

Горалік Є.Т., Крюков М.М., Лупіна Т.О.

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РЯТУВАЛЬНОЇ ШЛЮПКИ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ПРИ СХОДЖЕННІ З ПОХИЛОЇ РАМПИ

Розглянуто задачу про рух рятувальної шлюпки вільного падіння (РШВП) при скиданні з судна протягом фази обертання з урахуванням впливу розташування її центру мас (ЦМ) як вище, так і нижче опорних поверхонь. Для складання диференціальних рівнянь руху РШВП впродовж фази обертання застосовано рівняння Лагранжа другого роду в полярній системі координат (диференціальні рівняння плоско-паралельного руху шлюпки в узагальнених координатах, де r – відстань від краю опори до проекції центру мас на опорну поверхню і φ – кут нахилу опорної поверхні шлюпки до горизонту).

Для випадків розташування ЦМ вище і нижче опорних поверхонь напрямних брусів ЗШВП отримано розв'язувальні системи двох звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку і сформульовано відповідні задачі Коші, які розв'язується чисельно за допомогою методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності.

Апробація запропонованого підходу здійснена для випадку моделювання РШВП однорідним стрижнем у формі прямокутного паралелепіпеда. Отримано відповідні розв'язувальні системи чотирьох звичайних нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку в формі Коші в узагальнених координатах r і φ . Сформульовано задачі Коші, що розв'язувались чисельно методом Рунге-Кутта четвертого порядку точності при значенні кута нахилу рампи $\alpha = 35^\circ$ для стрижнів товщиною 1,0 м і довжиною 5 і 15 м при початкових швидкостях відповідно 6 і 10 м/с.

Результати розрахунків параметрів руху свідчать, що при розташуванні ЦМ над опорними поверхнями напрямних брусів значення усіх параметрів руху РШВП в кінці фази обертання зростають, а при його розташуванні під опорними поверхнями навпаки зменшуються. При цьому вплив зміщення зростає зі зменшенням довжини шлюпки (моменту інерції відносно центру мас).

За результатами роботи зроблено висновок про доцільність використання запропонованого підходу і проведення чисельних експериментів для раціонального вибору параметрів руху РШВП з урахуванням вертикального зміщення їх ЦМ відносно опорних поверхонь.

Ключові слова: рятувальна шлюпка вільного падіння, похила рампа, вертикальне зміщення центру мас, плоско-паралельний рух, стрижень, прямокутний паралелограм, рівняння Лагранжа другого роду, звичайні диференціальні рівняння, задача Коші, чисельне моделювання, метод Рунге-Кутта.

Мета дослідження полягає у з'ясуванні впливу вертикального зміщення центру мас відносно опорної поверхні напрямних брусів на параметри руху РШВП при сходженні з похилої рампи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рух рятувальної шлюпки вільного падіння до контакту з водою при скиданні з судна розглядався в роботах багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців оскільки небезпечні для пасажирів прискорення підчас занурення шлюпки залежать від її положення та швидкості в момент контакту з поверхнею води. При цьому рух РШВП зазвичай поділяють на три взаємно пов'язані етапи: ковзання по похилій

рампи до досягнення її центром мас краю рампи (фаза ковзання), обмежене падіння до відриву від рампи (фаза обертання) і вільне падіння до контакту носової частини шлюпки з водою (фаза вільного падіння) [1, 2, 3]. Найбільш складною для теоретичного дослідження є фаза обертання, рух протягом якої описується диференціальними рівняннями, розв'язування яких потребує застосування чисельних методів.

Зазвичай рух рятувальної шлюпки під час фази обертання розглядається в декартовій системі координат [2, 4, 5] і описується трьома диференціальними рівняннями, два з яких описують рух її центру мас, а третє – обертальний рух шлюпки, до яких додається рівняння сумісності переміщень.

В роботах [6, 7, 8] запропоновано для складання диференціальних рівнянь і дослідження руху шлюпки, яка моделюється однорідним стрижнем, впродовж фази обертання застосовувати рівняння Лагранжа другого роду і полярну систему координат з початком на краю рампи. Завдяки цьому отримано більш просту систему двох диференціальних рівнянь, на основі результатів чисельних розв'язків яких виконано дослідження впливу різних факторів на параметри руху. Враховуючи малість значень приведених коефіцієнтів тертя для відомих спускних пристроїв ($\mu = 0,02 \dots 0,05$), силами тертя нехтували.

