

УКРАЇНСЬКИМ ДЕРЖАВНИМ  
МОРСЬКИМ ТЕХНІЧНИМ УНІВЕРСИТЕТ

УДК 629.5.028:678.4

На правах рукопису

КОРОБАНОВ ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛАСТИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
СУДНОВИХ ПРИСТРОЇВ

Спеціальність 05.08.03 – Проектування  
та конструкція суден

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
доктора технічних наук

М И К О Л А Ї В - 1996 г.



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор ГРІНАВЦЕВ В.М.
- доктор технічних наук, професор КОЗЛЯКОВ В.В.
- доктор технічних наук, професор НЕКРАСОВ В.О.

Провідна організація - ДПСКУ

Захист дисертації відбудеться 23 червня 1997 р. об 11-00 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 30.02.01 Українського державного морського технічного університету за адресою: 327025, г.Миколаїв, пр.Героїв Сталінграду, 9, ауд.360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного морського технічного університета.

Автореферат розповсюджено 22 травня 1997 р.

Відгук на автореферат у двох примірниках з підписами, завіреними печаткою установи, просимо направляти на ім'я вченого секретаря вченої ради.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ РАДИ

доктор технічних наук,  
професор

В.Ф.КВАСНИЦЬКИЙ

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**А к т у а л ь н і с т ь .** Еластичні конструкції суднового призначення входять широким класом майже до всіх суднових пристроїв. Еластичні конструкції забезпечують безаварійну експлуатацію суден та їх пристроїв, приймання спускопідіймальними засобами об'єктів океанотехніки, їх буксирування, виконують тяглові операції, замінюючи ручну працю на промислових судах та під час швартовних робіт.

Еластичні конструкції суднових пристроїв виконуються із резин, резиноподібних матеріалів майже неприбагливих до морських вимог експлуатації, маючи тільки їм характерні специфічні риси. Можливість до великих формозмін та деформацій накладають специфічні вимоги до проектування та розрахунку еластичних конструкцій нетрадиційними методами.

Зовнішні навантаження на еластичні конструкції майже завжди супроводжуються випадковими проявленнями експлуатаційних умов, визваних нерегулярністю хвилювання, нехтуванням безпечними навиками судноводіння, нерівномірністю кригових полів та інше.

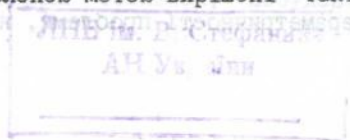
Еластичні конструкції мають властивості матеріалів, які значно відрізняються від традиційних корпусних, і тому особливе місце займає питання компанування еластичних конструкцій з судновими.

Відсутність методики проектування еластичних конструкцій, які експлуатуються в суднових пристроях, викладених з єдиних позицій показує на актуальність теми.

**О б'є к т д о с л і д ж е н н я** - еластичні конструкції, які входять до суднових пристроїв.

**М е т а р о б о т и .** Створення наукових методів проектування еластичних конструкцій суднового призначення на основі урахування великих деформацій та формозміненнь незтискуємих еластомірних матеріалів, використовуваних у складі різноманітних суднових пристроїв.

У відповідності з поставленою метою вирішені такі основні задачі:



- створення аналітичних методів пошуку зовнішньої дії на еластичні конструкції при різних умовах експлуатації,
- аналіз та розробка методів розрахунку еластичних конструкцій з урахуванням їх різноманітних форм та засобів навантаження, при великих деформаціях та формозміненнях,
- дослідження методів обліку реальних умов кріплення еластичних конструкцій до судових, розподілу зон контакту та контактного тиску, а також точності виробництва,
- розробка загальної концепції проектування еластичних конструкцій судового призначення,
- розробка практичних рекомендацій по проектуванню еластичних конструкцій судових пристроїв.

При рішенні поставлених задач початкові дані та їх передумови базувалися на результатах розрахункових процедур еластичних оболонок, конструкцій із нестискуємих матеріалів з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності.

**Методи досліджень.** Теоретичною та методологічною основою досліджень були розробки в області великих деформацій та формозмінень механіки нестискуємих матеріалів.

Аналітичні результати ґрунтуються на використанні вірогідних методів розрахунку зовнішніх навантажень еластичних конструкцій.

В розрахункових процедурах використані варіаційні методи, одним з яких є метод кінцевих елементів.

Еластомірні матеріали перевірялися твердоміром ТМ-2 при визначенні їх фізичних констант.

Дослідження експериментальних пружних характеристик еластичних конструкцій проводилися на різноманітних гідравлічних пресах з самописними пристроями.

Дослідження зон контакту циліндричної оболонки з жорсткою площиною проводилося на спеціально збудованому пристрої з прозорою плитою.

**Наукова новина.** Вперше розроблено моделювання процесу взаємодії судових об'єктів з вірогідних позицій, і багатопараметричності проблеми, яка припускає в якості випадкових

параметрів поступові та кутові швидкості, амплітуди та час дії імпульсу, прискорення та енергомісткість.

В більш загальних припущеннях розроблена математична модель системи криголам-кранець-транспортне судно при проходженні торо-систого кригового поля, побудованої на основі диференціальних рівнянь руху, яка дозволила довести, що деформації зсуву та тиску кормових кранців криголамів мають однаковий порядок.

Вперше розроблена математична модель взаємодії приймальних пристроїв та багатомодульних буксирних систем, дозволяюча ураховувати надійність засобів амортизації з обмеженням по прискоренням та енергомісткості.

Розроблено методи розрахунку еластичних пустотілих конструкцій, які побудовані на стрижневій теорії деформування та енергетичних залежностях теорії пружності, адаптовано також метод кінцевих елементів, відповідно до еластичних конструкцій суднового призначення, доповнений можливостями машинної графіки.

Розроблено метод розрахунку експлуатаційних показників еластичних конструкцій з урахуванням зони їх контакту, а також деформацій у просторі.

На захист виносяться:

1. Розроблені наукові положення, які забезпечують проектування еластичних конструкцій, входячих до складу різноманітних суднових пристроїв.

2. Процес моделювання взаємодії суднових об'єктів з еластичними конструкціями, побудований з вірогідних позицій та багатопараметричності проблеми.

3. Результати аналізу диференціальних рівнянь руху системи криголам-кранець-транспортне судно, які дозволили встановити, що деформації тиску та зсуву кормових кранців криголамів мають бути урахованими при їх проектуванні.

4. Математична модель взаємодії приймального обладнання спускопідіймальних пристроїв багатомодульних буксирних систем, дозволяюча оцінювати надійність пристроїв.

5. Методи розрахунку еластичних оболонок, побудованих на

стрижньовій теорії, на загальних залежностях теорії пружності, а також адаптований метод кінцевих елементів відносно до еластичних конструкцій суднових пристроїв.

6. Методи та конструкції, дозволяючи обґрунтувати можливість використання електричного зварювання в технологічних процесах кріплення еластичних конструкцій.

7. Результати досліджень експлуатаційних показників еластичних конструкцій, проведених з урахуванням можливих зон контакту та розрахунку їх деформацій у просторі.

Практичні результати та їх реалізація базуються на побудові комплексної системи проектування еластичних конструкцій суднового призначення з єдиних позицій напружено-деформативного стану, вірогідного навантаження, раціонального розташування та кріплення на суднових поверхнях.

Побудовано алгоритми, блоки програм для проектування еластичних конструкцій суднових пристроїв стосовно до різних етапів.

Розроблено типовий ряд еластичних деформаційних елементів з гантелевидною внутрішньою мережею, конструкція якого захищена авторським свідомством при розробці керівного документа (РД 5.3026-85 "Брусья привальные").

Розроблено нові еластичні конструкції та приладдя до них, які захищені авторськими свідомствами.

Результати розробок реалізовані в таких госпдоговірних та держбюджетних темах З.І.Пр.669/83-85к, З.І.Пр.768, 2.І.Пр.173, 2.І.Пр.518, 2.І.Пр.934, 2.І.Пр.1163, (науковий керівник).

Результати наукових розробок запроваджено в суднопроектувальних закладах, що підтвержено актами.

Теоретичні основи проектування еластичних конструкцій суднових пристроїв запроваджено в курсовому та дипломному проектуванні студентів кафедри морських технологій.

Апробація роботи: Основний стан та результати роботи доповідалися на 13 науково-технічних конференціях та семінарах в період з 1976р. по 1996р. Повну апробацію робота пройшла на НТР кораблебудування УДМТУ.

Результати проведених досліджень використовувались при публікації двох монографій, та при виданні "Морського енциклопедического словаря", том I,2. Основні свідомості про дисертаційну роботу надруковано 26 наукових статтях, конструктивні рішення захищені 14 авторськими свідоцтвами. Результати використовувались при друкуванні навчальних посібників "Специальные устройства судов с горизонтальной обработкой", частина I "Аппарели", частина 2 "Закртыя грузовых помещений, подъемники".

