

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 31 (70) № 2 2020

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 7 від 27.04.2020 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідectво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія KB № 22895-12795P від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2020

ЗМІСТ

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Вапнічна В.В., Виноградова О.П.

РОЗШИРЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ СИРОВИНИ ЩЕБЕНЕВОГО КАР'ЄРУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ.....1

МЕТАЛУРГІЯ

Нежурин В.И., Николенко А.В., Куваев В.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГАЗОДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ВАННЫ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ РПЗ-48(63) ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА.....9

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Зінченко Н.Ю., Попова І.В.

ВИВЧЕННЯ СОРБЦІЇ ПАРІВ ВОДИ ІНУЛІНОМ..... 17

Іванченко А.В., Хавікова К.С., Макаренченко Н.П., Кузьменко В.Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОГО ВИЛУЧЕННЯ ФЕНОЛІВ ТА РОДАНІДІВ З РІДКИХ ВІДХОДІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА..... 24

Ларичева Л.П., Гребанова Є.С., Ільченко С.А., Бабенко А.В.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ УМОВИ КИСЛОТНОЇ ПЕРЕРОБКИ НИЗЬКОЯКІСНИХ ФОСФОРИТІВ..... 29

Петріна Р.О., Загородня Д.С., Хом'як С.В., Новіков В.П.

ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ ЕКСТРАКТІВ КАЛУСНОЇ БІОМАСИ *DELFINIUM ELATUM* 34

Римар Т.Е.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПОВНЮВАЧІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ХОЛОДНОГО СПІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА ..39

Tkachuk K.K., Tverda O.Ya., Repin M.V.

EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION OF THE INSTALLATION FOR NATURAL RESERVOIR CLEANING..... 45

Фролова Л.А.

СПІВОСАДЖЕННЯ ФЕРУМ(II) ТА КОБАЛЬТ(II) ГІДРОКСИДІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ФЕРИТІВ..... 50

Cheltonov M.M., Kirichenko A.L., Ustimenko E.B.

EXTRACTION OF CYCLOTETRAMETHYLENETETRANITRAMINE FROM SOLID PROPELLANT UTILIZATION PRODUCTS 55

Шумило К.П., Белянська О.Р., Крюковська О.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ..... 62

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бабенко В.І., Велика А.О., Пещера Л.С.

РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУР КУПАЖОВАНИХ ОЛІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РІПАКОВИХ ОЛІЙ..... 68

Бажай-Жежерун С.А., Береза-Кіндзерська Л.В.

БІОЛОГІЧНЕ АКТИВУВАННЯ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ..... 73

Бахмач В.О.

РОЗРОБКА КРЕМУ ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСПЕКТИВНИХ ДОБАВОК..... 79

Бідюк Д.О., Серeda О.Г. НОВИЙ ВИД БІОРОЗКЛАДУВАНОЇ ТАРИ.....	85
Гайдай І.В., Матенчук Л.Ю., Токар А.Ю. ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕРЕНОВИХ ВІНОМАТЕРІАЛІВ ТА ВИН ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ.....	95
Helikh A.O., Dan Gao, Zhenhua Duan OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED ALKALINE EXTRACTION OF PUMPKIN SEED MEAL PROTEIN ISOLATE BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY.....	100
Дубініна А.А., Попова Т.М., Ленерт С.О., Гершун В.С. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПШОНА ІЗ ПРОСА РІЗНИХ СОРТІВ.....	105
Дубініна А.А., Селютіна Г.А., Шербакова Т.В., Хацкевич Ю.М., Селютін В.М. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПАСТИ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	111
Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М. РОЗРОБКА СКЛАДУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АНТИЦЕЛЮЛІТНОГО ЕМУЛЬСІЙНОГО КРЕМУ З КОФЕЇНОМ.....	117
Іщик Т.В., Кременець Т.В., Сидорук Ю.В., Устименко І.М., Михайленко В.М., Дмитренко М.С., Бережна Т.О. ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕКИ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ – БРАУНІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	122
Очеретна А.В., Фролова Н.Е. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКООЛЕЇНОВИХ СОРТІВ ОЛІЇ СОНЯШНИКА У ПРОДУКТАХ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЇ ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ	129
Паска М.З., Маслійчук О.Б. ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЛЮПИНОВОГО БОРОШНА ТА ДИВОСИЛУ В КОНТЕКСТІ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ.....	136
Скирда О.Є., Гавриш А.В., Хацкевич Ю.М., Віннікова В.О., Гапонцева О.В. ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ ЯКОСТІ М'ЯКИХ ТА РОЗСІЛЬНИХ СІРІВ.....	143
Таланюк В.В., Шадрін А.О., Юрженко М.В., Кораб М.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ЗРАЗКІВ З БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРІВ ТИПУ ПОЛГІДРОКСИБУТИРАТ/ПОЛІЛАКТИД (ПГБ/ПЛА).....	149
ТРАНСПОРТ	
Галь А.Ф., Гайдай Г.Ю., Грєшнов А.Ю. АНАЛІЗ БАГАТОЯКІРНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПЛАВУЧИХ ОБ'ЄКТІВ ОКЕАНОТЕХНІКИ.....	154
Кисельов В.Б., Доля О.Є. РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ.....	160
Кутковецька Т.О., Березовський А.П. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ З ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	164
Мельник О.М. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ТА ОБРОБКИ НЕГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ.....	168
Турпак С.М., Васильєва Л.О., Харченко Т.В., Веремєєнко Л.А., Гришко В.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ВИЗНАЧЕННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ РОЗМІРІВ РУХУ.....	175