В роботі [9] запропоновано модель та складено диференціальні рівняння руху рятувальної шлюпки вільного падіння для випадку розташування центру мас над опорними поверхнями її напрямних брусів. На основі чисельних розв'язків цих рівнянь при використанні в якості моделі шлюпки бруса у формі прямокутного паралелепіпеда зроблені оцінки впливу величини зміщення центру мас над опірною поверхнею та довжини шлюпки на параметри її руху в момент відриву від рампи (в кінці фази обертання).

Основні матеріали дослідження. Розглянуто розрахункові схеми руху рятувальних шлюпок вільного падіння впродовж фази обертання для випадків розташування центру мас над (рис. 1, а) та під (рис. 1, б) опорними поверхнями напрямних брусів шлюпки.

Для складання диференціальних рівнянь руху РШВП в другому випадку так само як і в першому [9] застосовано рівняння Лагранжа другого роду [10].

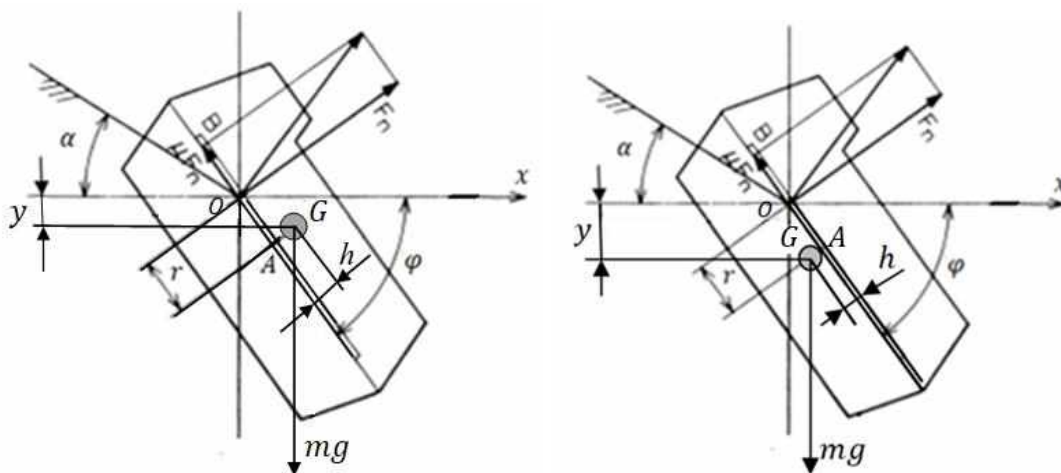


Рисунок 1 – Сходження РШВП з похилої рампи (фаза обертання): а) ЦМ над опірною поверхнею; б) ЦМ під опірною поверхнею

За узагальнені координати прийнято радіус $r = OA$ – відстань від проекції центру мас стрижня на його опірну поверхню до краю опори і полярний кут φ між горизонтальною віссю x і напрямком OA – опірною поверхнею напрямного бруса.

Отримано системи диференціальних рівнянь руху РШВП протягом фази обертання для випадку розташування центру мас над опірною поверхнею (1) та під нею (2):

$$\ddot{r} = g \sin \varphi + r \dot{\varphi}^2 - h \frac{m(g r \cos \varphi - 2r \dot{\varphi} \dot{r} - h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2},$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{m(g r \cos \varphi - 2r \dot{\varphi} \dot{r} - h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2}.$$

$$\ddot{r} = g \sin \varphi + r \dot{\varphi}^2 + h \frac{m(g r \cos \varphi - 2r \dot{\varphi} \dot{r} + h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2},$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{m(g r \cos \varphi - 2r \dot{\varphi} \dot{r} + h r \dot{\varphi}^2)}{I_{zG} + m r^2},$$

де r і φ – узагальнені координати, m – маса шлюпки, g – прискорення вільного падіння, h – відстань від центру мас шлюпки до опорної поверхні, $\dot{r}$ і $\ddot{r}$ та $\dot{\varphi}$ і $\ddot{\varphi}$ – перша та друга похідні за часом узагальнених координат, I_{zG} – момент інерції шлюпки відносно центру мас.

