

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

РУХ РЯТУВАЛЬНОЇ ШЛЮПКИ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ПРИ СХОДЖЕННІ З ПОХИЛОЇ РАМПИ

В статті наведено короткий огляд історії створення та розробок рятувальних шлюпок вільного падіння (РШВП), призначених для термінової безпечної евакуації людей з морських суден та морських нафтодобувних платформ у випадку аварій за екстремальних погодних умов.

Розглядається задача про рух РШВП, яка моделюється однорідним стрижнем, при сходженні з похилої рампі протягом першої фази падіння з наростаючим кутом нахилу (тангажу - tangage) – з моменту, коли центр мас шлюпки опиняється над краєм опори (крайнім роликом рампі), до моменту сходу з рампі кінця опорних поверхонь шлюпки. Диференціальні рівняння руху в полярних координатах складені за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду. Отримано розв'язувальну систему звичайних диференціальних рівнянь і сформульовано відповідну задачу Коші, яка розв'язується чисельно за допомогою методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності.

На основі запропонованого підходу проведено чисельні експерименти для визначення часу скочування РШВП, швидкості її центру мас, кутів повороту та кутової швидкості шлюпки в момент відриву від рампі при значенні кута нахилу рампі $\alpha = 35^\circ$ та різних значеннях початкової швидкості центру мас в діапазоні від 1 до 10 м/с і довжини шлюпки в діапазоні від 5 до 15 м.

За результатами чисельних експериментів здійснено аналіз впливу початкової швидкості і довжини РШВП на параметри її руху при сходженні з похилої рампі. Розрахункові значення часу першої фази падіння, кута тангажу, кутової швидкості тангажу та модуля швидкості центру мас РШВП в ході виконаних чисельних експериментів змінювались в діапазоні 1,424 - 0,234 с, $1,98 - 15,85^\circ$, $0,616 - 0,234 \text{ c}^{-1}$ та $5,944 - 13,773 \text{ м/с}$ відповідно. При цьому зі збільшенням довжини шлюпки час першої фази падіння зростає, а зі збільшенням початкової швидкості зменшується. Кут тангажу зі збільшенням швидкості зменшуються, а зі збільшенням довжини шлюпки зростають, в той час як кутові швидкості тангажу зі збільшенням початкової швидкості так само, як і зі збільшенням довжини шлюпки спадають.

За результатами роботи зроблено висновок про можливість використання запропонованого підходу і чисельних експериментів для раціонального вибору параметрів руху РШВП та напрямів подальших досліджень.

Ключові слова: *рятувальна шлюпка вільного падіння, плоско-паралельний рух, стрижень, похила рампі, рівняння Лагранжа другого роду, звичайні диференціальні рівняння, задача Коші, чисельне моделювання, метод Рунге-Кутта.*

Постановка проблеми. *Рух рятувальної шлюпки вільного падіння (РШВП) по похилій рампі, відрив від рампі і вільне падіння по балістичній траєкторії, занурення і наступне виринання на поверхні моря взаємопов'язані. Величина небезпечних прискорень діючих на РШВП і розміщених в ній людей залежить від швидкості і*

орієнтації шлюпки в момент контакту її носового кінця з поверхнею води, які визначаються попередніми етапами руху. Найбільш складним для дослідження з цих етапів, через відсутність відомих аналітичних розв'язків відповідних диференціальних рівнянь руху, є фаза падіння з наростаючим кутом нахилу – з моменту, коли центр мас шлюпки опиняється над краєм опори (крайнім роликом рампи) до моменту сходу з рампи кінця опорних поверхонь шлюпки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рятувальні шлюпки вільного падіння є найбільш надійним рятувальним засобом, який забезпечує евакуацію людей з аварійного судна практично при будь-яких погодних умовах. Вони мають дві суттєві переваги: більш надійні при спуску з аварійного судна, яке має великий крен або диферент та при сильній хитавиці; після скидання з корми судна, здатні швидко віддалитися від місця катастрофи на безпечну відстань.

Сьогодні в світі вже більшість сучасних морських вантажних суден та танкерів обладнані РШВП. Актуальним є їх розробка і встановлення в майбутньому і на пасажирських суднах. РШВП обладнані також сучасні морські нафтові платформи.

Історія створення рятувальної шлюпки вільного падіння нерозривно пов'язана з скандинавськими країнами. Концепція такої шлюпки вперше з'явилась на світ у 1897 році [1] коли шведський конструктор А.Е. Фальк запатентував конструкцію закритої рятувальної шлюпки, яка зісковзувала з корми судна. Але знадобилося ще 80 років технічного розвитку для того, щоб у 1977 році відбувся перший пілотований спуск рятувальної шлюпки вільного падіння по балістичній траєкторії з морського судна на верфі Oresundsavarvet (Ересунн Швеція).

Подальший розвиток ідея застосування рятувальних засобів, які спускаються на воду шляхом скидання, отримала під час виконання затвердженої норвезьким парламентом програми дослідження перспективного обладнання і методів спасіння людей на морі (1977-1983) [2].

