

УДК 629.12.015

С. В. ТЕРЛИЧ

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПЛАВУЧОГО ДОКУ У НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ З УРАХУВАННЯМ ЗАЯКОРІННЯ

У статті виконане дослідження вертикальних коливань плавучого доку при умові його постановлення на станові якоря. Виконане математичний опис поведінки плавучого доку від хвиль та тиску вітру. Запропоновано ряд рівнянь для визначення амплітуди вертикальних коливань. Розроблено ряд залежностей для визначення силових факторів у якорних канатах (ланцюгах) та реакцій на станових (мертвих) якорях. Наведено рекомендації щодо використання запропонованих залежностей при їх використанні у практичних розрахунках.

Ключові слова: плавучий док, динаміка моря, якорні системи, математичне моделювання.

В статье выполнено исследование вертикальных колебаний плавучего дока при условии постановки на становые якоря. Выполнено математическое описание поведения плавучего дока от волн и давления ветра. Предложен ряд уравнений для определения амплитуды вертикальных колебаний. Разработан ряд зависимостей для определения силовых факторов в якорных канатах (цепях) и реакций на становых (мертвых) якорях. Приведены рекомендации по использованию предложенных зависимостей при их применении в практических расчетах.

Ключевые слова: плавучий док, динамика моря, якорные системы, математическое моделирование.

In this article we have investigated the vertical oscillations of the floating dock on the condition statement on the bower. The mathematical description of the behavior of the floating dock from the waves and wind pressure. A number of equations to determine the amplitude of the vertical oscillations. A number of dependencies to determine the power factor in anchor ropes (chains) and reactions to become (the dead) anchors. The recommendations for the use proposed by dependency when used in practical calculations. The above article is aimed at facilitating the material calculate rational anchoring schemes. It takes into account the requirements of domestic and foreign design anchor devices. The studies of statics and dynamics of floating dock anchored in the general case of spatial tasks. It presents a practical method of calculation of anchor systems under different operating conditions.

Keywords: floating dock, the sea dynamics, anchoring systems, mathematical modeling.

Вступ. Розгляд задач про хитавицю плавучих об'єктів на якорях у лінійній постановці дозволяє достатньо глибоко досліджувати поведінку систем у просторовому та плоскому випадках. Разом із тим з'ясовано, що як теоретичне, так і прикладне значення мають дослідження коливань у нелінійній постановці з урахуванням жорсткісних характеристик систем заякоріння. У прикладному відношенні в першу чергу раціонально дослідити вертикальні коливання, які створюють найбільші зусилля у якорних в'язях.

Аналіз публікацій за тематикою дослідження. Стан дослідження вітчизняних та закордонних авторів щодо динаміки плавучого доку при заякорінні проаналізовано автором у публікаціях [1–7]. В посібнику [1] наведено основні відомості щодо проектування, конструювання доків, їх пристроїв та систем, наведено довідкові відомості щодо проектування технологічних процесів. У джерелі [2] виконано дослідження статички і динаміки плавучих об'єктів для загального випадку просторової задачі, а також проаналізовані конкретні схеми, які мають важливе прикладне використання. У підручнику [3] наведено розрахункові схеми визначення зовнішніх сил та внутрішніх зусиль у конструкціях нестандартних суден та засобів океанотехніки. В посібнику [4] автором прийняті до уваги сучасні вимоги класифікаційних товариств щодо судових пристроїв. У перерахованих виданнях використовуються рівняння хитавиці суден. Незалежно аналізуються кутова та вертикальна хитавиці і вони описуються різними рівняннями. При цьому вплив якорних канатів не враховується. У працях [5, 6] досліджено рух суден на регулярному хвилюванні. Складені рівняння, які описують вертикально-кільову хитавицю, а окреме рівняння визначає поперечні рухи. В той же час вплив якорних канатів не розглядався.