Отримані системи диференціальних рівнянь руху шлюпки після приведення до нормальної форми Коші в першому випадку отримують вигляд (3), а в другому випадку (4):

$$\frac{dy_1}{dt} = y_2,$$

$$\frac{dy_2}{dt} = g \sin(y_3) + y_1 y_4^2 - h \left(\frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 - h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2} \right);$$

$$\frac{dy_3}{dt} = y_4,$$

$$\frac{dy_4}{dt} = \frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 - h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2}$$

$$\frac{dy_1}{dt} = y_2,$$

$$\frac{dy_2}{dt} = g \sin(y_3) + y_1 y_4^2 + h \left(\frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 + h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2} \right);$$

$$\frac{dy_3}{dt} = y_4,$$

$$\frac{dy_4}{dt} = \frac{m(g y_1 \cos(y_3) - 2 y_1 y_2 y_4 + h y_1 y_4^2)}{I_{zG} + m y_1^2}$$

Тут $y_1 = r$, $y_2 = \dot{r}$, $y_3 = \varphi$, $y_4 = \dot{\varphi}$.

Початкові умови мають вигляд $y_1(0) = 0$, $y_2(0) = V_0$, $y_3(0) = \alpha$, $y_4(0) = 0$.

Для апробації запропонованої математичної моделі та методики розрахунку параметрів руху рятувальної шлюпки вільного падіння з урахуванням зміщення центру мас по відношенню до опорної поверхні та отримання відповідних чисельних оцінок в даній роботі визначаються параметри руху РШВП, яка моделюється однорідним стрижнем у формі прямої прямокутної призми довжиною L і товщиною k (рис. 2), в кінці фази обертання при його сходженні з нахиленої під кутом $\alpha = 35^\circ$ до горизонту рампи. Момент інерції стрижня I_{zG} (прямої прямокутної призми) відносно центру мас розраховували за відомою формулою: $I_{zc}^{np} = \frac{m}{12}(L^2 + k^2)$.

Зміщення центру мас стрижня дорівнює половині його товщини $h = \frac{k}{2}$. Шлях скочування впродовж фази обертання в першому випадку дорівнює $\frac{L}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \varphi$, в другому випадку - $\frac{L}{2} - h \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

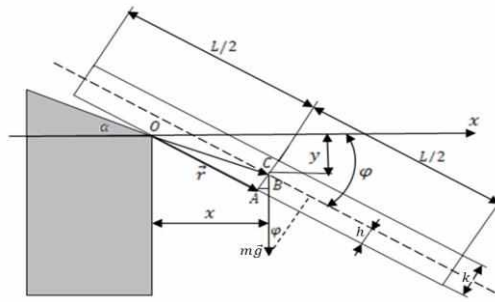


Рисунок 2 – Сходження шлюпки, що моделюється однорідним стрижнем, з похилої рампи

Задача Коші (3, 4) у векторній формі має вигляд:

$$\frac{d\vec{Y}}{dt} = \vec{F}(t, \vec{Y}), \quad \vec{Y}(0) = \vec{Y}_0, \quad (5)$$

де $\vec{Y} = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}^T$. Будемо розв'язувати задачу (5) за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності за схемою [11]:

$$\vec{Y}_{n+1} = \vec{Y}_n + \vec{\lambda}_n, \quad (n=0, 1, 2, \dots), \quad \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right)$$

$$\text{де } \vec{\lambda}_n = \frac{1}{6}(\vec{K}_1 + 2\vec{K}_2 + 2\vec{K}_3 + \vec{K}_4), \quad \vec{K}_1 = h\vec{F}(t_n, \vec{Y}_n), \quad \vec{K}_2 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_1}{2}\right),$$

$$\vec{K}_3 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_2}{2}\right), \quad \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right), \quad t_n = nh \quad (n=0, 1, 2, \dots), \quad h > 0 - \text{крок в часі } \Delta t_n = t_{n+1} - t_n = h.$$

