертаючого моменту $M_{об}$ від кутової швидкості ω , змінюваної потужності N та

$$I_i^{(1)} = \iint_{S_i^1} \lambda \xi^2 \xi d v d \xi = \lambda \int_0^\beta d v \int_{r_i - \Delta_i}^{r_i} \xi^3 d \xi = \frac{\lambda \beta \Delta_i}{2} \left[r_i^3 - \Delta_i (r_i^2 - \frac{\Delta_i}{2} (r_i - \frac{\Delta_i}{5})) \right], \quad (2)$$

де $\lambda = m_2 / S$ - поверхнева щільність наповнення; $\Delta_i = |h_i - h_{i+1}|$, оскільки $I_i^{(1)}$ не залежить від знаку $k_i = \Delta_i / \beta$; $r_i = R - \min(h_i; h_{i+1})$.

залежністю моменту опору $M_{он} \approx \alpha \omega$, де α - зведений емпіричний коефіцієнт.

Існуючі математичні моделі описують дану систему виходячи з припущення, що задання обертального руху - кінематичне, а кутова швидкість ω є сталою чи повільно змінюваною [2; 3; 6], причому в [2; 3] ротор з наповненням вважається одним твердим тілом. Крім того, згадані моделі не враховують зв'язку поступального руху ротора з обертанням опорних роликів підвіски, що мають значні моменти інерції. Такий підхід є неприйнятним для комплексного дослідження динаміки подібних центрифуг, тому необхідно доповнити рівняння руху ротора диференціальним рівнянням обертання та уточнити диференціальні рівняння руху його геометричного центра.

Застосовуючи диференціальне рівняння обертання при плоскому русі з полюсом в точці O_1 [7, с.259, 260] можна записати (рис.2):

$$I \ddot{\varepsilon} + m \ddot{e} \times \vec{a} = \vec{M}_{O_1}, \quad (1) \text{ де}$$

$I = I_{z_{O_1}}^{(1)} + I_{z_{O_1}}^{(2)} + I_{z_{O_1}}^{(T)}$, $I_{z_{O_1}}^{(2)} = \sum_{i=1}^n I_i$ - момент

інерції наповнення; $\varepsilon = \dot{\omega} = \ddot{\phi}$;

$m = m_1 + m_2$; $|a| = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$;

$\vec{M}_{O_1} = \vec{M}_{об} + \vec{M}_{он} + \vec{M}_{O_1}(m\vec{g}) + \vec{M}_p^\phi$,

$M_p^\phi \approx I_p R_1 \sqrt{2} \ddot{x} / r^2$ - зведений момент,

який враховує вплив поступального руху ротора на обертання роликів і визначений з припущенням, що проковзування поверхонь ротора і роликів відсутнє, а пасові передачі є досить «м'якими».

Момент інерції i -ї крупної частинки наповнення (рис.3) визначаємо окремо для першої («трикутної») та другої («прямокутної») її зон: $I_i = I_i^{(1)} + I_i^{(2)}$. В полярній системі координат $v\xi$ [8, с.185] маємо:

З використанням відомої формули для моменту інерції товстостінної труби отримано:

$$I_i^{(2)} = \frac{\pi \lambda}{2n} (R^4 - r_i^4) \quad (3)$$

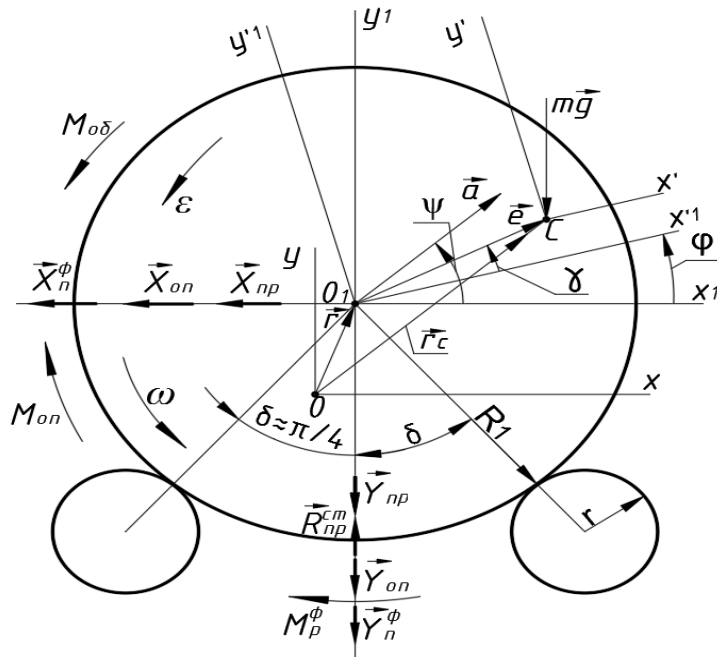
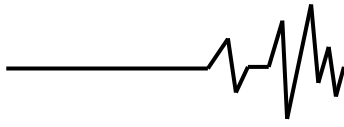


Рис. 2. Розрахункова схема центрифуги.