Мета статті. Створити математичний апарат для визначення параметрів вертикальної хитавиці плавучого доку із урахуванням впливу якорних канатів, а також оцінки внутрішніх зусиль у елементах якорного,

буксирного та швартовного пристроїв

Вільні коливання плавучого доку. Рівняння вільних вертикальних коливань на тихій воді з урахуванням демпфірування має вигляд [7]:

$$(M + M_z)\ddot{u} + \beta_x + R(u), \quad (1)$$

де характеристика жорсткості $R(u)$ приймається за формулами:

$$R(u) = K_1 u + K_2 u^3, u \leq 0; \quad R(u) = K_{02} u^3, u > 0,$$

де u – відносне переміщення;

$$K_1, K_2, K_{02} - \text{чисельні коефіцієнти [7].}$$

Рівняння системи плавдок-докуєме судно представлено, як:

$$\ddot{u} + 2n_z \dot{u} + f(u) = 0, \quad (2)$$

$$\text{де } f(u) = \frac{R(u)}{M + M_z}. \quad (3)$$

Якщо систему можна вважати консервативною, то рівняння коливань прийме вигляд:

$$(M + M_z)\ddot{u} + R(u) = 0; \quad \dot{u} + f(u) = 0. \quad (4)$$

Вищенаведені рівняння коливань нелінійні, тому для їх розв'язання доцільно використати чисельні методи нелінійної механіки. Іноді раціонально використати ряд наближених методів розв'язання, а результати порівнювати між собою [8]. При нелінійних коливаннях частоти власних коливань залежать перш за все від величин їх амплітуд.

При симетричному навантаженні (рис. 1, а) характеристику жорсткості доцільно використовувати як непарний поліном:

© С. В. Терлич. 2016

$$R(u) = K_1 u + K_2 u^3; (u \neq 0). \quad (5)$$

Згідно методу гармонійної лінеаризації, частоти коливань повинні визначатися у відповідності із інтегралом [7]:

$$\lambda^2 = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \tau) \sin \tau d\tau. \quad (6)$$

Тоді при характеристиці за (5) власні частоти λ_z вертикальних коливань описуються залежністю:

$$\lambda_z^2 = a^2 + \zeta v A_x^2, \quad (7)$$

де

$$a^2 = \frac{K_1}{M + M_z}; \quad v = \frac{K_2}{M + M_z}. \quad (8)$$

У (7) A_x – амплітуди вертикальних коливань, а ζ – чисельний коефіцієнт, величина якого $\zeta = \frac{3}{4}$.

Способом прямої лінеаризації частоти власних коливань повинні знаходитись у відповідності до рівняння [9]:

$$\lambda^2 = \frac{5}{2A^5} \int_{-A}^A f(u) u^3 du. \quad (9)$$

Тоді при жорсткій характеристиці у вигляді *непарного поліному* (5) формула для частот λ_z буде мати попередній вигляд (7), але при величині чисельного коефіцієнту $\zeta = \frac{5}{7}$.

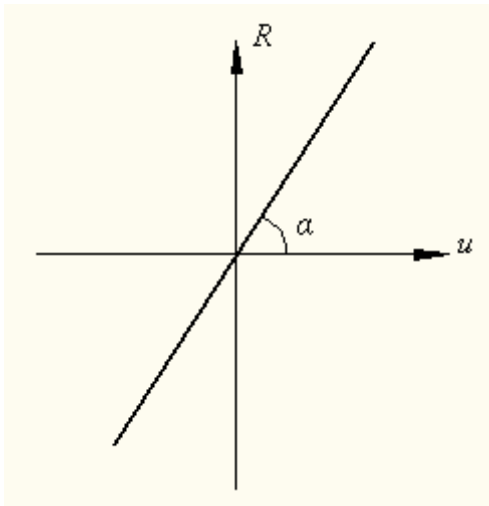


Рис. 1– Лінійна (симетрична) характеристика жорсткості

При наведенні характеристики $R(u)$ кубічною параболою (рис. 2)

$$R(u) = K_{02} u^3; \quad (10)$$

у відповідності із наведеним вище справедливо:

$$\lambda_z^2 = \zeta v_0 A_z^2; \quad v_0 = \frac{K_{02}}{M + M_z}, \quad (11)$$

де ζ має вищенаведені значення ($\zeta = \frac{3}{4}$ або $\zeta = \frac{5}{7}$).

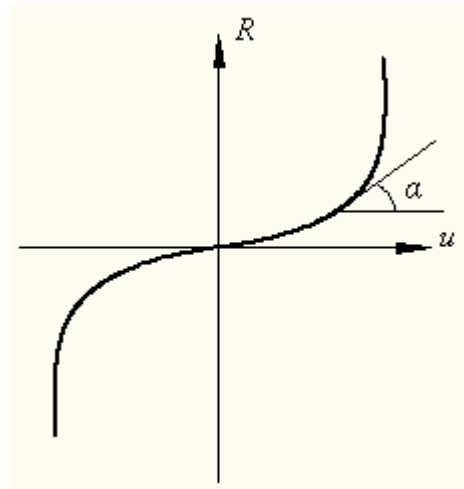


Рис. 2 – Нелінійна симетрична криволінійна характеристика жорсткості

Так, наприклад, при $\zeta = \frac{5}{7}$

$$\lambda_z = 0,845 A_z \sqrt{v_0}.$$

При *несиметричному жорсткому навантаженні* (рис. 3) характеристика жорсткості описується виразом у вигляді двох непарних поліномів:

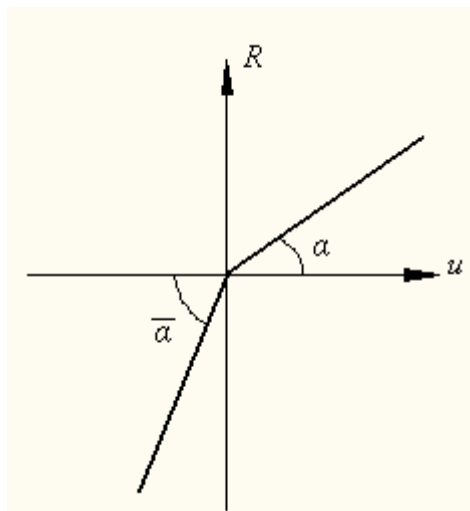


Рис. 3 – Нелінійна несиметрична із двох прямих характеристика жорсткості

$$\left. \begin{aligned} R(u) &= K_1 u + K_2 u^3; \quad (u \geq 0) \\ \bar{R}(u) &= \bar{K}_1 u + \bar{K}_2 u^3; \quad (u < 0) \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

У відповідності із (6) можна записати:

$$\lambda^2 = \frac{1}{\pi A} \left(\int_0^{\pi} f(A \sin \tau) \sin \tau d\tau + \int_{\pi}^{2\pi} \bar{f}(A \sin \tau) \sin \tau d\tau \right).$$

За методом гармонійної лінеаризації власні частоти λ_z вертикальних коливань описуються залежністю:

$$\lambda_z^2 = \frac{1}{2}(a_1^2 + a_2^2) + \frac{3}{8}(v_1 + v_2)A_z^2, \quad (13)$$

де

$$a_1^2 = \frac{K_1}{M + M_z}; \quad a_2^2 = \frac{\bar{K}_1}{M + M_z}; \quad (14)$$

$$v_1 = \frac{K_2}{M + M_z}; \quad v_2 = \frac{\bar{K}_2}{M + M_z}. \quad (15)$$

При представленні функції $R(u)$ у вигляді кубічних парабол отримано:

$$R(u) = K_{02}u^3, (u \geq 0); \quad \bar{R}(u) = \bar{K}_{02}u^3, (u < 0); \quad (16)$$

а у відповідності із вищенаведеним отримано результати:

$$\lambda_z^2 = \frac{3}{8}(\lambda_{01} + \lambda_{02})A_z^2, \quad (17)$$

де

$$v_{01} = \frac{K_{02}}{M + M_z}; \quad v_{02} = \frac{\bar{K}_{02}}{M + M_z}. \quad (18)$$

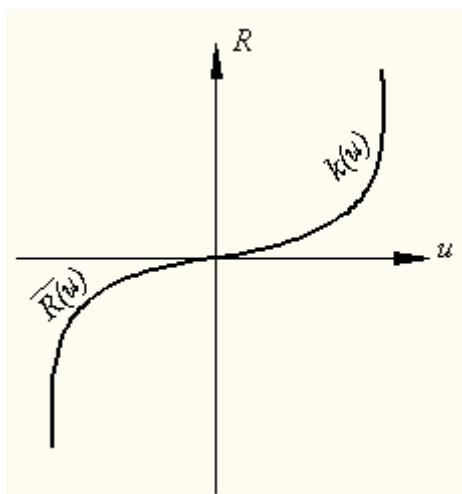


Рис. 4 – Нелінійна несиметрична криволінійна характеристика жорсткості

В цьому випадку *власні частоти* також залежать від амплітуд коливання.