Ст р у к т у р а та о б с я г р о б о т и. Дисертація вміщає: в с т у п, сім глав, висновок та додаток. Дисертація має 335 маш. стор., 6 таблиць, 124 використаних джерела.

### З М І С Т Д И С Е Р Т А Ц І Ї

В с т у п вміщає обґрунтування актуальності дисертаційної роботи, її общу ціль та одержані наукові результати, які виносяться на захист, а також, дається короткий критичний аналіз стану розглядаємої проблеми.

У п е р ш і й г л а в і досліджується призначення та окреслюються області використання еластичних суднових конструкцій, які входять до складу суднових пристроїв. Дається коротка класифікація еластичних конструкцій, які використовуються у складі кранцевих, швартовних, промислових та інш. пристроях, а також входячих до складу конструкцій ущільнювання закриттів суднових приміщень.

Приведено порівняльний аналіз еластичних конструкцій суднового призначення. Формуються та аналізуються основні схеми їх деформування, формозмінення при експлуатації в складі суднових пристроїв. Обґрунтовується суспільність запитань проектування еластичних конструкцій, розмішених у складі різних суднових пристроїв.

Встановлено, що еластичні конструкції виконують у складі суднових пристроїв слідуучи функції: огорожують корпусні конструкції від контакту з зовнішніми об'єктами; розподіляють на корпусні конструкції зусилля, які виникають при контакті; за раху-

нок особистих деформацій та формозмінень поглинають енергію контакту, сприймають контактний тиск, якщо зняти навантаження повертаються до початкової форми.

На підставі аналізу задач, виникаючих при проектуванні еластичних конструкцій до кількості основних включені такі: - побудова залежностей між величинами, описуючими форму деформованої конструкції та навантаженням, діючим на неї; - побудова залежностей, розраховуючих енергомісткість конструкції; - побудова залежностей, які визначають внутрішні зусилля в функції від параметрів, характеризуючих форму деформування еластичної конструкції та діючого на неї навантаження.

Еластичні конструкції суднового призначення сприймають однотипні квазістатичні навантаження, мають східні конструкції кріплення, експлуатуються у діапазоні пружних деформацій. Всі ці особливості дозволяють об'єднувати еластичні конструкції різноманітних судових пристроїв в одну групу зі спільними методами розрахунку та проектування.

Єдиним фактором, об'єднуючим проектні задачі по ошукуванню зовнішніх навантажень на еластичні конструкції різного роду судових пристроїв має бути верогіна природа зовнішніх сил.

Друга глава присвячена верогідній оцінці зовнішнім діям навантажень на еластичні конструкції та їх надійності.

У процесі експлуатації судові еластичні конструкції підлягають багаточисельним взаємодіям з зовнішніми об'єктами. Засоби амортизації взаємодіють з суднами, причальними спорудами, ліхтерами, підводними апаратами, човнами и інш. Еластичні ущільнюючі прокладки взаємодіють з ущільнюючими буртами, кришками судових вантажних отворів, іншими еластичними ущільненнями. Еластичні тяглові пристрої контактують з канатами, наплавами, грузилами та з промисловими сітями.

В багатьох випадках навантаження, еластичних конструкцій, носить випадковий характер. Судно у разі контакту, наприклад, здійснює досить складний рух під впливом гребного гвинта, перекаданого руля, а також заведеного за причальну споруду носового

шпрингу. Можливе сприяння буксирного судна. Випадкових величин, характеризуючих вірогідний процес взаємодії майже завжди дві, чи більше. Це можуть бути миттєві значення швидкостей  $v_y, w_z$ , кут підходу плавучого об'єкта до причальної споруди, що не дозволяє використовувати методи класичної теорії вірогідності.

Миттєві значення швидкостей  $v_y$  і  $w_z$  на інтервалі  $(0,1)$  можуть бути імітовані методом "Монте-Карло" за посередництва модулятора псевдовипадкових чисел. Стійкість процесу модуляції перевірялась на швидкості  $v_y$ , та енергії швартуючого судна, які порівнювалися з функціями їх розподілення.

Для перевірки стійкості процесу були змодульовані швидкості контакту серіями 1000, 3000 та 5000 модульованих швидкостей, також були побудовані гістограми. Певність результатів чисельного моделювання оцінювалася порівнянням з теоретичним значенням вцілення у заданий інтервал.

Широке розповсюдження багатомодульних систем серед засобів опанування океану пояснюється можливістю розміщати на одному кабель-буксирі кількох буксирюваних апаратів (модулів). Буксирювані модулі мають різну масу, а слідство цього і кінетичну енергію у мить контакту з приймальним пристроєм, у зв'язку з чим виникає необхідність оцінки вірогідності відмови засобів амортизації, забезпечуючих приймання буксирюваних модулів.

Якщо має буди  $(E)$  як найбільше значення енергомосткості амортизаційного захисту, то можливо визначити верогідність пребільшення цього значення. Відмовою засобів амортизації рахується не тільки нагода, у разі якої перевищена допустима енергомосткость, а і у разі перевищення допустимого значення прискорення.

При проведенні транспортного судна серед криг, часто застосовується засіб руху "впритул" або "тандем". У цих випадках носова кінцевість провідимого судна та кормовий еластичний кранець криголама контактують між собою.

У встановившомуся режимі руху криголам та судно мають однакові швидкості  $v_0$ . Така система виводиться з встановившогося стану руху дією зусилля  $F$ , виникаючого у наслідок переборювання

збільшуваної товщини криг. Час дії такого зусилля та його абсолютне значення мають бути величинами, які мають випадковий характер. Однак, їх найбільше значення окреслені умовами беззупинного руху криголама.

Поступовий рух криголама з масою  $M_L$  і судна масою  $M_C$  описується рівняннями при  $(x = x_C - x_L)$ :

$$M_L \ddot{x}_L = N + Q_g(x) - F \sin \bar{t},$$

$$M_C \ddot{x}_C = -N - Q_g(x).$$

Приріст сили кригового опору  $F$  викликає не тільки поступовий, але і обертальний рух криголама і судна. Рівняннями, які описують підвсплиття криголама і судна нехтуємо з причин малості очікуваних кутів диференту.

Результати розрахунків показали, що найбільше значення кутів диференту, як судна, так і криголама, наступають за найменший час дії силового імпульсу. Зсувні деформації кормового кранця криголама близьки по розміру з деформаціями тиску. Їх найбільші значення зміщені по фазі один відносно другого, мал. I.

Т р е т ь я г л а в а присвячена питанням розрахунку еластичних конструкцій, відповідно до великих деформацій та формозміненнь. Приведено огляд методів розрахунку еластичних конструкцій.

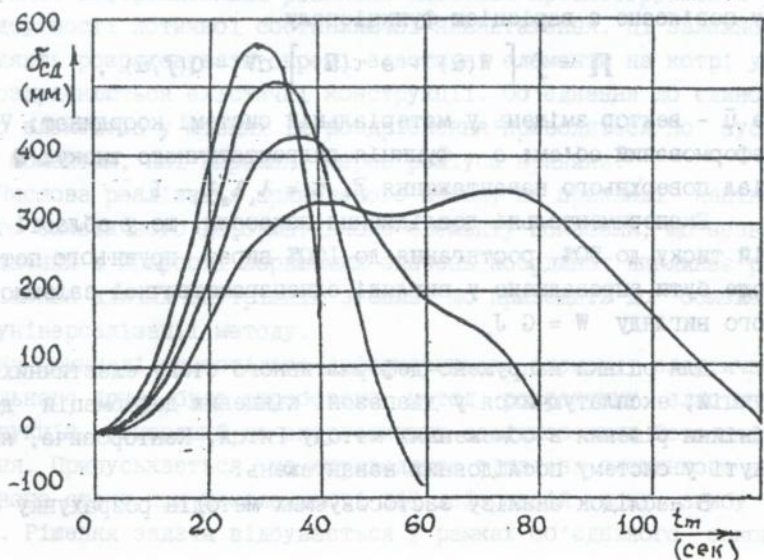
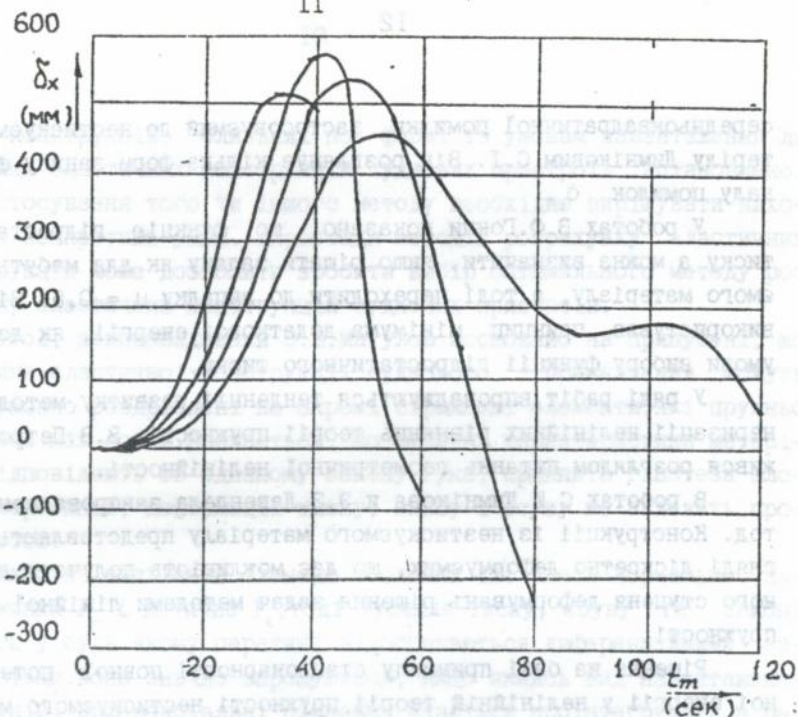
Система рівнянь рівноваги у переміщеннях  $u$  мають вигляд