Відтоді і дотепер роботи по вдосконаленню та розробці нових конструкцій та технологій РШВП тривають зусиллями багатьох країн. При цьому скандинавці продовжують вносити вагомий вклад в ці розробки. Так інженери норвезької компанії «Norsafe AS», яка спеціалізується на рятувальній техніці, розробляють рятувальний засіб майбутнього «ResCube» - систему морських РШВП, розташованих вертикально вздовж бортів пасажирського судна, завдяки чому пасажирів можуть увійти відразу з шести палуб [3]. «ResCube» дозволяє розмістити на борту 330 пасажирів. Під час рятувальної операції під дією сили тяжіння система повертається на 90 градусів. Вага рятувальної шлюпки складає понад 50 тонн. Компанія Norsafe у 2015 році встановила новий світовий рекорд по висоті падіння шлюпки з пасажирями [4]. Шлюпка GES50 МКІІІ, розрахована на 70 пасажирів, була скинута з висоти 40 м, коли на борту знаходилось 10 чоловік. Трохи раніше (у вересні 2013 року) Norsafe успішно скинула шлюпку GES52 без пасажирів з рекордної висоти 66,8 м.

Роботи по розробці РШВП в СРСР та СНГ [2] тривали з 1984 по 1994 рік за участю ЦНДІ Морського флоту та ЦКБ «Редан». Шляхом експериментів на моделях була визначена оптимальна форма корпусу, розроблена конструкція, виготовлений і випробуваний у 1993 році дослідний зразок, який підтвердив його відповідність вимогам: перевантаження не перевищували шестикратних, спуско-підйомний пристрій (СПП) для скидання РШВП по балістичній траєкторії виготовлений миколаївським ПКБ «Прогрес» забезпечував усі параметри скидання.

Для вирішення проблем пов'язаних з перевантаженнями при входженні у воду при розробці нових РШВП, крім експериментів, важливими є теоретичні дослідження руху шлюпки при скиданні з спуско-підйомного пристрою. На жаль, відкриті публікації, які відносяться до розрахункових і експериментальних робіт, пов'язаних з дослідженнями динаміки руху РШВП при аварійному скиданні відсутні. В монографії

[5] є лише згадки про РШВП та їх конструктивні особливості в порівнянні з традиційними рятувальними шлюпками. Міжнародна конвенція SOLAS – 74 [6] вкрай лаконічно формулює вимоги до РШВП: «Рятувальна шлюпка, призначена для спуску методом вільного падіння, повинна мати таку конструкцію, щоб, будучи завантаженою повним комплектом людей і спорядження, вона забезпечувала захист від небезпечних прискорень, які виникають при спусканні її на воду з висоти, щонайменше рівній максимальній проектній висоті її встановлення над ватерлінією при найменшій експлуатаційній осадці судна, несприятливих умовах диферента до 10° і крені не менше 20° на будь-який борт. Деякі технічні характеристики РШВП містяться в [7-10].

В роботі [11] приведена математична модель процесу падіння ШСП, але дані конкретних розрахунків не наводяться. Коротко розглянуті етапи (фази) руху ШСП в роботі [12] і запропоновані залежності для визначення основних параметрів (лінійних і кутових швидкостей, кутів тангажу тощо). В роботі [13] пропонується алгоритм для визначення параметрів руху і орієнтації РШВП перед приводненням після скидання з аварійного судна, однак відсутні порівняння результатів розрахунку за цим алгоритмом з більш точними розрахунками або даними експериментів.

В останній роботі пропонується показана на рис. 1 схема руху РШВП до контакту з водою, яка складається з трьох послідовних етапів:

- 1) розгін РШВП по похилій рампі до суміщення її центру мас з крайніми (нижніми) роликками рамп;
- 2) продовження прискореного переміщення РШВП по рампі з наростаючим кутом нахилу (тангаж) аж до сходу її корми з крайніх роликів рамп (перша фаза падіння);
- 3) вільне падіння до моменту торкання носовим кінцем поверхні води (друга фаза падіння).

Мета дослідження полягає в розробці та використанні адекватної математичної моделі для дослідження параметрів руху рятувальної шлюпки вільного падіння при сходженні з нахиленої під кутом 35° рамп для дослідження впливу початкової швидкості та довжини шлюпки на її швидкість, кутову швидкість та кут тангажу протягом першої фази падіння.

Основний текст дослідження. Найбільш складним і малодослідженим етапом руху рятувальної шлюпки вільного падіння при її сходженні з напрямних опорної рамп є перша фаза падіння з наростаючим кутом нахилу з моменту, коли центр мас опиняється над краєм опори (крайнім роликом рамп) до моменту сходу з рамп опорних поверхонь шлюпки

Рятувальні шлюпки вільного падіння, які використовуються на морських судах та нафтодобувних платформах, при сходженні з похилої рамп та подальшому вільному падінні до поверхні води рухаються плоско-паралельно.

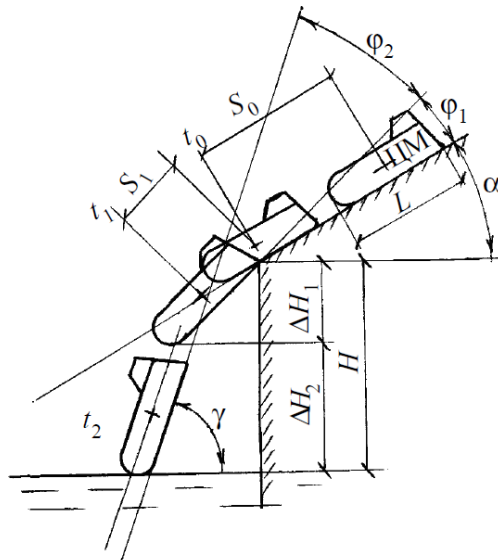


Рисунок 1 – Схема руху РШВП до контакту з водою

При дослідженні плоско-паралельного руху тіл в теоретичній механіці його зазвичай представляють як суму двох рухів: поступального разом з центром мас та обертального навколо цієї точки [14]. При цьому реальні тіла в багатьох випадках з достатньою точністю можуть моделюватися однорідним стрижнем.