Черноусенко О.Ю., Бутовський Л.С., Грановська О.О., Мороз О.С., Старченко О.С. СТАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ НА «БІДНОМУ» ЗРИВІ ПІД ЧАС МІКРОДИФУЗІЙНОГО СПАЛЮВАННЯ ГАЗУ ЗА СТАБІЛІЗАТОРОМ.....	182
---	-----

БУДІВНИЦТВО

Азізов Т.Н., Орлова О.М. ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ БЕРЕГІВ НОРМАЛЬНОЇ ТРІЩИНИ ПРИ КРУЧЕННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ.....	189
Зуєвська Н.В., Шайдецька Л.В., Губашова В.Є. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУМЕНЕВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ В ЗАТОРФОВАНОМУ СУТЛИНКУ.....	198
Кравченко С.А., Столевич І.А., Костюк А.И., Столевич О.И. ОПТИМІЗАЦІЯ СВОЙСТВ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ НА КАРБОНАТНОМ ПЕСКЕ.....	204
Чичулін В.П., Чичуліна К.В. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РАМ ЗА НАЙБІЛЬШ ЙМОВІРНИМ МЕХАНІЗМОМ РУЙНУВАННЯ.....	211

ГЕОДЕЗІЯ

Wen Mingming, Mamonov K.A., Frolov V.O. LAND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE REGION: ANALYSIS AND PRACTICE OF THE USE OF THE TERRITORIES OF THE COASTAL CITIES OF CHINA ¹	218
Дорожко Є.В. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАСКРІЗНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	225
Поморцева О.Є. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС.....	230

ЕЛЕКТРОНІКА

Макаренко В.В., Лукашев О.Ю. ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА РІВЕНЬ СТВОРЮВАНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД.....	235
Макаренко В.В., Савченко Ю.Г. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНОЇ НАДЛИШКОВОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АНАЛОГОВОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ.....	244
Фурс Т.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ І ОБ'ЄМНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ДЕТЕКТОРНИХ РВІ ₂ -СТРУКТУР.....	252
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	257

ТРАНСПОРТ

УДК 629.563.21

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/26>

Галь А.Ф.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Гайдай Г.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Грешнов А.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

АНАЛІЗ БАГАТОЯКІРНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ПЛАВУЧИХ ОБ'ЄКТІВ ОКЕАНОТЕХНІКИ

Отримано математичний вираз, що дозволяє проводити оцінку впливу маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат», на основі якого було проведено чисельний аналіз якірних зв'язків плавучих бурових платформ різного типу. Показано, що вплив маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат» малий і лежить у межах 1–2%, а в багатьох випадках і значно нижче 1%, водночас вплив приєднаних мас води якірної лінії також лежить у цих межах. Доведено, що зі збільшенням попереднього натягу якірного каната вплив маси якірної лінії зменшується; зменшення робочої глибини й довжини канату також приводить до зменшення впливу маси якірної лінії. Водночас маса сталевих тросів має менший вплив на кінетичну енергію системи в порівнянні з якірними ланцюгами. На підставі проведених розрахунків було виведено статистичну формулу для оцінювального розрахунку приєднаних мас води якірних ліній багатоякірних систем у залежності від їхніх технічних характеристик (погонної ваги якірного зв'язку, його діаметру й довжини). Фізика утримання плавучих об'єктів за допомогою багатоякірних систем досить складна й залежить від конструкції самого плавучого об'єкта, глибини моря в районі його розташування, а також погодних умов, які мають свої особливості в залежності від географії, рельєфу морського дна й інших океанографічних умов. Представлено конструктивні рішення різного роду проблем, пов'язаних з експлуатацією якірних ліній у складі системи «плавучий об'єкт – якірний канат», які вирішуються шляхом зміни площі ланок якірних ланцюгів, використання дротів і ламінацій потоку, що може, на думку авторів, значно зменшити кількість аварій на об'єктах із пасивними системами позиціонування. Формалізовано концептуальні положення регулювання силових потоків у гнучких якірних зв'язках системи утримання плавучого об'єкта внаслідок зміни приєднаної маси води в якірних лініях шляхом застосування додаткових елементів ланок якірних ланцюгів, що мають спеціальну конструкцію (додаткові елементи у вигляді плоских пелюсток, дротів, ламінацій).