При випадку, коли жорсткісна характеристика $R(u)$ має вигляд двох прямолінійних відрізків, справедливо:

$$R(u) = Ku, (u \geq 0); \quad \bar{R}(u) = \bar{K}u; \quad (u < 0). \quad (19)$$

В цьому випадку

$$\lambda_z^2 = \frac{1}{2}(a_1^2 + a_2^2), \quad (20)$$

де

$$a_1^2 = \frac{K_1}{M + M_z}; \quad a_2^2 = \frac{\bar{K}_1}{M + M_z}; \quad (21)$$

Під час проведення практичних розрахунків вільних вертикальних коливань плавучих споруд найбільший інтерес викликають: величини частот λ_z при значеннях амплітуд A_z , які викликані зовнішніми силами при змушених коливаннях; величини амплітуд A_z при яких мають місце значення частот λ_z близькі до частоти p збуджуючої сили.

Вимушені коливання плавучого доку. Рівняння вимушених вертикальних коливань при нелінійній постановці задачі має вигляд [10]

$$(M + M_z)\ddot{u} + \beta_z + R(u) = P_z(t), \quad (22)$$

де всі позначення аналогічні наведеним для вільних коливань. Згідно теорії нелінійних коливань раціонально розглянути наближенні розв'язання цього рівняння, які основані на лінеаризації рухомої системи. При цьому джерелами збуджень є морське хвилювання та тиск вітру, які можна описати рівнянням $P_z(t) = P_z \sin(pt + \delta)$ [10, 11]. Тоді залежність (22) матиме вигляд

$$\ddot{u} + 2n_z u + f(u) = \frac{P_z}{M + M_z} \sin(pt + \delta), \quad (23)$$

де $f(u)$ за (3). Для консервативних систем справедливо:

$$\ddot{u} + f(u) = \frac{P_z}{M + M_z} \sin(pt + \delta). \quad (24)$$

В результаті розв'язання рівнянь важливо отримати залежність для амплітуд A_z вимушених коливань, які необхідні далі для визначення та опису частот коливань внутрішніх зусиль у якірних канатах плавучої споруди. Для розв'язання рівняння (24) використано метод прямої лінеаризації за яким прийнято $f(u) = \lambda_z^2(A_z)u$. Таким чином рівняння (24) прийме вигляд

$$\ddot{u} + 2n_z u + \lambda_z^2(A_z)u = \frac{P_z}{M + M_z} \sin(pt + \delta). \quad (25)$$

Тут і надалі [7]

$$u = A_z \sin(pt + \delta + \varepsilon), \quad A_z = \frac{P_z}{\lambda_z^2(M + M_z)} k, \quad ,$$

$$\tan \varepsilon = -2 \frac{n_z p}{\lambda_z^2 - p^2}, \quad k_{\text{дх}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{p^2}{\lambda_z^2}\right)^2 + 4n_z^2 \frac{p^2}{\lambda_z^2}}}.$$

Звідси амплітуда вимушених коливань A_z дорівнюватиме

$$A_z = \frac{P_z}{M + M_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{[\lambda_z^2(A_z) - p^2]^2 + 4n_z^2 p^2}} \quad (26)$$

При знехтуванні затування коливань

$$A_z = \frac{P_z}{M + M_z} \cdot \frac{1}{\lambda_z^2(A_z) - p^2} \quad (27)$$

Випадок симетричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді непарного поліному. При використанні для частоти коливань залежності (7) амплітуда A_z вимушених коливань із урахуванням демпфування знаходиться із виразу

$$\zeta v A_z^3 + (a^2 - p^2) A_z = B_z, \quad (28)$$

де

$$B_z = \sqrt{\left(\frac{P_z}{M + M_z}\right)^2 - 4n_z^2 p^2 A_z^2} \quad (29)$$

Тут v та a^2 прийнято за (8), а коефіцієнт $\zeta = \frac{3}{4}$

при гармонійній лінеаризації та $\zeta = \frac{5}{7}$ при прямій лінеаризації. При знехтуванні затуванням коливань

$$B_z = \frac{P_z}{M + M_z} \quad (30)$$

Рівняння (28) має один дійсний корінь A_z та легко розв'язується шляхом табуляції і може бути перевірено графічно. Це фактично точка перетину кривих

$$y_1 = \zeta v A_z^3 + (a^2 - p^2) A_z; \quad y_2 = B_z. \quad (31)$$

Для спрощення рівнянь (31) та можливості його використання у прикладних розрахунках введені позначення: H_1 – горизонтальні складові розтягнення у носовій та кормовій якірних в'язях у початковому стані; H_2, \bar{H}_2 – ті ж складові (носова та кормова відповідно) у робочому стані. Отримано

$$H_2 = K_1 A_z + K_2 A_z^3 + H_1; \quad H_2 = \bar{H}_2. \quad (32)$$

При довгих якірних в'язях величини H_2, \bar{H}_2 є навантаженнями на якоря, а короткими – вертикальними складовими навантаження. Подальші розрахунки динаміки системи плавуча споруда – якірний пристрій – ґрунт може бути виконано за статистичними залежностями.