В подальшому в даній роботі при дослідженні руху РШВП при сходженні з похилої рампи застосуємо полярну систему координат (r, φ) а в якості моделі будемо використовувати саме однорідний стрижень масою m довжиною L (рис. 2). В початковий момент центр мас стрижня знаходиться над крайнім роликот рампи і має початкову швидкість $\vec{V}_0$ напрямлену вздовж рампи вниз.

Переміщення центру мас стрижня за край опори на довжину відрізка $\vec{r} = \overrightarrow{OC}$ під дією сили тяжіння $\vec{P} = m\vec{g}$ викликає появу обертального моменту величиною $M = Px = mgr \cos \varphi$, під дією якого стрижень обертається з кутовим прискоренням у вертикальній площині.

Для складання диференціальних рівнянь руху тіла застосуємо рівняння Лагранжа другого роду. При цьому силами тертя знехтуємо.

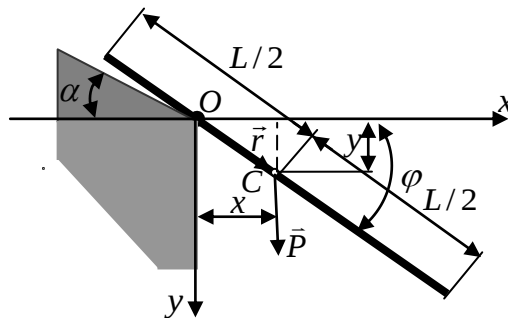


Рисунок 2 – Сходження однорідного стрижня з похилої опори

В якості узагальнених координат приймемо радіус $r = OC$ — відстань від центру мас стрижня до краю опори і полярний кут φ між горизонтальною віссю x і напрямком OC — віссю стрижня.

В даному випадку рівняння Лагранжа другого роду мають вигляд

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left(\frac{\delta T}{\delta \dot{r}}\right) - \frac{\delta T}{\delta r} &= Q_1, \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\delta T}{\delta \dot{\varphi}}\right) - \frac{\delta T}{\delta \varphi} &= Q_2,\end{aligned}$$

де T — кінетична енергія тіла, $\dot{r} = \frac{dr}{dt}$ — модуль радіальної швидкості центру мас, $\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$ — модуль кутової швидкості стрижня, $\ddot{\varphi} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ — модуль кутового прискорення стрижня, Q_1 і Q_2 — узагальнені сили.

Кінетична енергія стрижня при його русі визначається з виразу

$$T = \frac{I_{zc}\dot{\varphi}^2}{2} + \frac{mV_c^2}{2}, \quad I_{zc} = \frac{mL^2}{12}$$

де I_{zc} — момент інерції стрижня відносно центру мас, V_c — модуль вектора швидкості центру мас.

З урахуванням відомих формул для моменту інерції стрижня відносно центру мас $I_{zc} = \frac{mL^2}{12}$ і модуля вектора швидкості точки в полярній системі координат $V = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2}$ отримаємо наступний вираз для кінетичної енергії стрижня: $T = \frac{mL^2}{12} \cdot \frac{\dot{\varphi}^2}{2} + \frac{m(\dot{r}^2 + r^2\dot{\varphi}^2)}{2}$.

Знайшовши вирази для похідних, що входять у ліві частини рівнянь Лагранжа, отримаємо

$$\begin{aligned}\frac{\delta T}{\delta \dot{r}} &= m\dot{r}; \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\delta T}{\delta \dot{r}}\right) = m\ddot{r}; \quad \frac{\delta T}{\delta r} = m\dot{\varphi}^2; \quad \frac{\delta T}{\delta \dot{\varphi}} = \frac{L^2}{12}m\dot{\varphi} + mr^2\dot{\varphi}; \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\delta T}{\delta \dot{\varphi}}\right) = 2mr\dot{r}\dot{\varphi} + \\ &\quad \left(\frac{L^2}{12} + r^2\right)m\ddot{\varphi}; \quad \frac{\delta T}{\delta \varphi} = 0.\end{aligned}$$

Визначимо узагальнену силу Q_1 по координаті $q_1 = r$. Для цього розглянемо можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальної координати $q_1 = r$ (рис. 3)

$$\delta A = Q_1 \delta q_1 = Q_1 \delta r$$

Сума елементарних робіт всіх активних сил, прикладених до системи на цьому переміщенні дорівнює

$$\delta A = P \delta r \sin \varphi = mg \delta r \sin \varphi.$$

З іншого боку $\delta A = Q_1 \delta q_1 = Q_1 \delta r$. Отже, $Q_1 = mg \sin \varphi$. Так само визначимо узагальнену силу Q_2 по координаті $q_2 = \varphi$.

Розглянемо можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальної координати $\delta \varphi$ (рис. 4).

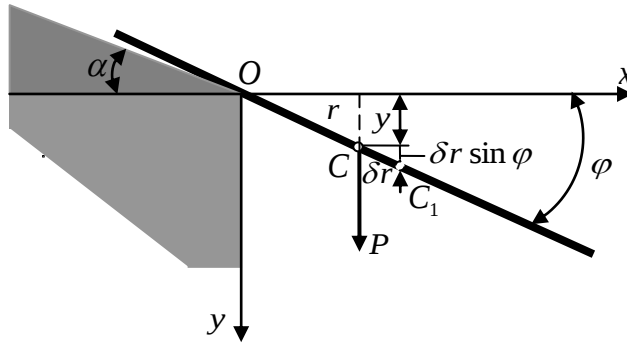


Рисунок 3 – Можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальненої координати δr .