На основі запропонованого підходу проведено серію чисельних експериментів для визначення часу скочування t , радіальної складової $\dot{r}$ швидкості точки A (проекції центру мас на опорну поверхню стрижня), кутів нахилу до горизонту φ та φ° , кутів тангажу $(\varphi - 35)^\circ$ та кутової швидкості $\dot{\varphi}$ стрижнів товщиною 1,0 м, довжиною 5 і 15 м в момент відриву від рампи при значеннях початкової швидкості центру мас 6 і 10 м/с відповідно та значенні кута нахилу рампи $\alpha = 35^\circ$. За значення початкової швидкості прийнято швидкість, яка досягається стрижнем при проходженні його центру мас над краєм рампи за умови, що на початку руху відстань від центру мас стрижня до краю рампи складає $0,65 L$, а коефіцієнт тертя між стрижнем і рампою дорівнює 0,1.

На основі отриманих результатів проведені розрахунки швидкості центру мас стрижня V_c , кута β між вектором швидкості $\vec{V}_c$ і віссю стрижня, горизонтальної V_{cx} та вертикальної V_{cy} складових цієї швидкості за наступними формулами (6):

$$\begin{aligned} V_c &= \sqrt{(\dot{r} + 0,5h\dot{\varphi})^2 + (r\dot{\varphi})^2}; \\ \beta &= \arcsin\left(\frac{r \cdot \dot{\varphi}}{V_c}\right); \\ V_{cx} &= V_c \cdot \cos(\varphi + \beta); \\ V_{cy} &= V_c \cdot \sin(\varphi + \beta). \end{aligned} \quad (6)$$

Результати проведених розрахунків у випадку розташування центру мас стрижня під опорною поверхнею ($h = -0,5$ м), в площині опорної поверхні ($h = 0$), та над нею ($h = 0,5$ м), представлені в табл. 1 та на рисунку 3.

Таблиця 1. Результати розрахунків параметрів руху при скочуванні з похилої рампи стрижнів у формі прямокутного паралелепіпеда довжиною 5 і 15 м при початкових швидкостях відповідно 6 і 10 м/с.

$L = 5 \text{ м}, V_0 = 6 \text{ м/с}$			
$h, \text{м}$	-0,5	0	0,5
$t, \text{с}$	0,308	0,356	0,404
φ°	38,25	39,38	40,42
$(\varphi - 35)^\circ$	3,25	4,38	5,42
$\dot{\varphi}, \text{с}^{-1}$	0,368	0,396	0,408
$r, \text{м}$	2,151	2,5	2,851
$\dot{r}, \text{м/с}$	7,985	8,112	8,228
$V_C, \text{м/с}$	7,841	8,172	8,512
β°	5,80	6,97	7,87
$V_{Cx}, \text{м/с}$	5,470	5,644	5,667
$V_{Cy}, \text{м/с}$	5,618	5,910	6,352

Закінчення таблиці 1

$L = 15 \text{ м}, V_0 = 10 \text{ м/с}$			
$h, \text{м}$	-0,5	0	0,5
$t, \text{с}$	0,606	0,634	0,662
φ°	39,23	39,62	40,00
$(\varphi - 35)^\circ$	4,23	4,62	5,00
$\dot{\varphi}, \text{с}^{-1}$	0,230	0,234	0,237
$r, \text{м}$	7,151	7,500	7,851
$\dot{r}, \text{м/с}$	13,70	13,77	13,84
$V_C, \text{м/с}$	13,684	13,882	14,083
β°	6,907	7,277	7,609
$V_{Cx}, \text{м/с}$	9,354	9,49	9,499
$V_{Cy}, \text{м/с}$	9,888	10,131	10,396