Випадок симетричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді кубічної параболі. Для цього випадку амплітуда A_z вимушених коливань визначається з рівняння

$$\zeta v_0 A_z^3 - p^2 A_z = B_z, \quad (33)$$

де чисельний коефіцієнт ζ має незмінні величини, v_0 визначається за (11), а B_z за (29) при наявності затування коливань і за (30) при відсутності затування. Навантаження у якірних ланцюгах складатимуть

$$H_2 = K_{02} A_z^3 + H_1; \quad H_2 = \bar{H}_2. \quad (34)$$

Випадок несиметричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді непарних поліномів. Для частот коливань використовується залежність (13). Для визначення амплітуд A_z вимушених коливань використовуючи (14) та (15) отримано

$$\frac{3}{8}(v_1 + v_2) A_z^3 + \left(\frac{a_1^2 + a_2^2}{2} - p^2\right) A_z = B_z, \quad (35)$$

де a_1^2, a_2^2, v_1, v_2 визначаються за (14), (15). Дійсний корінь A_z знаходиться шляхом табуляції, прийнявши

$$y_1 = \frac{3}{8}(v_1 + v_2) A_z^3 + \left(\frac{a_1^2 + a_2^2}{2} - p^2\right) A_z; \quad (36)$$

$$y_2 = B_z$$

Навантаження у ланцюгах становлять:

$$H_2 = K_1 A_z + K_2 A_z^3 + H_1; \quad (37)$$

$$\bar{H}_2 = \bar{K}_1 A_z + \bar{K}_2 A_z^3 + H_1.$$

Випадок несиметричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді кубічних парабол. Амплітуда коливань A_z визначається із рівняння

$$\frac{3}{8}(v_{01} + v_{02}) A_z^3 - p^2 A_z = B_z. \quad (38)$$

Рівняння розв'язується аналітично і після підстановки отримано

$$H_2 = K_{01} A_z^3 + H_1; \quad \bar{H}_2 = \bar{K}_{02} A_z^3 + H_1. \quad (39)$$

Випадок несиметричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді двох прямолінійних відрізків. Для частот коливань було наведено залежність (20), звідки амплітуда дорівнює

$$A_z = \frac{2B_z}{(a_1^2 + a_2^2) - 2p^2}, \quad (40)$$

де a_1^2, a_2^2 за (21), а B_z за (30). В робочому стані навантаження складатимуть

$$H_2 = K A_z + H_1; \quad \bar{H}_2 = \bar{K} A_z + H_1.$$

Висновки. Створено розрахункову базу визначення амплітуди A_z вертикальних змушених коливань несамохідних плавучих споруд з урахуванням їх заякоріння, навантажень у якірних канатах у залежно-

сті від хвильового тиску P_z та його частот p , від опору n_z та інших факторів.

Список літератури:

1. Рашковский, А. С. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков [Текст]: монография / А. С. Рашковский, Н. Г. Слуцкий, В. Н. Коннов, А. В. Щедролов. – Николаев: НУК, 2008. – 614 с.
2. Кульмач, П. П. Якорные системы удержания плавучих объектов [Текст] / П. П. Кульмач. – Судостроение, 1980. – 336 с.
3. Новиков, В. В. Принципы расчета прочности морских инженерных сооружений. Плавучие буровые установки [Текст]: уч. пос. / В. В. Новиков, Г. П. Шеменюк. – Владивосток: ДВФУ, 2011. – 112 с.
4. Зайцев, В. В. Проектирование общесудовых устройств [Текст] / В. В. Зайцев, А. Е. Еганов, Ю. Н. Коробанов, Э. В. Толышев. – Николаев: ИЛИОН, 2004. – 300 с.
5. Абрамовский, В. А. Влияние структуры поля скоростей ветра над волнением на динамику морских объектов [Текст] / В. А. Абрамовский // Научно-технический и производственный журнал. – 2009. – № 6. – С. 41–46.
6. Луговский, В. В. Динамика моря: избранные вопросы, связанные с изучением мореходности корабля [Текст] / В. В. Луговский. – Ленинград: Судостроение, 1976. – 198 с.
7. Александров, А. А. Справочник по управлению кораблем [Текст] / А. А. Александров, А. П. Броневицкий, В. А. Кузнецов, Г. М. Кузнецов, А. Б. Орлов, Ю. Е. Титов, С. С. Юшин. – Москва: Воениздат, 1974. – 509 с.
8. Седов, Л. И. Методы подобия и размерности в механике [Текст] / Л. И. Седов. – Москва: Наука, 1977. – 440 с.
9. Борисов, И. Д. Экспериментальное исследование волновых процессов в двухслойной системе несмешивающихся токонесящих жидкостей [Текст] / И. Д. Борисов, С. А. Пославский, Ю. И. Руднев // Прикладная гидромеханика. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 3–10.
10. Bearman, P. W. The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream [Text] / P. W. Bearman, A. J. Wadcock // Journal of Fluid Mechanics. – 1973. – Vol. 61, № 3. – P. 499–511. doi: [10.1017/s0022112073000832](https://doi.org/10.1017/s0022112073000832)
11. Raskin, L. Method of solving fuzzy problems of mathematical programming / L. Raskin, O. Sira // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 5/4 (83). – P. 23–28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.81292](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292).