Сума елементарних робіт всіх активних сил, прикладених до системи на цьому переміщенні дорівнює

$$\delta A = Pr[\sin(\alpha + \delta\varphi) - \sin\varphi] = mgr[\sin\varphi\cos\delta\varphi + \cos\varphi\sin\delta\varphi - \sin\varphi].$$

Оскільки $\cos\delta\varphi \approx 1$ і $\sin\delta\varphi \approx \delta\varphi$, можна записати $\delta A = mgr\cos\varphi\delta\varphi$. З іншого боку $\delta A = Q_2\delta q = Q_2\delta\varphi$. Отже, $Q_2 = mgr\cos\varphi$.

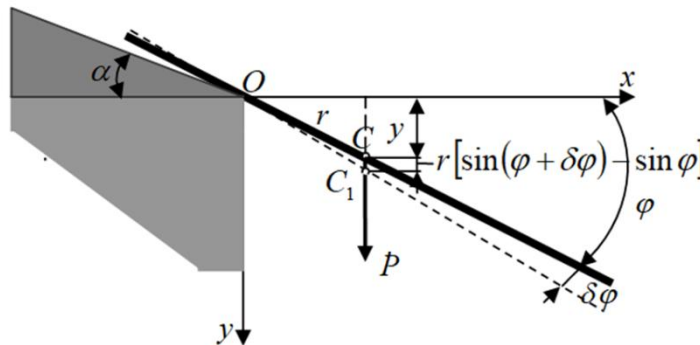


Рисунок 4 – Можливе переміщення системи, зумовлене можливим приростом узагальненої координати $\delta\varphi$

Підставимо отримані вище вирази у рівняння Лагранжа і отримаємо наступну розв'язувальну систему диференціальних рівнянь другого порядку

$$\begin{aligned} \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 &= g\sin\varphi; \\ 2r\dot{r}\dot{\varphi} + \left(\frac{L^2}{12} + r^2\right)\ddot{\varphi} &= gr\cos\varphi. \end{aligned} \quad (1)$$

Для формулювання задачі Коші для отриманої системи диференціальних рівнянь (1) необхідно додати початкові умови

$$r(0) = 0, \dot{r}(0) = V_0, \varphi(0) = \alpha, \dot{\varphi}(0) = 0. \quad (2)$$

Приведемо отриману систему диференціальних рівнянь до нормальної форми Коші:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= y_1 y_4^2 + g \sin y_3, \\ \frac{dy_3}{dt} &= y_4, \\ \frac{dy_4}{dt} &= \frac{g y_1 \cos y_3 - 2 y_1 y_2 y_4}{a + y_1^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{Тут } y_1 = r, y_2 = \dot{r}, y_3 = \varphi, y_4 = \dot{\varphi}, a = \frac{L^2}{12}.$$

Початкові умови мають вигляд:

$$y_1(0) = 0, y_2(0) = V_0, y_3(0) = \alpha, y_4(0) = 0. \quad (4)$$

Запишемо задачу Коші (3), (4) у векторній формі:

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

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 [15]

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

$$\begin{aligned} \text{де } \vec{\lambda}_n &= \frac{1}{6}(\vec{K}_1 + 2\vec{K}_2 + 2\vec{K}_3 + \vec{K}_4), \vec{K}_1 = h\vec{F}(t_n, \vec{Y}_n), \vec{K}_2 = h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_1}{2}\right), \\ \vec{K}_3 &= h\vec{F}\left(t_n + \frac{h}{2}, \vec{Y}_n + \frac{\vec{K}_2}{2}\right), \vec{K}_4 = h\vec{F}\left(t_n + h, \vec{Y}_n + \vec{K}_3\right), t_n = nh \ (n = 0, 2, \dots), \\ h > 0 & - \text{ крок в часі } \Delta t_n = t_{n+1} - t_n = h. \end{aligned}$$

На основі запропонованого підходу проведено серію чисельних експериментів для визначення часу скочування шлюпки, горизонтальної та вертикальної складової швидкості центру мас, кутів повороту та кутової швидкості шлюпки в момент відриву від рампи при значенні кута нахилу рампи $\alpha = 35^\circ$ та різних значеннях початкової швидкості центру мас в діапазоні від 1 до 10 м/с і довжини шлюпки в діапазоні від 5 до 15 м.

В табл. 1 та для більшої наочності на рис. 5 – 8 представлені результати розрахунків часу скочування шлюпки (першого етапу падіння), кута тангажу, кутової швидкості тангажу та модуля швидкості центру мас шлюпки в момент її відриву від рампи для шлюпок довжиною 5, 10 і 15 м при початкових швидкостях в діапазоні 1...10 м/с.

Як видно з графіків рис. 5 та даних табл. 1 час скочування зі збільшенням довжини шлюпки зростає а зі збільшенням початкової швидкості зменшується. Графіки залежностей часу скочування для шлюпок довжиною 5, 10 и 15 метрів мають вигляд майже еквідистантних вгнутих кривих. Час скочування для шлюпок довжиною 5, 10 и 15 м при зростанні початкової швидкості з 1 до 10 м/с зменшується з 0,762 до 0,234 с, з 1,136 до 0,444 с, і з 1,424 до 0,634 с відповідно, тобто зменшення часу при зростанні

швидкості зі збільшенням довжини для досліджуваних шлюпок складає 0,528, 0,692 і 0,79 с.

Таблиця 1 – Результати розрахунків часу скочування, кута тангажу, кутової швидкості тангажу та модуля швидкості центру мас в момент відриву шлюпки довжиною 5, 10 і 15 м при початкових швидкостях в діапазоні 1...10 м/с.