Ключові слова: якірна лінія, система позиціонування, кінетична енергія, океанотехніка, приєднана маса.

Постановка проблеми. Плавучі об'єкти океанотехніки експлуатуються по всьому світу й в абсолютній більшості сферах діяльності. Більшість таких об'єктів мають пасивні багатоякірні системи, які виконують роль утримання над місцем експлуатації таких складних і коштовних плавучих споруд, як бурові платформи, рятувальні, бурові й науково-дослідні судна тощо. Водночас працюють такі системи на значних водних глибинах. Тому для розв'язання складної технічної задачі позиціонування плавучих засобів використо-

вують спеціальні якорі з підвищеною силою утримання та гнучкі зв'язки (ланцюги, канати й складені лінії) довжиною до 1 500 м і вище, кількість яких може сягати понад шістнадцять [2].

Фізика (кінематика) утримання плавучих об'єктів за допомогою багатоякірних систем досить складна й залежить від конструкції самого плавучого об'єкта, глибини моря в районі його розташування, а також погодних умов, які мають свої особливості в залежності від географії, рельєфу морського дна й інших океанографічних

умов. Тому дослідження впливу різних факторів, що діють на систему «плавучий об'єкт – якірний канат» досить актуальне на сьогодні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Натепер пасивним системам позиціонування присвячено багато робіт, серед яких можна виділити праці таких науковців, як П.П. Кульмач [4], а також Г.В. Симаков, К.Н. Шхинець і В.А. Сметлов [8]. Досить широкий аналіз сучасних систем утримання та їхніх методик розрахунку наведено в роботі Б.А. Бугаєнка, А.Ф. Галя та А.Ю. Андрейчикової [2].

Одним із перших досліджень у вітчизняній науці, яке присвячено теоретичним основам розподілу й управління силовими потоками в різних механізмах, стала монографія професора К.В. Фролова [10], де вперше було вивчено й формалізовано принципи й технології передачі механічної енергії в різних складних конструкціях механізмів. У книзі проаналізовано й узагальнено багатовіковий досвід робіт з інженерної логістики в Інституті проблем машинознавства АН СРСР. Однак оскільки ця сфера постійно розвивається, потрібні нові сучасні методи розрахунків і нові конструктивні розв'язання проблем експлуатації багатоякірних систем.

Постановка завдання. Метою статті є одержання математичного виразу для чисельної оцінки впливу маси якірної лінії з урахуванням приєднаних мас води на кінетичну енергію пасивної системи позиціонування, а також вибір конструктивних рішень щодо покращення роботи системи утримання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Динаміка роботи багатоякірної системи утримання залежить від величини маси якірних ліній, що входять до її складу, а також їхніх приєднаних мас води. Тому важливим визначається дослідження впливу маси якірної лінії на коливання системи «плавучий об'єкт – якірний канат». Для цього скористаємося виразом для кінетичної енергії матеріальної системи [1]. На рис. 1 показано таку систему, де V_0 – максимальна швидкість руху точки якірної лінії, м/с.

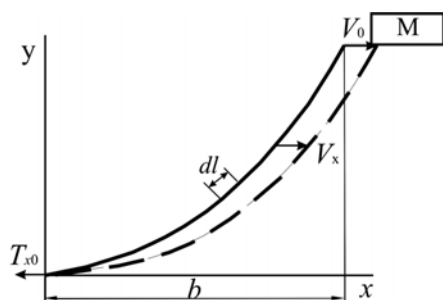


Рис. 1. Схема руху точок якірного каната

Оскільки система, що розглядається, складається з плавучого об'єкта і якірної лінії, то її кінетична енергія дорівнює:

$$T_{\Sigma} = T_{\kappa 1} + T_{\kappa 2}, \quad (1)$$

де $T_{\kappa 1}$ – кінетична енергія плавучого об'єкта, Дж; $T_{\kappa 2}$ – кінетична енергія якірної лінії, Дж.