Bibliography (transliterated):

1. Rashkovskij, A. S., Sluckij, N. G., Konnov, V. N., Shhedrolovse, A. V. (2008). Proektirovanie, tehnologija i organizacija stroitel'stva kompozitnyh plavuchih dokov. Nikolaev: NUK, 614.
2. Kul'mach, P. P. (1980). Jakornye sistemy uderzhanija plavuchih objektov. Sudostroenie, 336.
3. Novikov, V. V., Shemendjuk, G. P. (2011). Principy rascheta prochnosti morskikh inzhenernyh sooruzhenij. Plavuchie burovyje ustanovki. Vladivostok: DVFU, 112.
4. Zajcev, V. V., Eganov, A. E., Korobanov, Ju. N., Tolyshv, Je. V. (2004). Proektirovanie obshhesudovyh ustrojstv. Nikolaev: ILION, 300.
5. Abramovskij, V. A. (2009). Vlijanie struktury polja skorostej vetra nad volneniem nadinamiku morskikh obektov. Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal, 6, 41–46.
6. Lugovskij, V. V. (1976). Dinamika morja: izbrannye voprosy, svjazannye s izucheniem morehodnosti korablja. Leningrad: Sudostroenie, 198.
7. Aleksandrov, A. A., Bronevickij, A. P., Kuznecov, V. A., Kuznecov, G. M., Orlov, A. B., Titov, Ju. E., Jushin, S. S. (1974). Spravochnik po upravleniju korablem. Moscow: Voenizdat, 509.
8. Sedov, L. I. (1977). Metody podobija i razmernosti v mehanike. Moscow: Nauka, 440.
9. Borisov, I. D., Poslavskij, S. A., Rudnev, Ju. I. (2010). Jeksperimental'noe issledovanie volnovykh processov v duvslojnoj sisteme nesmeshivajushihsj tokonesushhih zhidkostej. Prikladnaja gidromehaniка, 12 (1), 3–10.
10. Bearman, P. W., Wadcock, A. J. (1973). The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream. Journal of Fluid Mechanics, 61 (3), 499–511. doi: [10.1017/s0022112073000832](https://doi.org/10.1017/s0022112073000832)
11. Raskin, L. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(4(83)), 23–28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.81292](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292).

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналітичне дослідження вертикальних коливань плавучого доку у нелінійній постановці з урахуванням заякоріння/ С. В. Терлич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.43–47. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Аналитическое исследование вертикальных колебаний плавучего дока в нелинейной постановке с учетом заякорения/ С. В. Терлич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.43–47. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

The analytical research of the vertical oscillations of the floating dock in the nonlinear formulation based anchoring/ S. V. Terlych // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P.43–47. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Терлич Станіслав Володимирович – Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, старший викладач кафедри "Суднобудування"; проспект Адмірала Ушакова, 44, м. Херсон, Україна, 73022; e-mail: terlich@mail.ru.

Терлич Станіслав Владимирович – Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, старший преподаватель кафедры «Судостроение»; проспект Адмирала Ушакова, 44 м. Херсон, Украина, 73022; e-mail: terlich@mail.ru.

Terlych Stanislav Volodymyrovych – Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, senior lecturer Department "Shipbuilding"; Avenue Admiral Ushakov, 44, Kherson, Ukraine, 73022; e-mail: terlich@mail.ru.