L=5 м										
V_0 , м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t, с	0,762	0,64	0,543	0,466	0,405	0,356	0,316	0,284	0,257	0,234
φ – 35°	14,873	12,006	9,312	7,191	5,586	4,382	3,522	2,834	2,376	1,975
$\dot{\varphi}$, с ⁻¹	0,616	0,585	0,539	0,489	0,44	0,396	0,358	0,326	0,297	0,273
V_1 , м/с	5,944	6,083	6,39	6,851	7,435	8,112	8,857	9,654	10,489	11,352
L=10 м										
V_0 , м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t, с	1,136	1,001	0,887	0,79	0,707	0,637	0,577	0,525	0,481	0,444
φ – 35°	15,56	13,73	11,66	9,713	8,108	6,732	5,643	4,726	4,038	3,465
$\dot{\varphi}$, с ⁻¹	0,439	0,428	0,41	0,387	0,362	0,337	0,313	0,29	0,27	0,252
V_1 , м/с	8,387	8,459	8,643	8,945	9,361	9,874	10,469	11,13	11,846	12,604
L=15 м										
V_0 , м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t, с	1,424	1,283	1,16	1,053	0,958	0,875	0,803	0,739	0,683	0,634
φ – 35°	15,847	14,471	12,752	11,089	9,5987	8,2229	7,0764	6,1019	5,2994	4,612
$\dot{\varphi}$, с ⁻¹	0,359	0,354	0,344	0,33	0,315	0,298	0,281	0,264	0,249	0,234
V_1 , м/с	10,267	10,314	10,443	10,669	10,992	11,407	11,903	12,47	13,095	13,773

З рис. 6 видно, що кути тангажу зі збільшенням швидкості зменшуються, а зі збільшенням довжини шлюпки зростають. Графіки являють собою спадні вгнуті криві, причому криві для більших довжин розташовуються вище, а їх кривизна зменшується – (залежність наближається до лінійної). Максимальні кути тангажу мають місце при початковій швидкості 1 м/с і для шлюпок довжиною 5, 10 і 15 м (табл. 1) складають 14,873°, 15,56° і 15,847° відповідно. При збільшенні початкової швидкості до 10 м/с кути тангажу цих шлюпок зменшуються до 1,975°, 3,465° і 4,612°.

Кутові швидкості тангажу зі збільшенням початкової швидкості так само, як і зі збільшенням довжини спадають (рис. 7). При мінімальній початковій швидкості для досліджуваних довжин відповідні кутові швидкості тангажу дорівнюють (табл. 1) 0,616 с⁻¹, 0,439 с⁻¹ і 0,359 с⁻¹. При максимальній початковій швидкості ці величини зменшуються до 0,273 с⁻¹, 0,252 с⁻¹ і 0,234 с⁻¹.

Навпаки, швидкості центру мас шлюпок в момент відриву від рампи зі збільшенням початкової швидкості так само, як і зі збільшенням довжини зростають (рис. 8): для шлюпок довжиною 5 м, 10 м і 15 м - з 5,944 м/с до 11,352 м/с, з 8,387 м/с до 12,604 м/с і з 10,267 м/с до 13,773 м/с. Зі збільшенням початкової швидкості різниця швидкості центрів мас шлюпок різної довжини в момент відриву зменшується (відповідні криві сходяться).

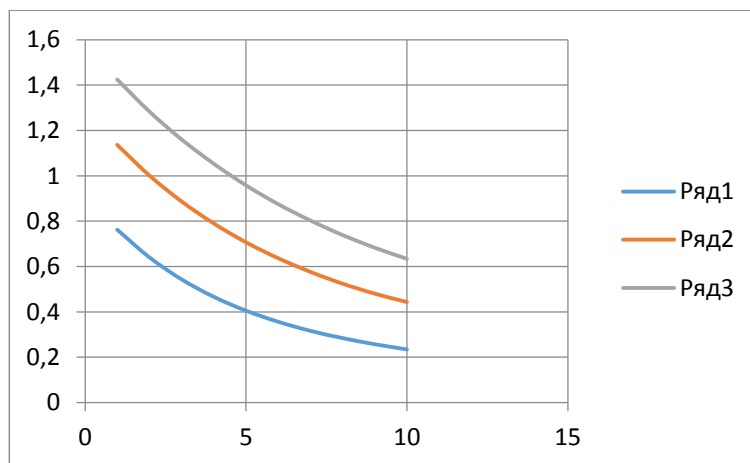


Рисунок 5 – Залежність часу скочування шлюпки (с) від початкової швидкості (м/с) при куті нахилу рампи 35° : Ряд1 – $L = 5$ м; Ряд2 – $L = 10$ м; Ряд3 – $L = 15$ м.

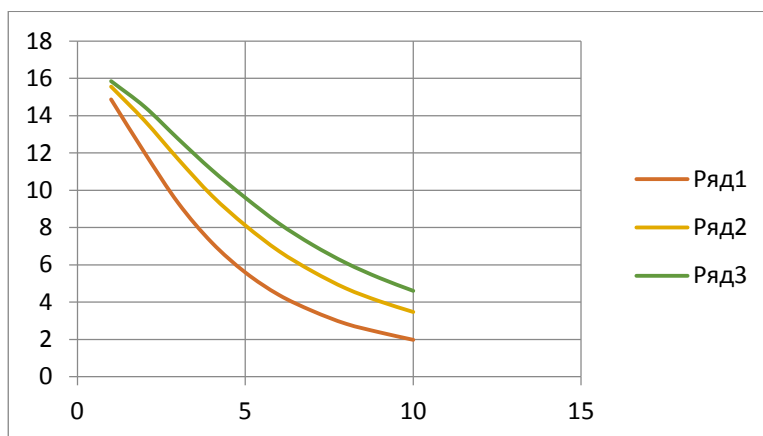


Рисунок 6 – Залежність кута тангажу (s^{-1}) від початкової швидкості (м/с) при скочуванні з похилої рампи при куті нахилу рампи 35° : Ряд1 – $L = 5$ м; Ряд2 – $L = 10$ м; Ряд3 – $L = 15$ м.