Вираз для кінетичної енергії плавучого об'єкта запишеться так:

$$T_{\kappa 1} = \frac{MV_0^2}{2}, \quad (2)$$

а вираз для кінетичної енергії якірної лінії наступний:

$$T_{\kappa 2} = \int_0^l \frac{m_u V_x^2}{2} dl, \quad (3)$$

де M – маса плавучого об'єкта, кг; l – повна довжина якірної лінії, м; m_u – маса одиниці довжини якірної лінії, кг/м; dl – одиничний елемент лінії, м; V_x – швидкість переміщення одиничної ділянки якірної лінії, м/с.

$$V_x = \frac{V_0}{b} x, \quad dl = \frac{dx}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

Таким чином, в результаті отримали:

$$T_{\kappa 2} = \int_0^b \frac{m_u}{2} \frac{V_0^2}{b^2} x^2 \frac{dx}{\cos \alpha} = \frac{m_u}{2} \frac{V_0^2}{b^2} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \alpha} dx, \quad (5)$$

Вираз (5) додатковий, тобто на стільки необхідно збільшити масу плавучого об'єкта, щоб отримати масу системи «плавучий об'єкт – якірний канат». Інакше кажучи:

$$T_{\Sigma} = T_{\kappa 1} (1 + \text{otn}),$$

де otn – відношення кінетичної енергії якірного каната до кінетичної енергії плавучого об'єкта, яке знайдеться з виразу:

$$\text{otn} = \frac{\frac{m_u}{2} \frac{V_0^2}{b^2} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \alpha} dx}{\frac{MV_0^2}{2}},$$

або

$$\text{otn} = \frac{m_u}{b^2 M} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \alpha} dx, \quad (6)$$

З роботи Б.А. Бугаєнка, А.Ф. Галя та А.Ю. Андрейчикової [2] відомо, що:

$$\alpha = \arctg \left(\sinh \left(\frac{qx}{T_{x0}} \right) \right).$$

В результаті одержуємо ($m_q = q(x)l / g$, $q(x)$ – погонна вага каната, Н/м), що:

$$T_{\kappa 2} = \frac{q(x)l}{2g} \frac{V_0^2}{b^2} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \left(\arctg \left(\sinh \left(\frac{q(x)x}{T_{x0}} \right) \right) \right)} dx, \quad (7)$$

Пояснимо вираз (7). Очевидно, що в q повинна входити не тільки погонна маса канату, але й приєднана маса води. Приєднана маса води якірного ланцюга й тросу істотно змінюється в залежності від напрямку руху елементів якірної лінії (наприклад, для ланцюга це питання досліджено у роботі В.І. Владинця [3]). З цього маємо, що при підставленні m_q в (3) залежність $T_{\kappa 2}$ буде відрізнятися від (5), в якому q прийнято постійним для всіх точок якірної лінії. Однак враховуючи оцінювальний характер розрахунку, приймемо $q(x) = \text{const}$, що, очевидно, дасть похибку в безпечний бік, а $M = m_o + \lambda_1$:

$$\text{otn} = \frac{\left(\frac{ql}{g} + \lambda_2 \right)}{b^2(m_o + \lambda_1)} \int_0^b \frac{x^2}{\cos \left(\arctg \left(\sinh \left(\frac{qx}{T_{x0}} \right) \right) \right)} dx, \quad (8)$$

де m_o – маса плавучого об'єкта, кг; λ_1 – приєднана маса плавучого об'єкта, кг; λ_2 – приєднана маса всього каната, кг.

Таким чином, у результаті проведених математичних перетворень отримано вираз для оцінки впливу маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат».

Далі проведемо чисельний аналіз. Як установку для дослідження візьмемо ряд плавучих бурових установок із приєднаною масою в горизонтальному напрямі ділянки якірного ланцюга довжиною 1 м (розрахунок по роботі В.І. Владинця [3]) і приєднаною масою в горизонтальному напрямі плавучого об'єкта (розрахунок по Довіднику з теорії корабля [9]), розрахованими в табл. 1.

Після проведеного розрахунку за формулами (1)–(8) отримали такі графіки залежностей (рис. 2).