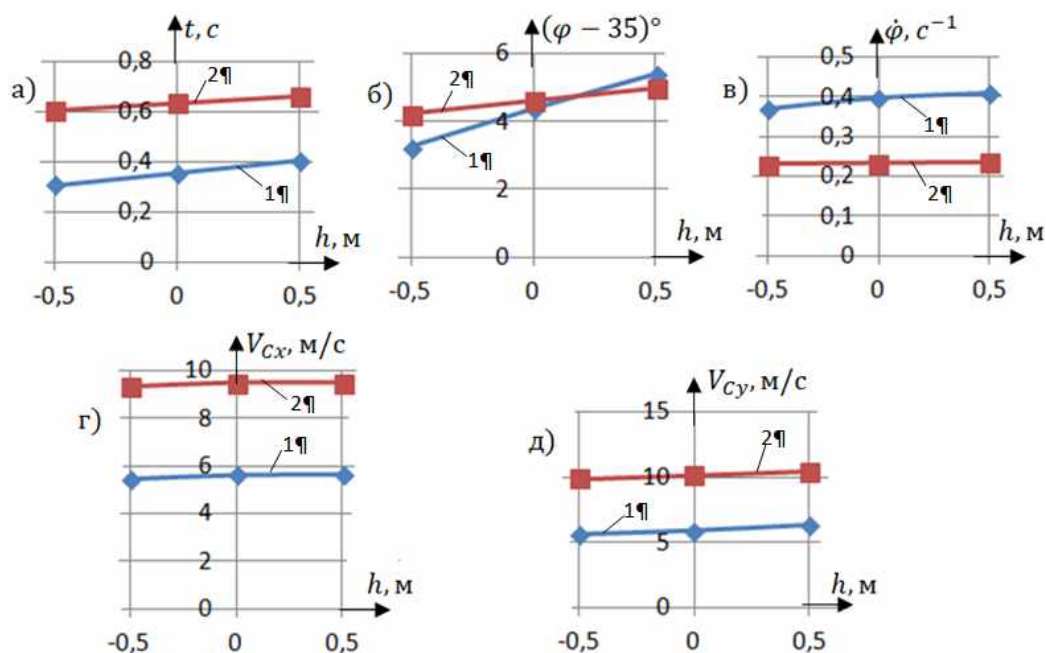


Рисунок 3 – Графіки залежності параметрів руху стрижнів довжиною 5м (1) і 15м (2)

від відстані h центру мас до опорних поверхонь: а) – часу фази обертання, б) – кута тангажу, в) – кутової швидкості, г) – горизонтальної швидкості ЦМ, д) – вертикальної швидкості ЦМ

Як видно з представлених в табл. 1 даних при зростанні h від $-0,5$ м до $0,5$ м час фази обертання коротшого і довшого стрижнів збільшується від $0,308$ до $0,404$ с (на $0,6\%$) та від $0,606$ до $0,662$ с (на $0,34\%$) відповідно. Горизонтальні швидкості ЦМ коротшого і довшого стрижнів при цьому зростають від $7,841$ до $8,512$ м/с (на $8,6\%$) та від $13,684$ до $14,083$ м/с (на $2,9\%$) відповідно, а їх вертикальні швидкості в першому випадку зростають від $5,618$ до $6,352$ м/с (на $13,1\%$) та в другому – від $9,888$ до $10,396$ м/с (на $5,1\%$). Кут тангажу так само зростає для коротшого і довшого стрижня від $3,25$ до $5,42^\circ$ (на $66,8\%$) і від $4,23$ до $5,0^\circ$ (на $18,2\%$) відповідно. При цьому кутові швидкості для коротшого стрижня зростають від $0,368$ до $0,408$ с^{-1} (на $10,9\%$), а для довшого від $0,230$ до $0,237$ с^{-1} (на $3,0\%$)

Аналіз представлених в табл. 1 та на рис. 3 даних свідчить, що мінімальні значення усіх параметрів руху стрижня в момент його відриву від похилої опорної поверхні в кінці фази обертання відповідають розташуванню центру мас під опорною поверхнею ($h = -0,5$ м). При підйомі центру мас до рівня опорних поверхонь ($h = 0$) та його розташуванні над нею ($h = 0,5$ м) значення усіх параметрів руху послідовно зростають. При цьому час фази обертання, та швидкості центру мас для стрижня довжиною 15 м значно перевищують відповідні значення для стрижня довжиною 5 м. В той же час значення кутових швидкостей обертання навпаки виявляються значно більшими у коротшого стрижня, а кути тангажу коротшого стрижня при $h = -0,5$ м і $h = 0$ менші, а при $h = 0,5$ м більші від кутів тангажу довшого стрижня. Останнє, очевидно, пояснюється меншим часом фази обертання коротшого стрижня та більш значним зростанням його кутової швидкості при збільшенні h .

Висновки. Запропонована розрахункова схема дозволяє за допомогою чисельних експериментів проводити розрахунок раціональних параметрів руху РШВП при скиданні з судна з урахуванням розташування їх центру мас як над, так і під опорною поверхнею напрямних брусів.