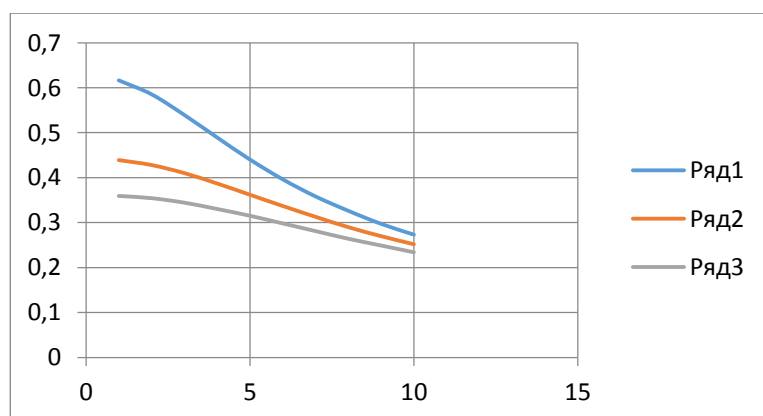


Рисунок 7 – Залежність кутової швидкості тангажу (s^{-1}) від початкової швидкості (м/с) при скочуванні з похилої рампи при куті нахилу рампи 35° : Ряд1 – $L = 5$ м, $V_0 = 6$ м/с; Ряд2 – $L = 10$ м, $V_0 = 8$ м/с; Ряд3 – $L = 15$ м, $V_0 = 10$ м/с.

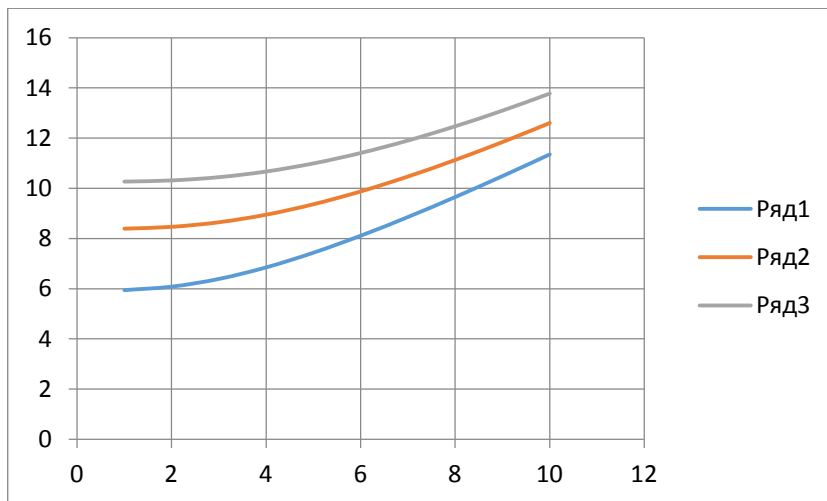


Рисунок 8 – Залежність швидкості центру мас шлюпки (м/с) в момент відриву від рампи від початкової швидкості (м/с) при куті нахилу рампи 35° : Ряд1 – $L = 5$ м, $V_0 = 6$ м/с; Ряд2 – $L = 10$ м, $V_0 = 8$ м/с; Ряд3 – $L = 15$ м, $V_0 = 10$ м/с.

На рис 9 і 10 представлені графіки змінювання кута тангажу та кутової швидкості тангажу для шлюпок довжиною 5, 10, 15 м під час їх скочування.

Як видно з рис 9 і 10 графіки залежності кута тангажу представлені вгнутими а графіки залежності кутової швидкості тангажу – опуклими кривими. При цьому зі збільшенням часу кривини графіків зменшуються, а самі графіки для шлюпок більшої довжини розташовуються нижче. Кути тангажу для шлюпок довжиною 5, 10, і 15 м в момент відриву від рампи при заданих початкових швидкостях при розгоні шлюпки по похилій рампі, складають $4,34^\circ$, $4,75^\circ$ і $4,62^\circ$, а кутові швидкості – $0,396$ с $^{-1}$, $0,291$ с $^{-1}$ і $0,262$ с $^{-1}$ відповідно.

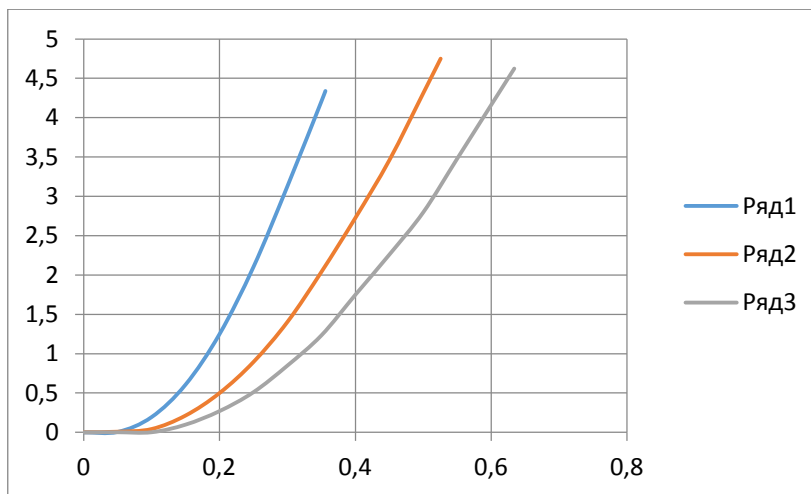


Рисунок 9 – Залежність кута тангажу (с $^{-1}$) від часу (с) при скочуванні з похилої рампи при куті нахилу рампи 35° : Ряд1 – $L = 5$ м, $V_0 = 6$ м/с; Ряд2 – $L = 10$ м, $V_0 = 8$ м/с; Ряд3 – $L = 15$ м, $V_0 = 10$ м/с.