$$\begin{cases} \nabla^2 \bar{u} + \text{grad } \varphi = 0, \\ \text{div } \bar{u} = 0. \end{cases}$$

Точне рішення системи отримано для найбільш простих випадків: в задачі про фланцеве ущільнення прямокутного перетину, про стискування, крутіння та згиб кулькового підп'ятника такими авторами як Лавендел Э.Э., Ляпунов В.Т., Мітуліс А.А.

До широкого класу задач про деформування еластичних амортизуючих конструкцій було знайдено рішення Бидерменом В.Л., Лавенделом Э.Э. на основі принципу мінімуму потенційної енергії з використанням методу Ритца і Канторовича.

Серед інших приблизних методів мають бути відміченим метод



Мал. I. Залежність деформації тиску  $\delta_x$  та зсувних деформацій  $\delta_{cd}$  від часу імпульсу  $t_m$ .

середньоквадратичної помилки, застосовуемий до нестискуемого матеріалу Димніковим С.І. Він розглянув кілька форм запису функціоналу помилок  $\delta_i$ .

У роботах В.Ф.Гончи показано, що функцію гідростатичного тиску з можна визначити, якщо рішати задачу як для мабуть зтискуемого матеріалу, а тоді переходити до випадку  $\mu = 0,5$ . Він також використовував принцип мінімуму додаткової енергії, як додаткові умови вибору функції гідростатичного тиску.

У ряді робіт впроваджуються тенденції розвитку методів лінеаризації нелінійних рівнянь теорії пружності. В.В.Петров обмежився розглядом питань геометричної нелінійності.

В роботах С.И.Димнікова и Э.Э.Лавендела завпроваджено  $\delta$ -метод. Конструкції із нестискуемого матеріалу представляються у вигляді дискретно деформуемих, що дає можливість отримувати для кожного ступеня деформувань рішення задач методами лінійної теорії пружності.

Рішення на базі принципу стаціонарності повної потенціальної енергії у нелінійній теорії пружності нестискуемого матеріалу пов'язане з варіацією функціоналу

$$\Pi = \int_V [W(\bar{u}) + \alpha \tau(\bar{u})] dV - Q(\bar{J}, \bar{u}),$$

де  $\bar{u}$  - вектор зміщень у матеріальній системі координат;  $V$  - недеформований об'єм;  $\alpha$  - функція гідростатичного тиску;  $Q$  - потенціал поверхнього навантаження  $\bar{J}$ ;  $\tau = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 - 1$ .

Експериментальні дослідження показали, що у області деформацій тиску до 50%, розтягання до 100% вираз пружного потенціалу може бути впроваджено у вигляді однопараметричної залежності такого вигляду  $W = G J_1$ .

Для оцінки напружено-деформативного стану еластичних конструкцій, експлуатуючихся у діапазоні кінцевих деформацій доцільні лінійні рішення в обмеженнях методу Ритца, Канторовича, які замкнуті у систему послідовних навантажень.

В наслідок аналізу застосовуемих методів розрахунку еласти-

чних конструкцій, близьких по формі та умовам навантаження до судових еластичних конструкцій судових пристроїв встановлено, що застосування того чи іншого методу необхідно вирішувати виходячи з конкретних умов. Апробація методів розрахунку еластичних конструкцій може дозволити зробити вибір оптимального методу розрахунку еластичних конструкцій судових пристроїв.

Метод, запроваджений В.Е.Магулою зосновано на припущенні, що перетини еластичної конструкції судового призначення можуть бути умовно розділені на окремі стрижневі елементи, які пружно з'єднані між собою. Вважається, що фізичні характеристики матеріалу відповідають об'єднаному закону Гука, прийнята гіпотеза площинних перетинів, деформації тиску, згибу і зсуву не залежать про- між собою.

Якщо на виділений елемент оболонки діє якесь нормальне навантаження  $P_n$  і дотичне  $P_t$ , тоді зусилля тиску, зсуву та згибні моменти у будь якому перетині відображаються диференційними залежностями. Вони значно зпрошуються, якщо якийсь вид навантаження відсутній. Диференціальні рівняння вдається проінтегрувати в разі відсутності дотичної составляючої навантаження. Ці залежності дозволяють розраховувати окремі еластичні елементи на котрі умовно розділюються еластичні конструкції. Об'єднання до єдиного цілого елементів у місцях їх розділення проводиться по зусиллям і моментам, які виражені через радіуси кривини.

Числова реалізація приведенного методу на прикладі напівокруглого еластичного деформативного елемента показали, що незначне змінення в прирості вар'юємих значень координат викликає різке змінення діючих внутрішніх зусиль, що приводить до обмеження кола універсалізації методу.

На прикладі пустотілого деформативного елемента еластичного привального бруса було опробовано метод розрахунку еластичних конструкцій, оснований на енергетичних співвідношеннях його деформування. Припускається, що справедлива гіпотеза площинного напруженого стану при незалежності дії деформацій тиску, згибу та зсуву. Рішення задачі відбувається у рамках об'єднаного закону

Гука. Мається на увазі, що матеріал ізотропний.

Потенційна енергія деформації середньої поверхні деформативного елемента на кожному із апроксимованих дугами кола радіуса  $r_{i,j}$  ділянках представлена у вигляді

$$u_{i,j} = \frac{1}{8} \int_{\varphi_{k,j}}^{\varphi_{i,j}} \left( m_{i,j}^2 + \frac{q_{i,j}^2}{r} - \frac{2m_{i,j}q_{i,j}}{r} + \frac{4\alpha n_{i,j}^2}{r} \right) r_{i,j} d\varphi;$$

де у безрозмірному вигляді впроваджені:  $m_{i,j}$  - згинаючий момент;  $q_{i,j}$ ,  $n_{i,j}$  - стискаюче і перерізує зусилля;  $r$  - площа перетину,  $\alpha$  - коефіцієнт розподілення дотичних зусиль у перетині.

Апроксимація середньої поверхні деформативного елемента виконується, як безперегибною кривою, так і кривою, яка має крапку перегибу. Індекс  $i$  характеризує виділену ділянку,  $j$  - етап навантаження.

При мінімізації виразу потенційної енергії деформації використана процедура Ритца  $\partial u_{i,j} / \partial r_{i,j} = 0$ .

Результати розрахунку пустотілого коробчаного еластичного елемента були заповнені при апроксимації його середньої поверхні дугами кола, які склалися із двох ділянок та порівнювалися із результатами експерименту. Різниця між розрахунковими і експериментальними кривими дорівнюють 12 - 15%. При зімкненні внутрішньої порожнини примірника схема набуває надійного стану.

Метод кінцевих елементів для незтискуємих середовищ впроваджено на основі лінійної теорії пружності, хоч має деякі відмінні особливості. Незтискуємих матеріал рахується статично деформувемим, однорідним, ізотропним, незтискуємих, лінійнопругим. Умова незтискуємої матеріалу враховується введенням функції гідростатичного тиску  $\sigma$ .

У більшості задач для суднових еластичних конструкцій можливе припущення про те, що переміщення уздовж якоїсь осі постійні, або зовсім відсутні, тоді повна система рівнянь у переміщеннях має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 u + \frac{\partial s}{\partial x} + \frac{R_x}{G} &= 0; \\ \nabla^2 v + \frac{\partial s}{\partial y} + \frac{R_y}{G} &= 0; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Кінцеві елементи трикутника, чотирикутника та інш. приймають однакошу апроксимацію невідомих функцій:

$$u(x, y) = \sum_{k=1}^N c_k f_k(x, y), \quad k = 1, 2, \dots, N$$

де  $f_k(x, y)$  - найпростіші поліноми;  $N$  - число вершин елементів.