Таким чином, як видно з рис. 2, зі збільшенням попереднього натягу якірного каната вплив маси якірної лінії зменшується; зменшення робочої глибини й довжини канату також приводить до зменшення впливу маси якірної лінії. Водночас маса сталевих тросів має менший вплив на кінетичну енергію системи в порівнянні з якірними ланцюгами.

Наведена вище табл. 1 дозволила одержати статистичну залежність приєднаних мас води якірної лінії від діаметра лінії, погонної ваги лінії та її довжини (рис. 3):

$$y(d,s,q)=88.9\lambda_2^{0.568}.$$

Таблиця 1

Вплив маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат»

Назва НПБУ	Кількість зв'язків, n	Діаметр d , мм	Маса 1 м якірної лінії q , кг/м	Довжина 1 каната s , м	Водогоннажність m , кг	Маса плавучого об'єкта, яка приходить на 1 лінію m/n , кг	Приєднана маса НПБУ, яка приходить на 1 лінію λ_1/n , кг	Маса 1 каната q , кг	Приєднана маса каната λ_2 , кг	Otn, %
Троси										
DSS 20 (катамаран)	8	76,2	21	3 255	30 320 000	3 790 000	6 100 000	67 000	1 5000	0,2
SSDT 3 600 (катамаран)	8	76,2	21	5 000	17 516 000	2 190 000	4 500 000	102 000	2 3000	0,5
Penta 81 (пентагон)	10	69,8	17	1 698	16 050 000	1 610 000	7 800 000	29 000	6 500	0,1
Penta 84 (пентагон)	10	69,8	17	1 710	17 600 000	1 760 000	7 800 000	2 9000	6 500	0,1
Penta 83 (пентагон)	10	69,8	17	1 710	17 600 000	1 760 000	7 800 000	29 000	6 500	0,1
Ланцюги										
Шельф-1 (катамаран)	8	76	124	1 000	19 770 000	2 471 000	5 800 000	124 000	14 000	0,5
Aker H-3 (катамаран)	8	76,2	124	915	19 950 000	2 494 000	5 700 000	113 000	12 000	0,4
Ocean Prospector (тетрамаран)	8	69,8	104	1 006	19 520 000	2 440 000	5 900 000	105 000	11 000	0,4

У цілому аналіз результатів розрахунків показав, що вплив маси якірної лінії на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якірний канат» малий та лежить у межах 1–2%, а в багатьох випадках і значно нижче 1%, водночас вплив приєднаних мас води якірної лінії також лежить у цих межах. Таким чином, з урахуванням особливостей експлуатації якірних ліній стає можливим регулювання та управління силовими потоками, що виникають у конструкції багатоякірної системи шляхом зміни площі ланок якірних ланцюгів, використання дроселів і ламінаторів потоку, що може, на думку авторів, зменшити кількість аварій на об'єктах із пасивними системами позиціонування. Далі пропонуються наступні конструктивні розв'язання проблем експлуатації такого роду систем на прикладі якірного ланцюга.

Першим конструктивним рішенням щодо вдосконалення якірного ланцюга є виконання його елементів у вигляді пелюсток на зовнішній поверхні напівланок (рис. 4) [5].

При коливаннях у воді ланка якірного ланцюга, що містить пруток (стрижень) 1 овальної форми й складається з двох U-подібних напівланок 2, 3, а також контрфорса 4, рухається у воді, яка перешкоджає її переміщенням, водночас елементи у вигляді пелюсток 6 на зовнішній поверхні 5 напівланок 2, 3 збільшують приєднані маси води й підвищують опір руху якірного ланцюга у воді.

Ефективність використання ланок з елементами у вигляді пелюсток дозволяє значно знизити можливість виникнення ривків в якірних ланцюгах під час експлуатації в складних метеорологічних

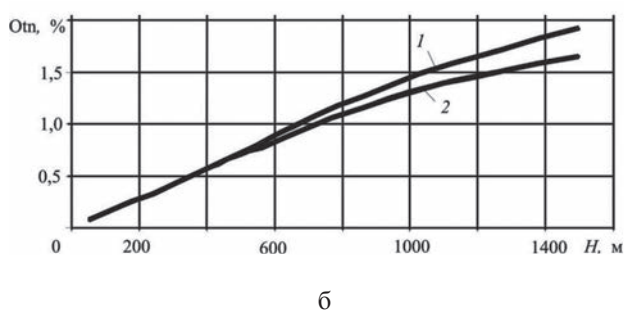
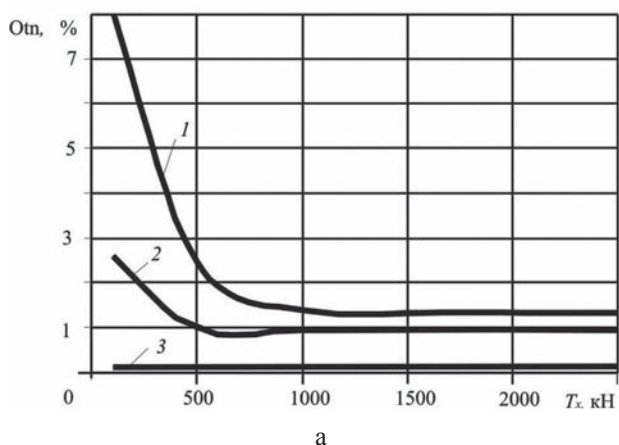