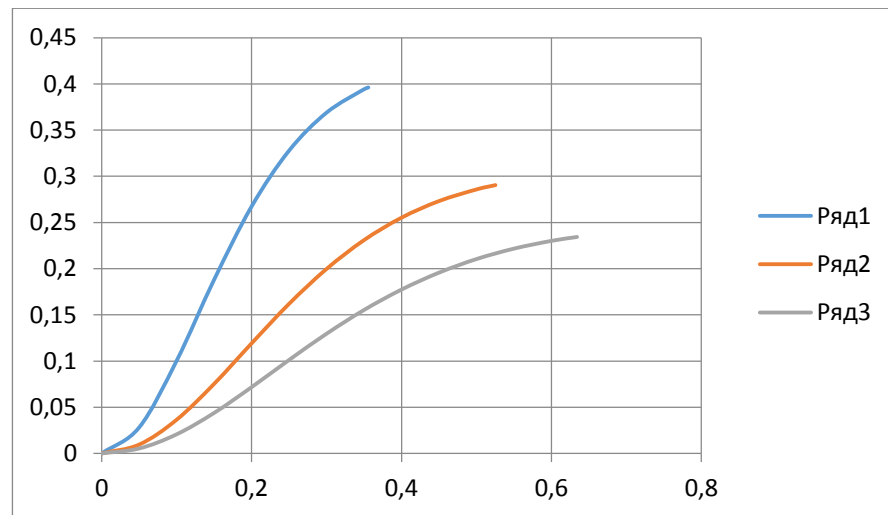


Рисунок 10 – Залежність кутової швидкості тангажу (с^{-1}) від часу (с) при скоочуванні з похилої рампи при куті нахилу рампи 35° : Ряд1 – $L = 5 \text{ м}$, $V_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; Ряд2 – $L = 10 \text{ м}$, $V_0 = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; Ряд3 – $L = 15 \text{ м}$, $V_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє за допомогою чисельних експериментів проводити раціональний вибір параметрів руху РШВП, що сходять з похилої рампи.

На основі отриманих результатів в подальших дослідженнях слід з'ясувати вплив кута нахилу рампи і розташування центру мас шлюпки на параметри її руху на початку вільного падіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Free-fall lifeboat. /www.wartsila.com/encyclopedia/term/free-fall-lifeboat
2. Нырющий катер. msd.com.ua > katera > nyryayushhij-kater
3. http://korabley.net/news/spasatel'naja_shljupka_i_sovremennye_spasatelnye_sredstva/2010-12-13-724
4. <http://seafarers.com.ua/manned-free-fall-lifeboat-world-record-drop-40-meters-up/4013/>
5. Александров, М. Н. Безопасность человека на море [Текст] / М. Н. Александров. – Л. : Судостроение, 1983. – 208 с.
6. Консолидированный текст конвенции СОЛАС-74. – СПб. : ЗАО ЦНИИМФ, 1999.
7. Бугаенко, Б. А. Особенности экстренного спуска с судна плавсредства с людьми [Текст] Б. А. Бугаенко, Нгуен Нгок Тан // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – № 1 (430). – С. 17–24.
8. Казарезов, А. Я. Сбрасываемые спасательные шлюпки [Текст] / А. Я. Казарезов // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 1998. – № 1 (349). – С. 76–80.
9. Коллегаев, М. А. Безопасность жизнедеятельности и выживание на море [Текст] : учебное пособие / М. А. Коллегаев, Б. Н. Иванов, Н. Г. Басанец. – О. : ОГМА, 2008. – 352 с.
10. Михрин, Л. М. Безопасность мореплавания [Текст] / Л. М. Михрин. – СПб. : АМКОВ, 2009. – 559 с.

11. 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.
12. Микитюк, В. Е. Расчет параметров движения шлюпки свободного падения при аварийном сбросе [Текст] / В. Е. Микитюк, Д. А. Миронов // Матер. конф. "Безопасность мореплавания и ее обеспечение при проектировании и постройке судов". – Николаев : НУК, 2007. – С. 99–100.
13. В.Е.Микитюк, Д.А.Миронов. Параметры движения шлюпки свободного падения перед приводнением / Матеріали І Міжнар. наук.-техн. конф. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» Миколаїв: - НУК, 2010. – С. 84-89.
14. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов и др. М.: Машиностроение, 1999. Т. 1-2. Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен. / Под общ.ред. К.С. Колесникова, А.И. Леонтьева. 600 с.
15. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. – М.: Физматгиз, 1962. – Т.2. - 639 с.