Оцінка достовірності розрахунку методом кінцевих елементів при покроковому навантаженні еластичних конструкцій проведена на прикладі прямокутного еластичного паралелепіпеду.

Результати розрахункової реалізації показали, що стабілізація результатів розрахунку починається при роздрібленні на десять кроків навантаження. При двадцяти кроках навантаження змінення площі перетину не привисує  $\epsilon < 1\%$ .

Для еластичних конструкцій часто характерне нелінійне формозміння, яке пов'язане з дією на еластичну конструкцію різноманітних видів навантажень, або з різким змінням пружності. Тоді крок навантаження має бути змінним.

Четверта глава присвячена розрахунку еластичних конструкцій методом кінцевих елементів з послідуочим порівнянням результатів розрахунку та експериментальних даних.

Кругові еластичні циліндричні товстостінні оболонки експлуатуються у багатьох видах судових пристроїв, разом із тим вони ефективні до оцінки різноманітних розрахункових процедур. Оболонка, зтискувана проміж жорстких паралельних плит, була розрахована методом кінцевих елементів.

За кінцевий елемент було прийнято чотирикутний зіставлений з двох трикутних елементів, об'єднаних проміж собою однако-

вим гідростатичним тиском. Задача була розв'язана у переміщеннях, що дозволяє відносити напруження до модулю другого роду та вирішувати задачі про великі деформування незалежно від фізичних констант еластомірного матеріалу.

При однопараметричному опису фізичних відношень еластомірів визначаючим має бути модуль другого роду  $G$ . Розповсюдженим методом знаходження модуля  $G$  признано визначати його залежно від твердості матеріалу

$$G = 1,19 \text{ езр } ( 0,033 H_n ) \text{ кгс/см}^2$$

де  $H_n$  - твердість по Шору А, яка виміряна твердометром ТМ-2.

Для оцінки проведених розрахунків по обтискуванню кругових циліндричних оболонок було проведено експеримент в якому отримані результати систематичних іспитів товстостінних колообразних оболонок на спеціально сбудованому лабораторному пристрої.

Прозорість однієї із обтискуючих оболонок плит дала змогу стежити за змінами форми та площини контактної поверхні. Площина контактної поверхні вимірювалася за допомогою планіметра по фотокартках, на які було знято п'ятна контакту через прозору плиту.

Результати розрахунку МКЕ порівнювалися з розмірами зони контакту, які були отримані експериментально.

Деформація еластичного елемента "DUNLOP", зтискуемого між жорсткими плитами дорівнювала 40% від його висоти. Число кроків навантаження  $n$  покрокової процедури змінювалося від 1 до 100. Було встановлено, що один крок деформування елемента на вказаний розмір (40 % висоти) приводить до втрати площини перетину деформативного елемента на 12,5 %. Двадцять кроків навантаження приводить до  $\epsilon = 1$  %. Подальше зростання числа кроків навантаження деформативного елемента незначно впливає на змінення площі поперечного перетину, і при 100 кроках навантаження  $\epsilon = 0,22$  %.

Проблема формування початкових даних для пустотілих еластичних конструкцій при впровадженні МКЕ має місце при описуванні внутрішніх порожнин сіткою кінцевих елементів, яка придатна була б відобразити спряжиння внутрішніх криволінійних отворів і порожнин. Складною є гантелевидна внутрішня порожнина, яка була

вибрана як зразок, на якому порівнювалися результати розрахункових процедур з результатами експериментальних даних.

Експериментальному обтискуванню між площинними жорсткими плитками було завдано еластичним елементам з розмірами  $200 \times 125$  мм,  $169 \times 95$  мм і  $110 \times 70$  мм. З метою мати можливість описувати формозмінення еластичної конструкції її перетин було сфотографовано через прозору сітку зі сторонами прямокутника  $10$  мм.

МКЕ дозволяє провести графічне побудування зовнішньої форми перетину еластичного деформативного елемента в процесі його формозмінення. Така процедура відображена на мал. 2. На останній позиції д) відображена фотографія перетину деформативного елемента в стані зімкнення внутрішньої порожнини.

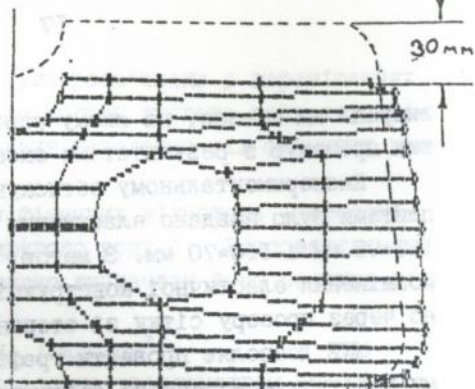
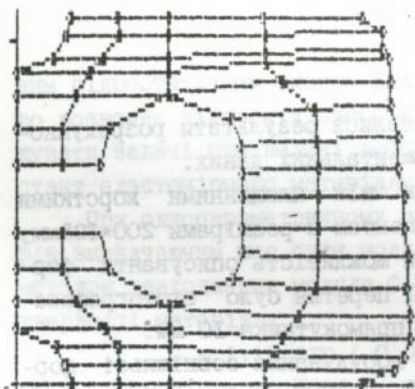
Засоби виготовлення суднових еластичних конструкцій засновуються на двох технологічних процесах: методом формування, або екскрузійним методом. Перший дає точну форму, але має малу продуктивність. Другий метод має високу продуктивність, однак точність виготовлення зразка дуже мала.

Конфігурація перетину еластичних деформаційних елементів зв'язана не тільки з пружними характеристиками, ала і з розподіленням контактного тиску. На мал. 3,а відображено перетин еластичних деформаційних елементів, які були отримані формуванням, і методом екструдірування, мал. 3,б. Там же було побудовано епюри контактного тиску.

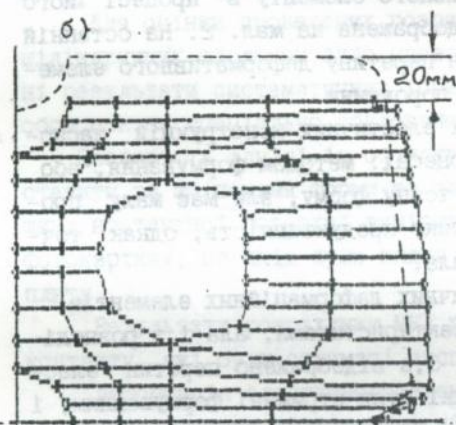
Зморшкоутворювання є одною з прояв напружно - деформативно-стану, відповідаючому закритичній області деформування. Утворення зморшок простежується на внутрішніх порожнинах деформованих еластичних порожнетілих конструкцій, які зазнають інтенсивного згибу. Початок утворення зморшок відповідає умові  $r_{cp}/t < 0,2$ , де  $r_{cp}$  - радіус кривини серединної поверхні,  $t$  - товщина оболонки.

Радіус кривини внутрішньої поверхні еластичної конструкції визначався по координатах трьох вузлових крапок та апроксимувався параболічною функцією.

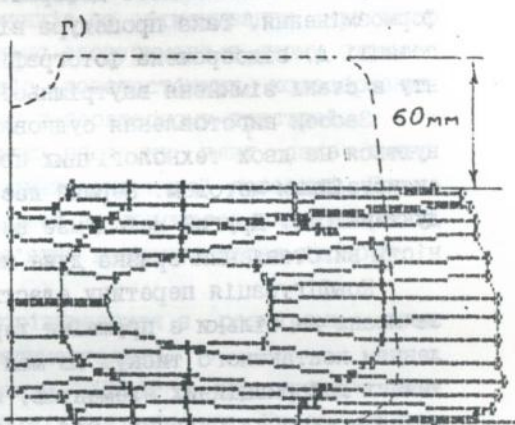
Контролювання значення радіусу кривини внутрішньої поверхні



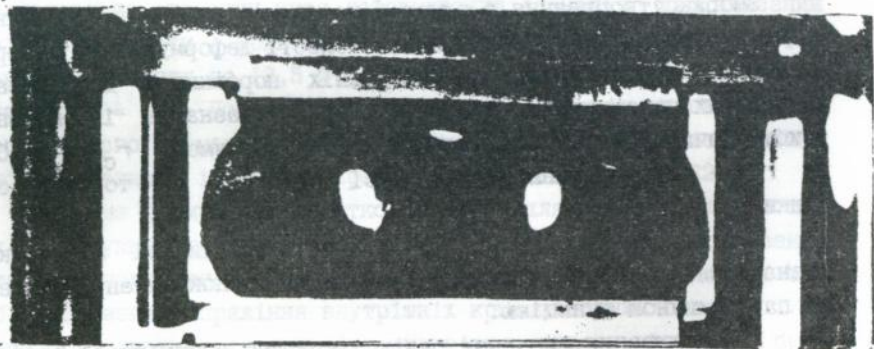
б)