Рис. 2. Графіки залежностей відношення кінетичної енергії якірного каната до кінетичної енергії плавучого об'єкта:

а – від попереднього натягу при різних робочій глибині:
1 – $H = 1500$ м; 2 – $H = 1000$ м; 3 – $H = 500$ м;

б – від робочої глибини плавучого об'єкта при різному попередньому натягу:

1 – $T_{x0} = 500$ кН; 2 – $T_{x0} = 2000$ кН

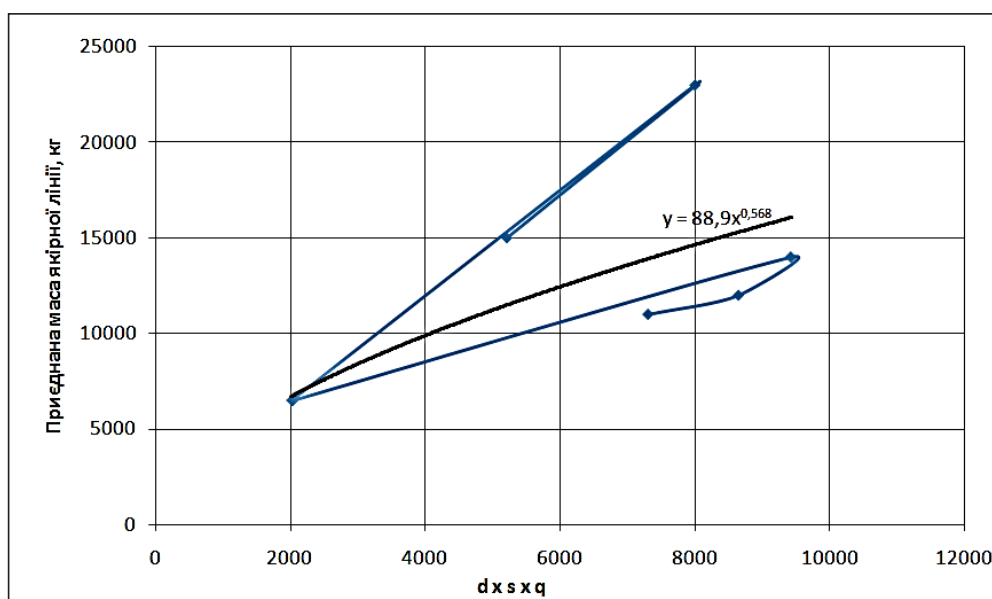


Рис. 3. Статистична формула для розрахунку приєднаних мас води якірних ліній у залежності від їхніх технічних характеристик

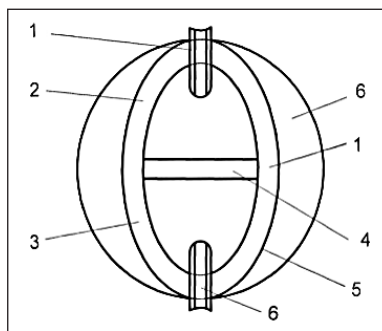


Рис. 4. Ланка якірного ланцюга з елементами у вигляді пелюсток

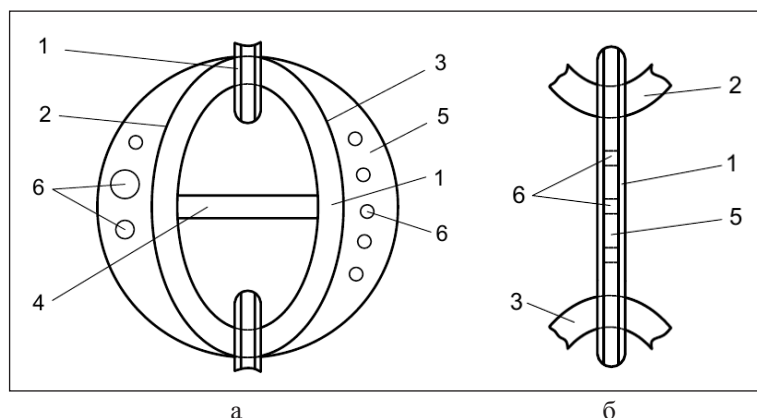


Рис. 5. Удосконалена ланка якірного ланцюга:
а – фронтальний вигляд; б – вигляд збоку