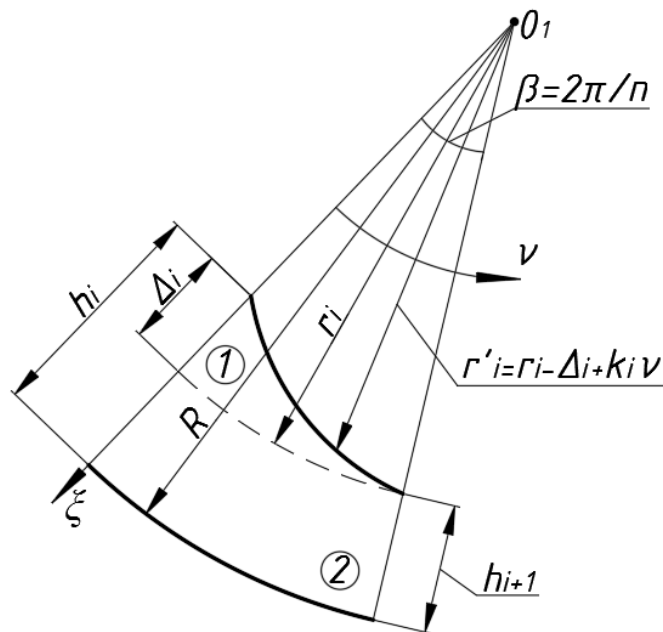


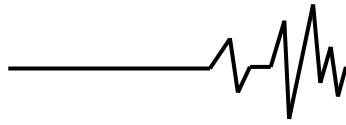
Рис. 3. Схема i -ї крупної частинки.

Остаточно і в проекції на вісь z рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$I\ddot{\varphi} + me(a \sin(\psi - \gamma - \varphi) + g \cos(\varphi + \gamma)) + \alpha\dot{\varphi} + I_p R_1 \sqrt{2\ddot{x}} / r^2 = M_{ob} \quad (4)$$

Рух центра мас ротора з наповненням описується відомим диференціальним рівнянням

$$m\ddot{r}_C = \sum \vec{F}_k^e, \quad (5)$$



де $\vec{r}_C = \vec{r} + \vec{e}$ (рис.2), відповідно $\ddot{\vec{r}}_C = \ddot{\vec{r}} + \ddot{\vec{e}}$;
 $\sum \vec{F}_k^e = m\vec{g} + \vec{R}_{np}^{cm} + \vec{R}_{np} + \vec{R}_{on} + \vec{R}_n^\phi =$
 $= \vec{R}_{np} + \vec{R}_{on} + \vec{R}_n^\phi$; $\vec{R}_{np} = \vec{X}_{np} + \vec{Y}_{np}$ -
 реакція пружного поля підвіски при зміщенні
 ротора з положення статичної рівноваги;
 $\vec{R}_{on} = \vec{X}_{on} + \vec{Y}_{on}$ - реакція демпфуючого поля;
 $\vec{R}_n^\phi = \vec{X}_n^\phi + \vec{Y}_n^\phi$ - інерційна реакція підвіски,
 причому $X_{np} = c_x x$, $X_{on} = \alpha_x \dot{x}$,
 $X_n^\phi = m_{n_x} \ddot{x}$, а для складових по осі y -
 аналогічно.