г)

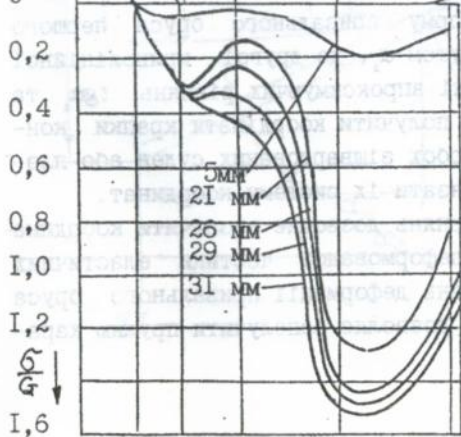
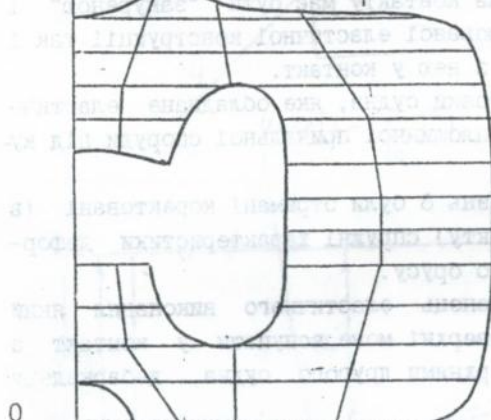
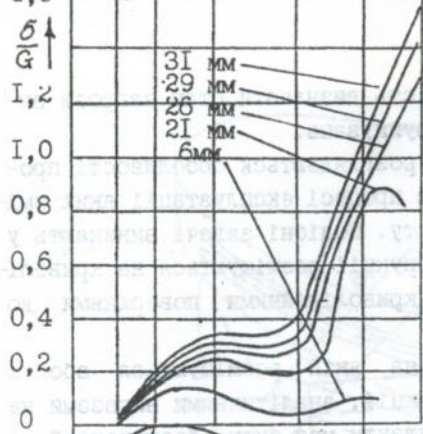


д)

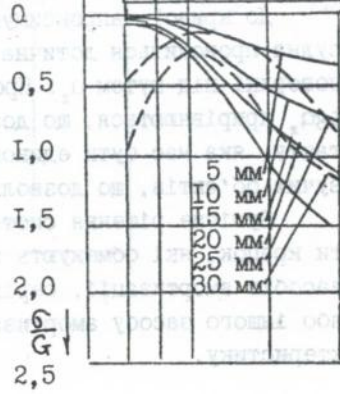
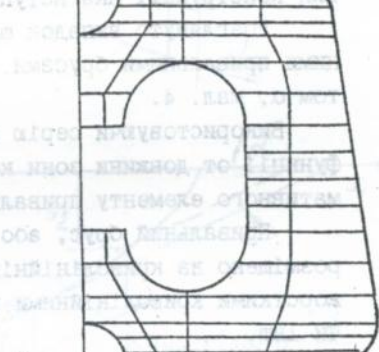
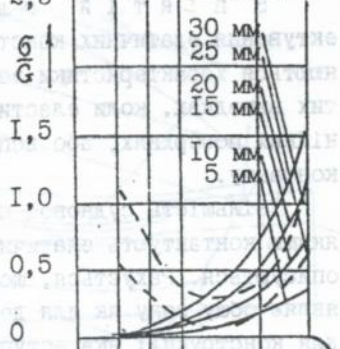


Мал.2. Графічне супроводження формозмінення еластичних конструкцій та їх експериментальний контроль.

1,6<sup>0</sup> 8 15 25 40 52 (MM) 62 19



2,5 0 8 14 20 35 (MM) 44



Мал.3. Залежність розподілення контактної тиску на зразках різних методів виготовлення.

еластичної конструкції дає можливість визначати стан загрози виникнення зморшок та втомлених руйнувань.

В п'ятій главі розглядаються особливості проектування еластичних конструкцій, в процесі експлуатації яких змінюються характеристики зони контакту. Подібні задачі виникають у тих випадках, коли еластичні конструкції розміщуються на криволінійних поверхнях, або вступать з криволінійними поверхнями до контакту.

Більшість суднової поверхні на якій розміщуються або з якими контактують еластичні конструкції, аналітичними виразами не описуються. Рахується, що зона контакту має бути "зануреною" і являє одну зону як для деформованої еластичної конструкції так і для конструкції яка вступила з нею у контакт.

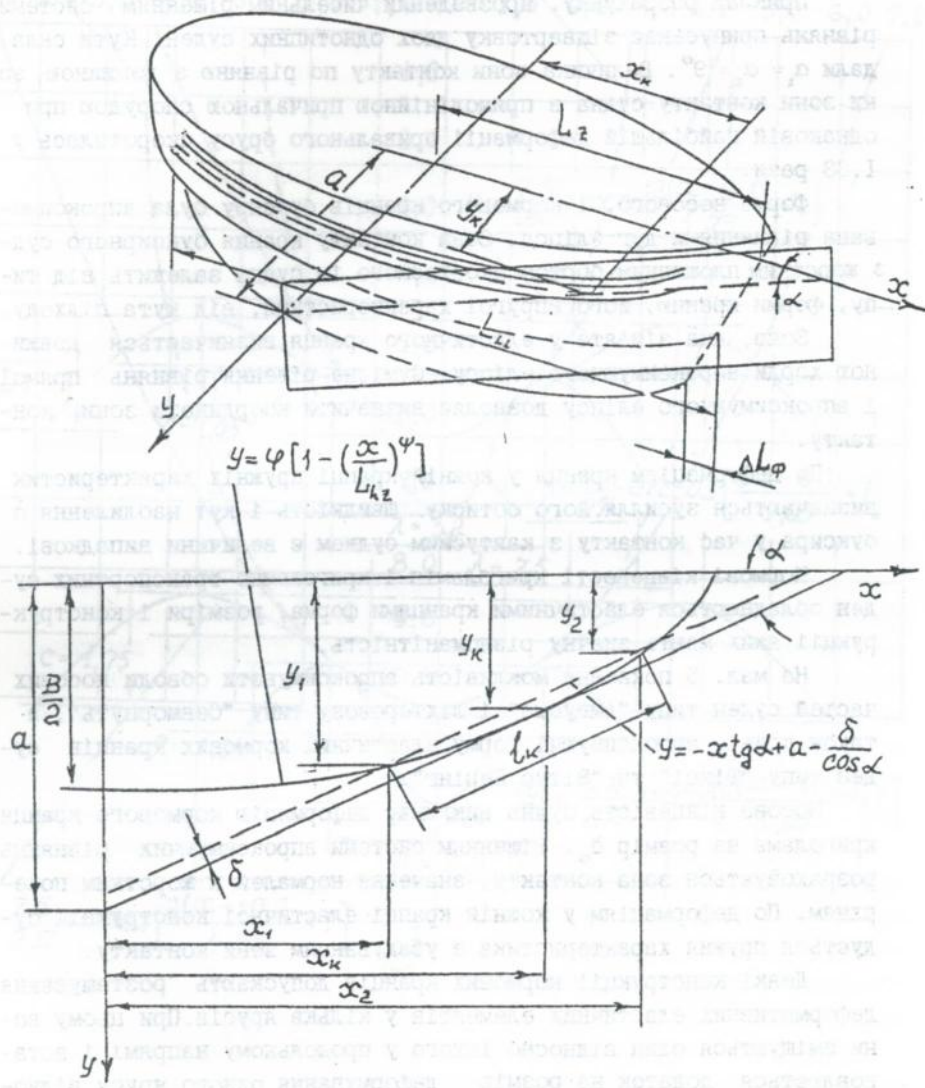
Розглянуто випадок швартовки судна, яке обладнане еластичними привальними брусами, до площинної причальної споруди під кутом  $\alpha$ , мал. 4.

Використовуючи серію значень  $\delta$  були отримані коректовані (в функції от довжини зони контакту) спружні характеристики деформативного елемента привального бруса.

Привальний брус, або кранець еластичного виконання який розміщено на криволінійній поверхні може вступати у контакт з жорсткими криволінійними поверхнями другого судна, дебаркадери чи інш.

До кривої, апроксимуючої форму привального бруса першого судна проводиться дотична під кутом  $\alpha_1$ , до другої криволінійної поверхні під кутом  $\alpha_2$ . Производні апроксимуючих рівнянь  $tg\alpha_1$  та  $tg\alpha_2$  прирівнюються, що дозволяє отримати координати точки контакту, яка має бути єдиною для обох зішвартованих суден або плаваючих об'єктів, що дозволяє зв'язати їх системи координат.