Отримані результати розрахунків свідчать, що вплив зміщення центру мас на параметри руху РШВП зростає зі зменшенням довжини шлюпки (моменту інерції відносно центру мас). При цьому при розташуванні центру мас над опорною поверхнею напрямних брусів збільшення величини зміщення призводить до зростання усіх параметрів руху РШВП в кінці фази обертання, і навпаки, при розташуванні центру мас під опорною поверхнею збільшення величини зміщення призводить до зменшення значень усіх параметрів руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бугаенко, Б. А. Принципы проектирования и особенности конструирования судовых устройств и судовой техники морских технологий [Текст] / Б. А. Бугаенко, А. Ф. Галь. Николаев : УГМТУ, 1995. – Ч. 2. – С. 86–101.
2. Tasaki, R., Ogawa Atsushi, Tsukino, Y. Numerical Simulation and its Application on the Falling Motion of Freefall Lifeboats. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 167, pp. 1147-158, 1990.
3. В.Е.Микитюк, Д.А.Миронов. Параметри движения шлюпки свободного падения перед приводнением / Матеріали І Міжнар. наук.-техн. конф. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» Миколаїв: - НУК, 2010. – С. 84-89.
4. Arai, M., Khondoker, M. R. H., Inoue, Y. Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat First Report : Analysis of Motion and Acceleration. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 178, pp. 193-201, 1995.
5. Karim, M.M., Iqbal, K.S., Khondoker, M.R.H. and Rahman S.M.H. Influence of Falling Height on the Behavior of Skid-Launching Free-Fall Lifeboat in Regular Waves. Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 4, No. 1, pp. 77-88, 2011.

6. Goralik J.T., Kryukov M.M., Lupina T.O. Investigation of the rotation phase of a free-fall lifeboat movement. International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies". Issue 12/Part2., pp. 65-76, 2020.

7. Є.Т. Горалік, М.М. Крюков. Математическое моделирование фазы вращения движения твердого тела при сходжении с наклонной рампой. Прикладні питання математичного моделювання. Т.3, № 2.2., 2020. С. 113-122.

8. Є.Т. Горалік, М.М. Крюков, Т.О. Лупіна. Рух рятувальної шлюпки вільного падіння при сходженні з похилої рампі. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2021. – Випуск 2(33). – С.23-35.

9. Є.Т. Горалік, М.М. Крюков, Т.О. Лупіна. Оцінка впливу зміщення центру мас рятувальної шлюпки вільного падіння відносно опорної поверхні на її рух при скиданні з судна. Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2022. – Випуск 2(33). – С.165-176.

10. Теоретична механіка: підручник для студентів ВНТЗ/ кол. авторів за заг. ред. І.В.Кузьо. – Харків: Фоліо, 2017. 780 с.

11. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. – М.: Физматгиз, 1962. – Т.2. - 639 с.

REFERENCES

1. Bugayenko, B. A. (1995) "Printsipy proyektirovaniya i osobennosti konstruirovaniya sudovykh ustroystv i sudovoy tekhniki morskikh tekhnologiy" [Design principles and design features of ship devices and marine equipment of marine technology] [Tekst] / B. A. Bugayenko, A. F. Gal. Nikolayev : UGMTU, CH. 2, 86–101. [in Russian].

2. Tasaki, R., Ogawa Atsushi, Tsukino, Y.(1990) Numerical Simulation and its Application on the Falling Motion of Freefall Lifeboats. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 167, 1147-158. [in Japanese].

3. V.E.Mykytyuk, D.A.Myronov. (2010) "Parametry dvyzhenyya shlyupky svobodnoho padenyya pered pryvodnennyem" [Parameters of free fall boat motion before flooding] / Materialy I Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi» Mykolayiv: - NUK, 84-89. [in Russian].

4. Arai,M., Khondoker, M. R. H., Inoue, Y. (1995). Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat First Report : Analysis of Motion and Acceleration. Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 178, 193-201. [in English].

5. Karim, M. M., Iqbal, K. S., Khondoker, M. R. H., Rahman, S. M. H.(2011) Influence of Falling Height on the Behavior of Skid-Launching Free-Fall Lifeboat in Regular Waves. Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 4, No. 1, 77-88. [in English].