REFERENCES

1. Free-fall lifeboat. /www.wartsila.com/encyclopedia/term/free-fall-lifeboat
2. Nyryayushchiy kater (Diving boat). msd.com.ua › katera › nyryayushhiy-kater
3. http://korabley.net/news/spasatel'naja_shljupka_i_sovremennye_spasatel'nye_sredstva/2010-12-13-724
4. <http://seafarers.com.ua/manned-free-fall-lifeboat-world-record-drop-40-meters-up/4013/>
5. Aleksandrov, M. N. (1983) "Bezopasnost' cheloveka na more" [Human safety at sea] [Tekst] / M. N. Aleksandrov. – L. : Sudostroyeniye, 208 p.
6. "Konsolidirovannyi tekst konventsii SOLAS-74" (1999) [Consolidated text of SOLAS-74 Convention] – SPb. : ZAO TSNIIMF
7. Bugayenko, B. A. (2010) "Osobennosti ekstrennogo spuska s sudna plavсредства s lyud'mi" [Features of an emergency descent from a vessel of a craft with people] [Tekst] B. A. Bugayenko, Nguyen Ngok Tan // Zb. nauk. prats' NUK. – Mikolaiv : NUK, № 1, pp. 17–24/
8. Kazarezov, A. Ya. (1998) "Sbrasyvayemyye spasatel'nyye shlyupki" [Dumped lifeboats] [Tekst] / A. YA. Kazarezov // Zb. nauk. prats' UDMTU. – Mikolaiv : UDMTU, № 1, pp. 76–80/
9. Kolegayev, M. A. (2008) "Bezopasnost' zhiznedeystel'nosti i vyzhivaniye na more" [Life safety and survival at sea] [Tekst] : uchebnoye posobiye / M. A. Kolegayev, B. N. Ivanov, N. G. Basanets. – O. : OGMA, 352 p.
10. Mikhrin, L. M. (2009) "Bezopasnost' moreplavaniya" [Safety of navigation] [Tekst] / L. M. Mikhrin. – SPb. : AMKOS, 559 p.
11. 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, pp. 86–101/
12. Mikityuk, V. Ye. (2007) "Raschet parametrov dvizheniya shlyupki svobodnogo padeniya pri avariynom sbrose" [Calculation of the motion parameters of a free fall boat during an emergency discharge] [Tekst] / V. Ye. Mikityuk, D. A. Mironov // Mater. konf. "Bezopasnost' moreplavaniya i yeye obespecheniye pri proyektirovanii i postroyke sudov". – Nikolayev : NUK, pp. 99–100/
13. V.E. Mykytyuk, D.A. Myronov. (2010) "Parametry dvyzheniyya shlyupky svobodnoho padeniyya pered pryvodnenyem" [Parameters of free fall boat movement before

flooding] / Materialy I Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi» Mykolayiv: - NUK, pp. 84-89/

14. “Mashinostroyeniye. Entsiklopediya” (1999) [Mechanical engineering. Encyclopedia]/ Red. Sovet: K.V. Frolov i dr. M: Mashinostroyeniye, T. 1-2. “Teoreticheskaya mekhanika. Termodinamika. Teploodmen”. [Theoretical mechanics. Thermodynamics. Heat exchange] / Pod odshch.red. K.S. Kolesnikova, A.I. Leont'yeva, 600 p.

15. Berezin I.S., Zhidkov N.P. (1962) “Metody vychisleniy” [Calculation Methods]. – M.: Fizmatgiz, T.2, 639 p.

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

THE MOVEMENT OF THE FREEFALL LIFEBOAT WHEN DESCENDING FROM THE INCLINED RAMP

The article provides a brief overview of the history of the creation and development of freefall lifeboats (FFLB), designed for the urgent safe evacuation of people from sea vessels and offshore oil platforms in case of accidents in extreme weather conditions.

The problem of FFLB movement, which is modeled by a homogeneous rod, is considered when descending from the inclined ramp during the first phase of the fall with an increasing angle of inclination (tangage) – from the moment when the center of the masses of the boat is above the edge of the support (extreme roller of the ramp) until the moment of rise from the ramp of the end of the supporting surfaces of the loop. The differential equations of motion in polar coordinates are composed using the Lagrange equations of the second kind. The solver system of ordinary differential equations was obtained and the corresponding Cauchy problem was formulated, which is solved numerically using the Runge-Kutta method of the fourth order of accuracy.

On the basis of the proposed approach, numerical experiments were carried out to determine the roll-up time of the free-fall lifeboat, the speed of its center of masses, the angles of rotation and the angle of the tangage at the time of separation from the ramp at the value of the angle of inclination of the ramp and various values of the initial speed of the center of masses in the range from 1 to 10 m / s and the length of the hook in the range from 5 to 15 m.

According to the results of numerical experiments, an analysis of the effect of the initial speed and length of the FFLB on the parameters of its movement when descending from the inclined ramp was carried out. The estimated values of the time of the first phase of the fall, the angles of the tangage, the angular tangangle velocity and the module of the FFLB mass center velocity during the performed numerical experiments changed in the range of 1.424 - 0.234 s, 1.98 - 15.85°, 0.616 - 0.234 s⁻¹ and 5,944-13,773 m/s, respectively. At the same time, with the increase in the length of the boat, the time of the first phase of the fall increases and decreases with an increase in the initial speed. The angles of the tangage decrease with increasing speed, and as the length of the boat increases, while the angular speeds of the tangage with an increase in the initial speed, as well as with an increase in the length of the b, fall off.

According to the results of the work, it was concluded that the proposed approach and numerical experiments could be used to rationally select the parameters of FFLB movement and the directions of further research.

Keywords: free fall lifeboat, plane-parallel motion, rod, inclined ramp, Lagrange equation of the second kind, ordinary differential equations, Cauchy problem, numerical simulation, Runge-Kutta method.