Сумісне рішення системи рівнянь дозволяє визначити координати крапок, які обмежують зону деформованої частини еластичних засобів амортизації, серія значень деформації привального бруса або іншого засобу амортизації  $\delta$  дозволяє отримати пружну характеристику.



Мал.4. Схема швартовки судна до плосинного причалу.

Приклад розрахунку, проведений чисельним рішенням системи рівнянь припускає зішвартовку двох однотипних суден. Кути скла-дали  $\alpha_1 = \alpha_2 = 9^\circ$ . Величина зони контакту по рівнянню з довжиною зо-ни зони контакту судна з прямолінійною причальною спорудою при однаковій найбільшій деформації привального бруса скоротилась у 1,33 рази.

Форма носового, і кормового кранців буксиру була апроксимо-вана рівняннями дуг еліпса. Зона контакту кранця буксирного суд-з жорстким площинним бортом штовхаемого ім судна залежить від ти-пу, форми кранця, його впругої характеристики, від кута підходу.

Зона, яка зім'ята у еластичного кранця визначається довжи-ною хорди апроксимуючого еліпсу. Сумісне рішення рівнянь прямої і апроксимуючого еліпсу дозволяє визначити координати зони кон-такту.

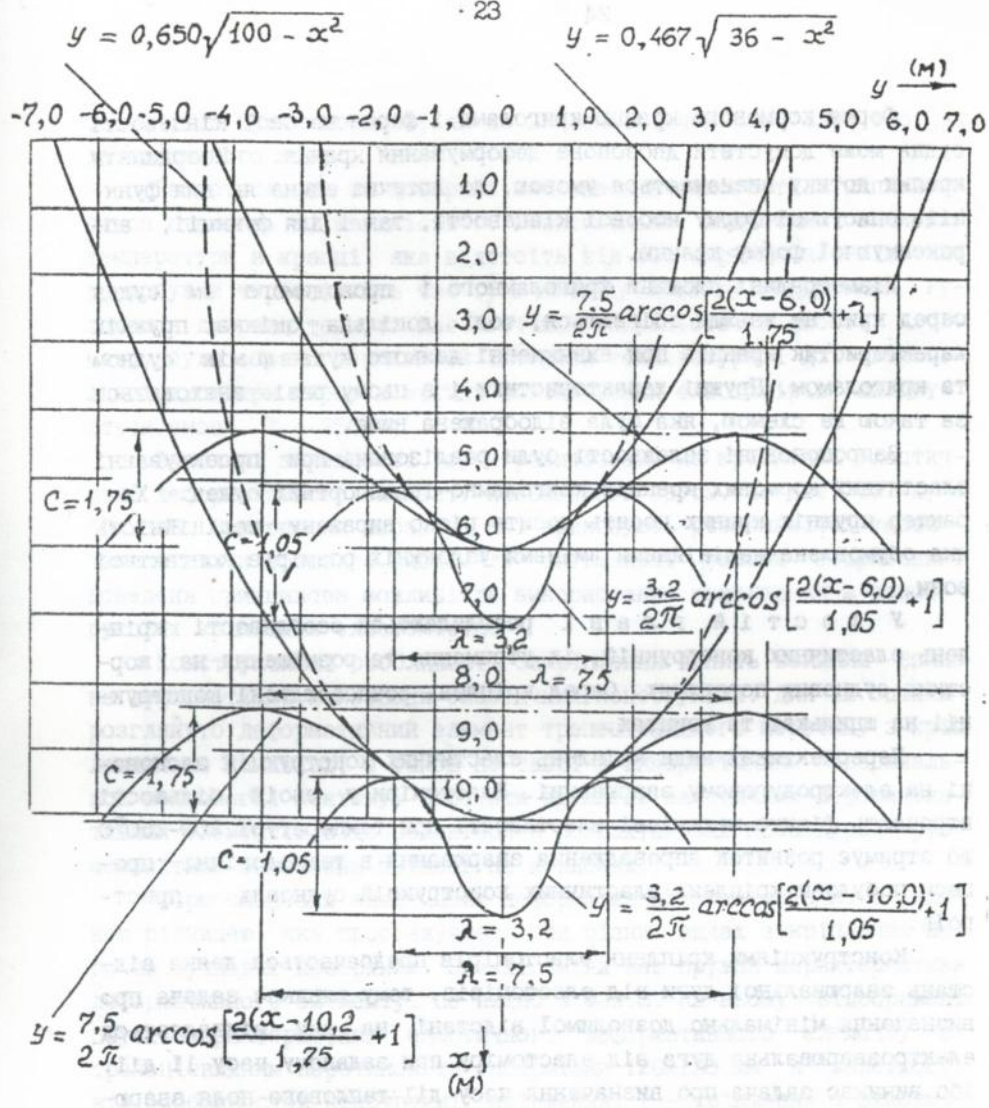
По деформаціям кранця у кожній крапці пружних характеристик визначаються зусилля його обтиску. Швидкість і кут наближення  $\alpha$  буксира у час контакту з кантуємим судном є величини випадкові.

Кормові кінцевості криголамів і криголамно-транспортних су-ден обладнюються еластичними кранцями форма, розміри і конструк-ції яких мають значну різноманітність.

На мал. 5 показана можливість апроксимувати обводи носових частей суден типу "Амгуема" і ліхтеровозу типу "Севморпуть", а також криві, апроксимуючі форму еластичних кормових кранців су-ден типу "Тіксі" та "Вітус Берінг".

Носова кінцевість судна викликає деформацію кормового кранця криголама на розмір  $\delta_0$ . Рішенням системи апроксимуючих рівнянь розраховується зона контакту, значення нормалей к жорстким пове-рхням. По деформаціям у кожній крапці еластичної конструкції бу-дується пружня характеристика з урахуванням зони контакту.

Деякі конструкції кормових кранців допускають розташування деформативних еластичних елементів у кілька ярусів. При цьому во-ни зміщуються один відносно іншого у продольному напрямі і вста-новлюється додаток на розмір деформування одного ярусу відно-сно другого.



Мал.5. Апроксимация носових обводів суден та форми кормових кранців.

Форма кормового кранцю криголама і форма носової кінцевості судна може допустити двозонове деформування кранця. Координати крапки дотику визначається умовою, що дотична єдина як для функції, описуючої форму носової кінцевості, так і для функції, апроксимуючої форму кранця.

Діаметральні площини криголамного і проводимого ім суден серед криг не завжди збігаються, тоді доцільна оцінка пружних характеристик кранців при виникненні деякого кута  $\phi$  між судном та криголамом. Пружні характеристики і в цьому разі знаходяться за такою ж схемою, яка була відображена вище.

Запропоновані залежності були реалізовані при проектуванні еластичних кормових кранців криголамно-транспортних суден. Характер пружних кривих носить досить різко виражену нелінійність яка обумовлена нелінійними змінами уздовжніх розмірів контактної зони.

У шостій главі розглядаються особливості кріплень еластичних конструкцій, їх утримання та розміщення на жорстких судових поверхнях. Серед кріплень розповсюджені конструкції на шпильках та гвинтах.

Перспективні види кріплень еластичних конструкцій засновані на електродуговому зварюванні. Еластомери у своїй більшості втрачають фізико-механічні властивості при температурі  $200-250^{\circ}\text{C}$  що зтримує розвиток впровадження зварювання в технологічні процеси побудови кріплень еластичних конструкцій судових пристроїв.

Конструкціями кріплень еластомерів передбачається деяка відстань зварювальної дуги від еластомерів, тому виникає задача про визначення мінімально дозвимої відстані на яку віддаляється електрозварювальна дуга від еластомеру при заданому часу її дії. Або виникає задача про визначення часу дії теплового поля зварювальної дуги на еластомер при заданій відстані між ним і дугою.

Перераховані задачі можуть бути вирішені методами визначення теплових полей зварочних процесів. При цьому джерело тепла приймається або зконцентрованим, або розподіленим, або площинним.

Форма тіла була зпрощена, як до напівнескінченного тіла, або як до площинного шару.