6. Goralik J.T., Kryukov M.M., Lupina T.O. Investigation of the rotation phase of a free-fall lifeboat movement. International periodic scientific journal "Modern engineering and innovative technologies". Issue 12/Part2., pp. 65-76, 2020.

7. Horalik Ye.T., Kriukov M.M. (2020) Matematicheskoe modelirovanie fazyi vrascheniya dvizheniya tverdogo tela pri shozhdenii s naklonnoy rampy. [Mathematical modeling of the rotation phase of a solid body movement when descending from the inclined ramp] PrikladnI pitannya matematichnogo modelyuvannya. 3/2.2, 113-122. [in Russian].

8. Horalik Ye.T., Kriukov M.M., Lupina T.O. (2021). Rukh riatsuvalnoi shlyupky vilnoho padinnia pry skhodzhenni z pokhyloi rampy [The movement of the freefall lifeboat when descending from the inclined ramp]. Vodnyi transport [Water transport], no.2, 23-35. [in Ukrainian].

9. Horalik Ye.T., Kriukov M.M., Lupina T.O. Otsinka vplivu zmischennya tsentru mas ryatuvalnoyi shlyupki vilnoho padinnya vidnosno opornoyi poverhni na yiyi ruh pri skidanni z sudna [Assessment of the impact of the displacement of the center of mass of the free-fall lifeboat relative to the support surface on its motion when dropping from the ship]. Vodnyi transport [Water transport], 2 (33), 165-176. [in Ukrainian].

10. Teoretychna mekhanika. Pidruchnyk [Theoretical mechanics: textbook] (2017) / Count. authors per zag. Ed. I.V.Kuzio. – Kharkiv: Folio, 780 s.

11. Berezin I.S., Zhidkov N.P. Metody vychisleniy (Calculation Methods). – M.: Fizmatgiz, 1962. – T.2. - 639 s.

Goralik J.T., Kryukov N.N., Lupina T.O.

SIMULATION OF THE MOTION OF A FREE-FALL LIFEBOAT WHEN DESCENDING FROM AN INCLINED RAMP

The problem of the movement of the free-fall lifeboat (FFLB) when dropping from the vessel during the rotation phase is considered, taking into account the influence of the location of its center of mass (CM) both above and below the supporting surfaces. To compile differential equations of motion of the FFLB during the rotation phase, the second kind of Lagrange equation in the polar coordinate system is applied (differential equations of plane-parallel motion of the boat in generalized coordinates, where r is the distance from the edge of the support to the projection of the center of mass on the supporting surface and φ is the angle of inclination of the supporting surface of the boat to the horizon).

For cases where CM is located above and below the supporting surfaces of the guide bars of the FFLB, the solving systems of two ordinary nonlinear differential equations of the second order are obtained and the corresponding Cauchy problems are formulated, which are solved numerically using the fourth-order Runge-Kutta method.

Testing of the developed approach was carried out for the case of modeling the FFLB with a homogeneous rod in the form of a rectangular parallelepiped. The corresponding solution systems of four ordinary nonlinear differential equations of the first order in Cauchy form in generalized coordinates r i φ are obtained, for which Cauchy problems are formulated, which were solved numerically by the fourth-order Runge-Kutta method of accuracy at the value of the ramp inclination angle $\alpha=35^\circ$ for rods of 1.0 m thickness and length of 5 and 15 m at initial velocities of 6 and 10 m/s, respectively.

The results of calculations of motion parameters indicate that when the CM is located above the supporting surfaces of the guide bars, the values of all motion parameters of the FFLB at the end of the rotation phase increase, and when it is located under the supporting surfaces, on the contrary, decrease. In this case, the effect of displacement increases with decreasing length of the boat (moment of inertia relative to the center of mass).

According to the results of the work, it is concluded that it is possible to use the proposed approach and conduct numerical experiments for the rational choice of the FFLB motion parameters, taking into account the vertical displacement of their CM relative to the supporting surfaces.

Keywords: *freefall lifeboat, inclined ramp, vertical displacement of the center of mass, plane-parallel motion, rod, rectangular parallelogram, Lagrange equation of the second kind, ordinary differential equations, Cauchy problem, numerical modeling, Runge-Kutta method.*