Але $\vec{e} = (m_1 \vec{e}_1 + m_2 \vec{e}_2) / m$ (рис.4),
 тоді $\ddot{\vec{e}} = (m_1 \ddot{\vec{e}}_1 + m_2 \ddot{\vec{e}}_2) / m$, і,
 використовуючи [9, с.163, 279] й враховуючи,
 що $e_1 = const$, $e_2 \neq const$, v^r - швидкість
 точки C_2 відносно ротора, отримуємо:
 $\ddot{\vec{e}}_1 = \vec{n}_1 \omega^2 e_1 + \vec{\tau}_1 \varepsilon e_1$;
 $\dot{\vec{e}}_2 = \vec{v}^r + \vec{\tau}_2 \omega e_2$,
 $\ddot{\vec{e}}_2 = \vec{a}^r + \vec{a}^c + \vec{n}_2 \omega^2 e_2 + \vec{\tau}_2 \varepsilon e_2$,
 $\vec{a}^r = \dot{\vec{v}}^r$, $\vec{a}^c = 2(\vec{\omega} \times \vec{v}^r)$.

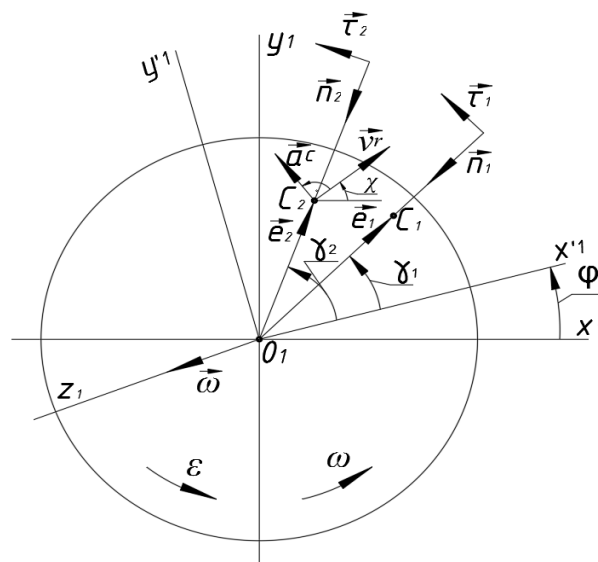


Рис. 4. Схема ротора.

Після підстановок рівняння (5) його на осі x , y і прийнявши позначення
 матимемо у вигляді: $m_x = m + m_{n_x}$ та $m_y = m + m_{n_y}$, запишемо
 $m\ddot{\vec{r}} + m_1 \ddot{\vec{e}}_1 + m_2 \ddot{\vec{e}}_2 = \sum \vec{F}_k^e$, а, спроектувавши наступним чином:

$$\ddot{x} = [m\varepsilon(\omega^2 \cos(\varphi + \gamma) + \varepsilon \sin(\varphi + \gamma)) - m_2(a_x^r + a_x^c) - c_x x - \alpha_x \dot{x}] / m_x; \quad (6)$$

$$\ddot{y} = [m\varepsilon(\omega^2 \sin(\varphi + \gamma) - \varepsilon \cos(\varphi + \gamma)) - m_2(a_y^r + a_y^c) - c_y y - \alpha_y \dot{y}] / m_y. \quad (7)$$

Тут $a_x^r = \dot{x}'_1 \cos \varphi - \dot{y}'_1 \sin \varphi$, а також $a_x^c = -a^c \sin \chi$, $a_y^c = a^c \cos \chi$,
 $a_y^r = \dot{x}'_1 \sin \varphi + \dot{y}'_1 \cos \varphi$, де x'_1 та y'_1 - $a^c = 2\omega v^r$, $|v^r| = \sqrt{(\dot{x}'_1)^2 + (\dot{y}'_1)^2}$.
 координати точки C_2 в системі $x'_1 O_1 y'_1$ [6];

Висновки. Отримані рівняння (4), (6) і
 (7), а також вирази (2) та (3) дозволяють
 виконати поставлену задачу, доповнивши й



уточнивши відому числову математичну модель [6] та засоби її реалізації – алгоритм й обчислювальну програму “ROTCON”. Це дасть змогу більш повно проводити дослідження динаміки центрифуг, враховувати і, надалі, оптимізувати важливі їх характеристики, які раніше не брались до уваги або приймалися спрощеними. Особливо цікавою і корисною уявляється перспектива оцінки енергетичних витрат на формування виробів – певної якості і при тих чи інших параметрах системи.