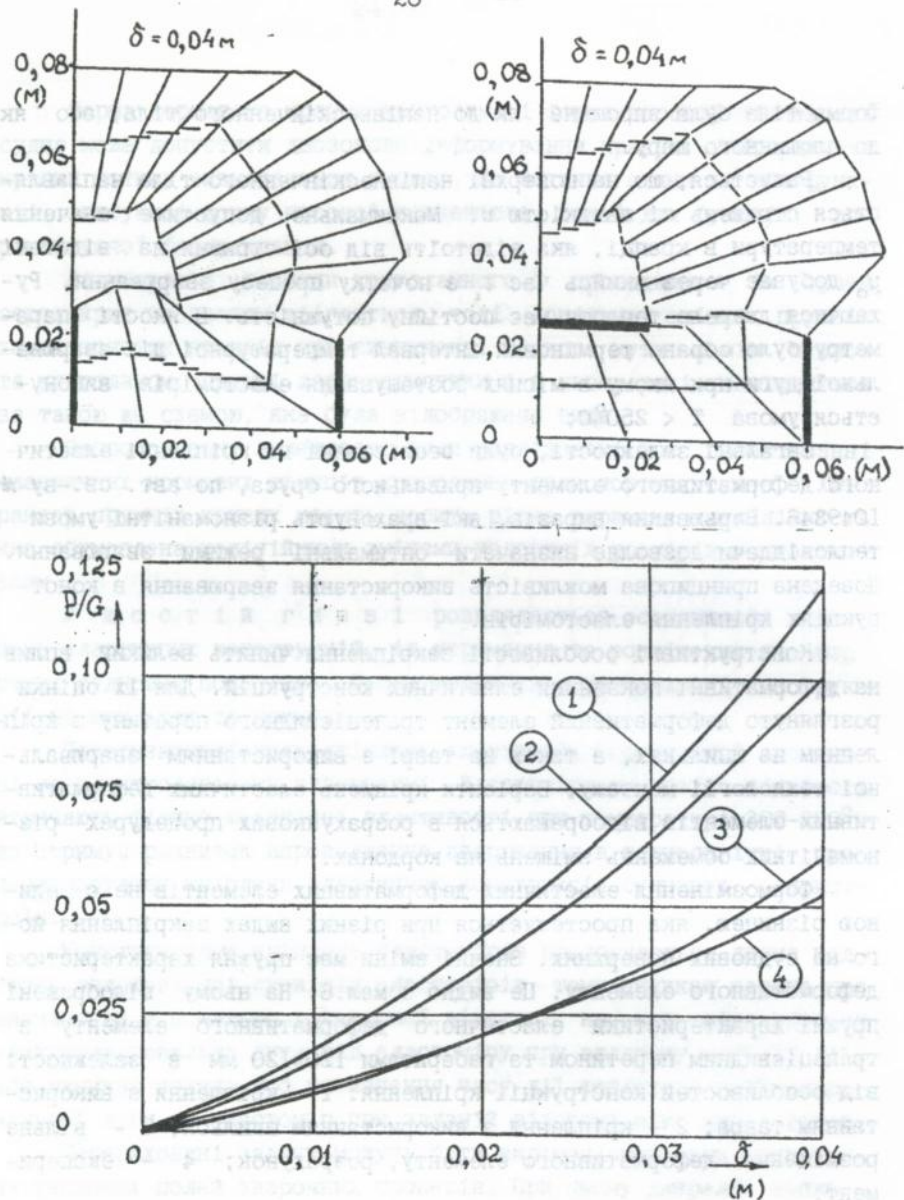
Рахується, що на поверхні напівнескінченного тіла наплавляється стрижень зі швидкістю  $v$ . Максимальне допустиме значення температури в крапці, яка відстоїть від осі стрижня на відстані  $y_0$ , добуває через якийсь час  $t_1$  з початку процесу зварювання. Рухаючися джерело теплоти має постійну потужність. В якості параметру було обрано терміновий інтервал температурної дії зварювальної дуги при якому в місцях розташування еластомірів виконується умова  $T < 250^\circ\text{C}$ ;

Загальні залежності, були реалізовані на кріпленні еластичного деформативного елемента привального бруса, по авт. св.-ву № ІО49346. Варювання виразів, які враховують різноманітні умови тепловіддачі дозволяє визначити оптимальні режими зварювання. Доведена принципова можливість використання зварювання в конструкціях кріплення еластомірів.

Конструктивні особливості закріплення чинить великий вплив на деформативні показники еластичних конструкцій. Для їх оцінки розглянуто деформативний елемент трапецієвидного перетину з кріпленням на шпильках, а також на таврі з використанням зварювальної технології монтажу. Варіанти кріплень еластичних деформативних елементів відображаються в розрахункових процедурах різноманітних обмежень зміщень на кордонах.

Формозмінення еластичних деформативних елементів не є єдиною різницею, яка простежується при різних видах закріплення його на судових поверхнях. Значні зміни має пружна характеристика деформативного елемента. Це видно з мал.6. На ньому відображені пружні характеристики еластичного деформативного елемента з трапецієвидним перетином та габаритами  $120 \times 120$  мм в залежності від особливостей конструкції кріплення: 1 - кріплення з використанням тавра; 2 - кріплення з використанням шпильок; 3 - вільне розміщення деформативного елемента, розрахунок; 4 - експеримент.

Різниця між пружними характеристиками описаних зразків при деформаціях, відповідаючих змиканню внутрішніх полостей дорівнює



Мал. 6. Формозмінення та пружні характеристики елемента трапецієвидного перетину.

25% - 28%. Ця обставина вказує на необхідність коректування пружних характеристик еластичних конструкцій в залежності від особливостей їх кріплення.

Еластичні конструкції круглої циліндричної форми мають досить широке розповсюдження серед суднових пристроїв. Вони вкладаються в жорсткий ложамент висота якого та ступінь обхвату їм деформативного елемента дуже різні і може дорівнювати половині діаметру еластичного деформативного елемента.

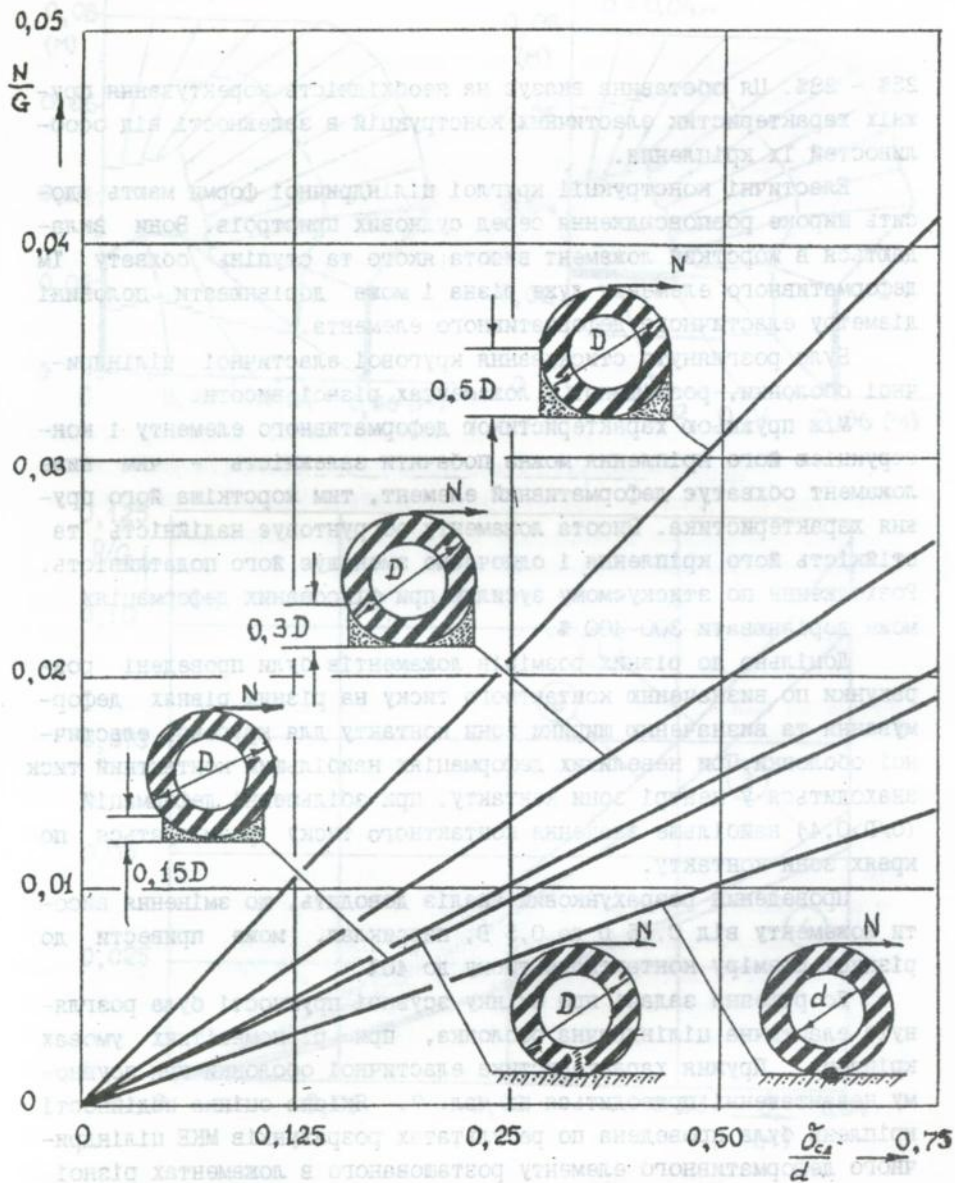
Було розглянуто стискування кругової еластичної циліндричної оболонки, розміщеної у ложаменті різної висоти.