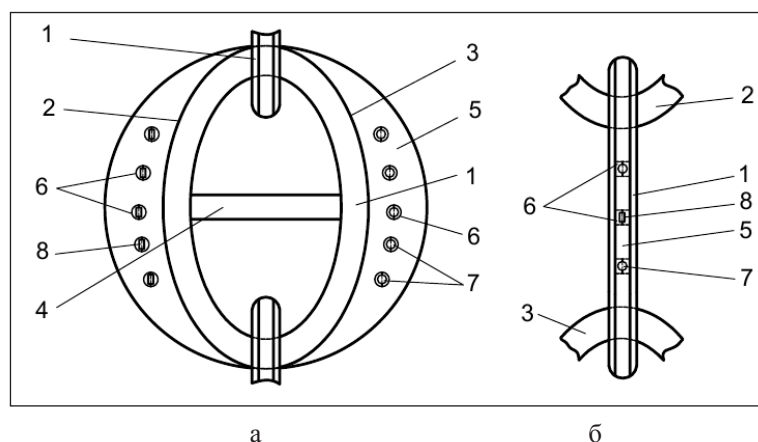


Рис. 6. Ланка якірного ланцюга з ламінаторами:
а – фронтальний вигляд; б – вигляд збоку

умовах шляхом збільшення величини приєднаних мас води й тим самим підвищити опір переміщенням якірних ланцюгів і плавучої споруди в цілому.

Наступне конструктивне рішення [6] є удосконаленням попереднього, а саме: в пелюстках виконано крізні отвори, що перетинають їхні фронтальні поверхні, водночас крізні отвори мають різні діаметри й виконані асиметрично на лівому й правому пелюстках (рис. 5). Працює це наступним чином.

При коливаннях у воді ланка якірного ланцюга, що містить пруток (стрижень) 1 овальної форми й складається з двох U-подібних напівланок 2, 3, (а також контрфорса 4), на зовнішній поверхні яких виконано елементи у вигляді пелюстків 5, рухається у воді, водночас крізні отвори 6 виконують функцію дроселів шляхом того, що вода проходить крізь ті отвори, й тим самим виконується демпфування (зменшення) переміщень ланок під впливом підводних течій. Різниця у величині діаметрів крізних отворів 6 враховує різницю в силах, що виникають у результаті дії течій на об'єкт експлуатації. Водночас асиметричність крізних отворів 6 на лівому й правому пелюстках

приводить до виникнення скручувальних моментів і зміни положення якірного ланцюга з метою, щоб він зайняв раціональне положення у воді під впливом підводної течії. Ефективність використання таких ланок дозволяє значно знизити ймовірність виникнення ривків в якірних ланцюгах під час експлуатації шляхом гасіння енергії води й тим самим підвищення опору переміщенням якірних ланцюгів.

Третім конструктивним рішенням стало використання спеціальних ламінаторів потоку [7], які встановлено в отворах пелюстків якірного ланцюга (рис. 6).

Крізні отвори 6 виконують функцію дроселів шляхом того, що вода проходить крізь ті отвори, й тим самим виконується демпфування (зменшення) переміщень ланок під впливом підводних течій. Однак при проходженні рідини крізь отвори 6 може виникати явище турбулентності, яке викликає зрив вихрів, тому сфери 7 і циліндри 8, які розміщено в крізних отворах 6, виконують роль ламінаторів потоку шляхом їхнього обертання навколо власній вісі. Ефективність використання таких ланок дозволяє практично

повністю виключити можливість ривків в якорних ланцюгах під час експлуатації в складних метеорологічних умовах шляхом гасіння енергії води й ламінування потоку рідини.

Висновки. У результаті проведених математичних перетворень отримано вираз, що дозволяє проводити оцінку впливу маси якорної ланки на кінетичну енергію системи «плавучий об'єкт – якорний канат», на основі якого було проведено чисельний аналіз якорних зв'язків.

На підставі проведених розрахунків було виведено статистичну формулу для розрахунку при-

єднаних мас води якорних ліній у залежності від їхніх технічних характеристик.