Список використаних джерел

1. Ахвердов И.Н. Перспектива развития технологии производства центрифугированных железобетонных конструкций.- В кн.: Проблемы создания и применения центрифугированных железобетонных конструкций в строительстве. Тезисы докладов научно-технического семинара. БелНИИТИ. Минск, 1985, с. 9...11.
2. Погребняк А.А. Упругие подвески квазиулевоу жесткости тяжелых роторов. А/реф.дис.на соиск.уч.ст.к.т.н., Львов, ЛПИ, 1986. – 23 с.
3. Погребняк А.А., Шмидт Э.А., Щурик В.А. О предельных угловых скоростях роликовой центрифуги на упругой рычажной подвеске. «Иzv.вузов. Машиностроение», N 7/1987, с.59...63.
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981.- 464 с.
5. Косолапов И.И. Изготовление стоек железобетонных опор ВЛ электропередачи.– Л.: Энергоатомиздат, 1985.- 136 с.
6. Щурик В.А. Численное моделирование процесса формирования бетонной смеси при центрифугировании – Ровно, УИИВХ, 1992. Деп.в УкрИНТЭИ 20.03.92, N 384-Ук92.- 18 с.
7. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теорет.механики: в 2-х томах. Т.2. Динамика. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, Гл.ред.физ.-мат.лит-ры, 1983.- 640 с.
8. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов, т.2: Учебное пособие для вузов.- 13-е изд.- М.: Наука, Гл ред.физ.-мат.лит-ры, 1985.- 560 с.
9. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теорет.механики. Ч.1. Статика. Кинематика: Уч.для техн.вузов. – 6-е изд.испр. – М.: Высш.школа, 1984.- 343 с.

Список джерел у транслітерації

1. Akhverdov, I.N. (1985). Pierspiektivna razvitiia tiekhnologii proizvodstva tsentrifugirovannykh zhieliezobietonnykh konstruksii

[The prospect of developing a technology for the production of centrifuged reinforced concrete structures]. Proceedings from BielNIINTI '85: *Nauchno-tiekhichieskii seminar «Problemy sozdaniia i primienieniia tsentrifugirovannykh zhieliezobietonnykh konstruksii v stroitelstvie» – Scientific and technical seminar "Problems of creating and using centrifuged reinforced concrete structures in construction"*. (pp. 9-11). Minsk [in Russian].

2. Pohriebniak, A.A. (1986). Uprugie podveski kvazinulievoy zhiostkosti tiazhiolykh rotorov [Elastic suspensions of quasi-zero stiffness of heavy rotors]. *Candidate's thesis*. Lviv: LPI [in Russian].

3. Pohriebniak, A.A., & Shmidt, E.A., & Shchurik, V.A. (1987). O priedielnykh uglovykh skorostiakh rolukovoi tsentrifugi na uprugoi rychazhnoi podveskie [On the limiting angular velocities of a roller centrifuge on an elastic linkage]. *Mashinostroeniie – Engineering*, 7, 59-63 [in Russian].

4. Akhverdov, I.N. (1981). *Osnovy fiziki bietona [Fundamentals of Concrete Physics]*. Moskow: Stroizdat [in Russian].

5. Kosolapov, I.I. (1985). *Izgotovlieniie stoiek zhieliezobietonnykh opor VL eliektropieriedachi [Production of racks of reinforced concrete supports HVL power transmission]*. Leningrad: Energoatomizdat [in Russian].

6. Shchurik, V.A. (1992). Chisliennoie modielirovaniie protsiessa formovaniia bietonnoi smiesi pri tsentrifugirovanii [Numerical modeling of the process of molding concrete during centrifugation]. Rovno: UIWE [in Russian].

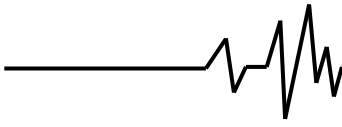
7. Loitsianskii, L.G., & Lurie, A.I. (1983). *Kurs teoreticheskoj miekhaniki. Dinamika [The course of theoretical mechanics. Dynamics]*. (Vols. 2). Moskow: Nauka [in Russian].

8. Piskunov, N.S. (1985). *Diffierentialsialnoie i intiegralnoie istislieniia dlia vtuzov [Differential and integral calculus for technical universities]*. (Vols. 2). Moskow: Nauka [in Russian].

9. Yablonskii, A.A., & Nikiforova, V.M. (1984). *Kurs teoreticheskoj miekhaniki. Statika. Kinematika [The course of theoretical mechanics. Statics. Kinematics]*. (Vols. 1). Moskow: Vysshhaia shkola [in Russian].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Представлена усовершенствованная комплексная математическая модель динамики центрифуги для формирования трубчатых изделий из бетонных или любых других вязкопластичных малоподвижных смесей. В плоской постановке задачи



исследуемая механическая система состоит из формы-опалубки (полого ротора) с частичным малоподвижным наполнением, ее упругодемпфирующей подвески и привода. Принималось, что ротор жесткий, правильной геометрической формы, имеет определенную статическую несбалансированность и может быть как горизонтальным, так и вертикальным. Наполнение - бетонная или любая другая смесь, как квазиоднородное пластично-вязкое реологическое тело, медленно и в слоисто-сдвиговом течении растекается по внутренней поверхности ротора под действием сил тяжести и переносных сил инерции. Подвеска ротора является роликовой рычажного типа, - также может быть произвольной конструкции, - имеет определенные инерционные, жесткостные и демпфирующие характеристики. Привод регулируемой мощности обеспечивает приложение к ротору крутящего момента необходимой переменной величины. Для составления дифференциальных уравнений динамики ротора использованы общие теоремы и уравнения динамики, в частности теорема о движении центра масс и дифференциальное уравнение вращения при плоском движении тела с полюсом в отличной от центра масс точке. При этом устранены недостатки известных математических моделей с подобной постановкой задачи. Предложенная математическая модель может быть реализована по известным алгоритмам численного интегрирования и использована для разработки или корректировки соответствующего программного обеспечения. Это позволяет более полно проводить исследования динамики центрифуг, учитывать и оптимизировать важные их параметры и характеристики.

Ключевые слова: динамика, центрифуга, центрифугирование, центробежное формование, ротор, трубчатые изделия, бетонная смесь, центрифугированный бетон и железобетон,

математическая модель, дифференциальные уравнения.

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS OF CENTRIFUGE FOR FORMATION OF CONCRETE TUBULAR PRODUCTS

The paper presents an advanced complex mathematical model of centrifuge dynamics for the formation of tubular products made of concrete or any other plastic and viscous confining mixtures. In the two-dimensional (plane) formulation of the problem, the studied mechanical system consists of a framework form (hollow rotor) with a partial confining filling, its elastic-damping suspension and power drive. It is assumed that the rotor is rigid, of correct design, has a certain static imbalance and can be both horizontal and vertical. The used filling is a concrete or some other mixture as a quasi-homogeneous plastic and viscous rheological body, which spreads slowly and in a shear flow over the inner surface of the rotor under the action of gravity forces and transfer forces of inertia. The rotor suspension is a roller lever type, but can be of any design, with certain inertial, rigid and damping characteristics. The variable power drive provides application of a variable torque to the rotor. The general theorems and dynamics equations, including the theorem on the motion of the mass center and the differential equation of rotation at the plane motion of a body with a pole other than the mass center, are used to construct differential equations of rotor dynamics. This eliminates the shortcomings of the known mathematical models with the similar problem statement. The proposed mathematical model can be implemented according to the well-known algorithms for numerical integration and used to develop or adjust the appropriate software. This enables the centrifuge dynamics to be studied more fully, to take into account and optimize its important parameters and characteristics.

Key words: dynamics, centrifuge, centrifugation, centrifugal molding, rotor, tubular products, concrete mix, centrifuged concrete and ferroconcrete, mathematical model, differential equations.

Відомості про авторів

Щурик Володимир Олександрович. Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: v.o.shchuryk@nuwm.edu.ua

Серілко Леонід Степанович. Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua



Войтович Леонід Володимирович. Кандидат технічних наук, старший викладач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: l.v.voitovych@nuwm.edu.ua

Сасюк Зоя Костянтинівна. Кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, e-mail: z.k.sasiuk@nuwm.edu.ua

Щурик Владимир Александрович. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения Национального университета водного хозяйства и природопользования, ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: v.o.shchuryk@nuwm.edu.ua

Серилко Леонид Степанович. Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения Национального университета водного хозяйства и природопользования, ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: l.s.serilko@nuwm.edu.ua

Войтович Леонид Владимирович. Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения Национального университета водного хозяйства и природопользования, ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: l.v.voitovych@nuwm.edu.ua

Сасюк Зоя Константиновна. Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры теоретической механики, инженерной графики и машиноведения Национального университета водного хозяйства и природопользования, ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина, 33028, e-mail: z.k.sasiuk@nuwm.edu.ua

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

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

Leonid Voitovych. Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science of the National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: l.v.voitovych@nuwm.edu.ua

Zoia Sasiuk. Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile and Automobile Industry of the National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: z.k.sasiuk@nuwm.edu.ua