Представлено конструктивні розв'язання проблем, пов'язаних з експлуатацією якорних ліній у складі системи «плавучий об'єкт – якорний канат». Формалізовано концептуальні положення регулювання силових потоків у гнучких якорних зв'язках системи утримання плаваючого об'єкта внаслідок зміни приєднаної маси води в якорних лініях шляхом застосування додаткових елементів ланок якорних ланцюгів, що мають спеціальну конструкцію (додаткові елементи у вигляді плоских пелюсток, дроселів, ламінаторів).

Список літератури:

1. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах : учебное пособие : в 3 т. / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. Москва : Главн. ред. физ.-мат. лит. изд. «Наука», 1973. Т. 2. 468 с.
2. Бугаенко Б.А., Галь А.Ф., Андрейчикова А.Ю. Многоякорные системы удержания плавучих сооружений океанотехники. Николаев : НУК, 2011. 340 с.
3. Влади́нец Г.И. Экспериментальное определение динамических характеристик цепного якорного каната. *Труды НКИ : Проектирование, конструкция и устройство судов*. Николаев : НКИ, 1979. Вып. 154. С. 85–88.
4. Кульмач П.П. Якорные системы удержания плавучих объектов (Вопросы статики и динамики плавучих сооружений на якорях). Ленинград : Судостроение, 1980. 336 с.
5. Ланка якорного ланцюга : пат. 108272 Україна : МПІК (2006.01), В63В 21/04, В63В 21/20, № u201600411 ; заявл. 18.01.16 ; опубл. 11.07.16, Бюл. № 13. 3 с.
6. Ланка якорного ланцюга : пат. 129262 Україна : МПІК (2006.01), В63В 21/04, В63В 21/20, № u201504512 ; заявл. 24.04.18 ; опубл. 25.10.18, Бюл. № 20. 3 с.
7. Ланка якорного ланцюга : пат. 139074 Україна : МПІК (2006.01), В63В 21/02, В63В 21/20, № u201904000 ; заявл. 16.04.19 ; опубл. 26.12.19, Бюл. № 10. 3 с.
8. Симаков Г.В., Шхинек К.Н., Смелов В.А. и др. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе : учебник. Ленинград : Судостроение, 1989. 328 с.
9. Справочник по теории корабля. Статика судов. Качка судов : в 3-х т. / под ред. Я.И. Войткунского. Ленинград : Судостроение, 1985. Т. 2. 440 с.
10. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. Москва : Машиностроение, 1984. 224 с.

Hal A.F., Haidai H.Yu., Hrieshnov A.Yu. ANALYSIS OF THE MARINE TECHNOLOGY FLOATING OBJECTS MULTI-ANCHOR POSITIONING SYSTEM

The mathematical expression, allowing you to conduct an assessment of the anchor line mass to the kinetic energy of the “floating object – anchor rope” system, has been obtained, and on the basis of such a numerical analysis of the anchor ropes of the floating drilling rigs different types was carried out. It is shown that the influence of anchor line mass on the kinetic energy of the “floating object – anchor rope” system is small and lies at the range of 1–2%, and at the most cases it is significantly lower than 1%, while at the same time the effect of attached water masses of anchor ropes is at these limits. It has been said that for the increasing tightness of the anchor rope the flow of its mass will be decreasing; and decreasing the working depth and length of anchor rope also lead to the decreasing of the anchor line mass. In this case, the mass of steel cables has a smaller effect on the kinetic energy of the system compared to the anchor chains. On the basis of the calculations, a statistical formula for the estimation of the connected water masses of the multi-anchor systems anchor lines, depending on their technical characteristics (linear weight of the anchor link, its diameter and length) was derived. The physics of floating objects containment by means of multi-anchor systems is rather complicated and depends on the floating object itself construction, the sea depth in the area of its location, as well as the weather conditions, which have their peculiarities depending on geography, seafloor relief and other oceanographic conditions. Design solutions to various problems associated with the anchor lines operation in the system “floating object – anchor rope” was presented, which are solved by changing the anchor chains links area, the use of throttles and flow laminators, which may, according to the authors, significantly reduce the accidents number at facilities with passive positioning systems. Conceptual positions of power flow regulation in flexible anchor links of the floating objects retention system are formalized by changing the attached water masses in anchor lines by applying additional elements of anchor chains links having a special design (additional elements in the form of flat petals, throttles, laminators).

Key words: anchor line, positioning system, kinetic energy, marine technology, attached mass.