Між пружною характеристикою деформативного елемента і конструкцією його кріплення можна побачити залежність - чим вище ложамент обхватує деформативний елемент, тим жорсткіша його пружна характеристика. Висота ложаменту обґрунтовує надійність та стійкість його кріплення і одночасно зменшує його податливість. Розходження по зтискуємому зусиллю при фіксованих деформаціях може дорівнювати 300-400 %.

Додільно до різних розмірів ложаментів були проведені розрахунки по визначенню контактної тиску на різних рівнях деформування та визначенню ширини зони контакту для кругової еластичної оболонки. При невеликих деформаціях найбільший контактний тиск знаходиться у центрі зони контакту, при збільшенні деформацій ( $\delta/D > 0,4$ ) найбільше значення контактної тиску розміщується по краях зони контакту.

Проведений розрахунковий аналіз доводить, що змінення висоти ложаменту від  $0,15 D$  до  $0,5 D$ , наприклад, може привести до різниці розміру контактної тиску до 40%.

До рішення задачі про оцінку зсувної пружності була розглянута еластична циліндрична оболонка, при різноманітних умовах кріплення. Пружна характеристика еластичної оболонки при зсувному навантаженні приводиться на мал. 7. Якісна оцінка надійності кріплення була проведена по результатах розрахунків МКЕ циліндричного деформативного елемента розташованого в ложаменті різної висоти. Зсувна жорсткість еластичного деформативного елемента



Мал.7. Зсувні пружні характеристики еластичної циліндричної оболонки.

різко зростає при висоті ложемета більше  $0,15 D$ , де  $D$  - діаметр оболонки.

Загальна якісна характеристика зсувної пружності була проаналізована на прикладі напівкільця. Загальний характер формозмінення такої оболонки та змінення зсувної податливості по мірі зростання висоти ложемета дозволяє прогнозувати можливе зростання зсувної деформативності оболонок інших форм.

У сьомій главі представлені загальні рекомендації по проектуванню еластичних конструкцій суднових пристроїв. До оцінки міцності, надійності та довговічності суднових еластичних конструкцій були побудовані розрахункові схеми всієї конструкції чи її окремих елементів.

Вид напружено-деформативного стану залежить від форми еластичної конструкції, умови опирання (кріплення), від характеру прикладених навантажень. Згадані фактори містять як якісні, так і кількісні параметри до конкретизації котрих зводиться процес побудови розрахункових схем, що дозволяє звести до цілосності задач по класифікації еластичної конструкції і по ідентифікації параметрів математичних моделей.

До якісних параметрів відносяться: - очікуваний характер руйнування, можливий механізм деформування та інше і вони можуть бути формалізованими.

Кількісні характеристики проектуємої еластичної конструкції можуть бути використані на кінцевих стадіях проектування, якщо основні розрахункові процедури ведуться у безрозмірному стані. У цьому разі одним з етапів розрахунково-проектної схеми є ідентифікація параметрів математичної моделі, надання їм конкретних значень на основі прямих або косвених показників.

На мал. 8 зображена обща блок схема побудування проектно-розрахункових схем проектування еластичних конструкцій. Ця схема відображає загальний характер розрахункових процедур, формальне виконання яких потребує процес проектування еластичних конструкцій суднових пристроїв. Парними рисками з двох боків кожного блоку цієї схеми відмічені питання, які розглянуті у дисертації.

## Зовнішня задача

Розробка технічного завдання на проектування суднового пристрою

Розробка технічного завдання на проектування еластичної конструкції суднового пристрою

## Внутрішня задача

## 1.Верхній рівень

1.1. Визначення навантажень, діючих на еластичні конструкції суднового пристрою

1.2. Визначення контактних умов взаємодії з жорсткими деталями суднового пристрою

1.3. Розробка попередньої схеми, (креслення) загального розміщення еластичної конструкції

1.4. Попередня комплектація суднового пристрою еластичними елементами (конструкціями)

1.5. Підготовка вхідних даних до розрахунку методом кінцевої елементів

## 2.Нижній рівень

2.1. Розрахунок МКЕ головних елементів еластичної конструкції суднового пристрою

2.2. Оцінка напружено-деформативного стану еластичної конструкції суднового пристрою

2.3. Визначення шляхів пошуку оптимального напружено-деформативного стану

## Оптимізація підсистем

Загальне розташування

Зумісність деформування

Вимоги до виготовлення

Особливості конструкції кріплення

Вимоги до корпусних конструкцій

Мал. 8. Блок - схема проектування еластичних конструкцій.

Блоки які мають подвійні риси з одного боку вказують на часткове розглядання, а блоки лише з одними рисками в дисертації не розглянуті.

У більшості суднових пристроїв еластичні конструкції в процесі своєї експлуатації взаємодіють з жорсткими поверхнями. Однак еластичні конструкції можуть взаємодіяти і між собою. Тоді деформативні показники кожної із еластичних конструкцій, які вступають у контакт залежить від частки її участі у сумістному напружно-деформаційному стані.

Контакт двох еластичних конструкцій кожна з яких розміщена на жорсткій площині часто зустрічається у складі ущільнень суднових вантажних закриттів. До контакту можуть вступати, як однотипні еластичні деформативні елементи, так і елементи з різним поперечним перетином. Контакт еластичних деформативних елементів, розташованих на криволінійних поверхнях зустрічається у засобах амортизації суднових конструкцій. Контакт сферичних еластичних тягнутих елементів з еластичним валом, є у складі промислових пристроїв для вибірання канатів, засобів промислового лову.

Взаємодія двох деформативних елементів, розташованих на жорстких площинах може бути розглянуто в образах площинної задачі про сумісне деформування еластичних конструкцій. Нариклад, такої сумісної взаємодії розглянуто доцільно до двох еластомірів різного поперечного перетину, які трапляються у складі ущільнюючих пристроїв закриттів суднових вантажних приміщень. Сумісність деформацій еластичних елементів дозволяє судити про сумісність напружно-деформаційного стану, а також про формозмінення в районі контактної зони.

Еластичні тяглові елементи вступають до контакту не тільки проміж собою (у холостому режимі експлуатації), але і з жорсткими елементами приладдя промислового лову, канатами (в тягловому режимі експлуатації). Кілька площинних перетинів, виконаних радіально в межах значень кута  $\varphi_k$ , відокремлюючого зону контакту еластичного тяглового елемента з жорстким циліндричним тілом розглянуто відрізно.

Побудова тяглових характеристик еластичних елементів спрямована на одностайну оцінку зусиль, які передаються циліндричним тілом, або тілом іншої форми за посередь зусиль тертя, виникаючого між цим тілом та його тягловою оболонкою. Коефіцієнт тертя між еластомерами та жорсткими тілами може знаходитися у широкому діапазоні, особливо у тих випадках, коли еластомерне покриття тяглогового елементу уволоджене або покрите рибною слиззю.

Як приклад було розглянуто задачі взаємодії про скружене деформування цілого ряду площинних еластичних кілець з різними умовами його утримання.

Схематизація проектно-розрахункових рішень проектування еластичних конструкцій суднових пристроїв дозволяє виходити за рамки задач площинного напруженого стану. Контактні задачі, потребують зменшення сітки кінцевих елементів можуть бути розглянутими в кілька етапів. На початковому етапі розглядається уся еластична конструкція, а на слідуючих її відрізані елементи.

Проектування еластичних конструкцій суднових пристроїв є досить складна задача. Можливість орієнтуватися в загальних питаннях процесу проектування еластичних конструкцій суднових пристроїв дають загальні рекомендації для початкового проектування (на початкових стадіях). Вони побудовані на обґрунтуванні можливостей розміщення еластичних конструкцій, можливостей розрахувати приблизні значення зусиль та енергомісткості, а також для приблизної оцінки потреб еластомерів залежно від цих показників. Вказано на найбільші значення зусиль та енергомісткості які здатні прийняти еластичні конструкції того, чи іншого типу. Приблизні розміри зон контакту на криволінійних поверхнях рекомендовано розраховувати найпростішими залежностями.

Особливості впливу кріплень на деформації тиску та зсуву продемонстровано графічними залежностями. Розподілення контактного тиску на зтискуємих поверхнях відображається серією графічних залежностей, побудованих для перетинів прямокутного профіля зовнішнього і внутрішнього контурів. Зупинено також увагу на особливості вибору еластичних підкладин.

## В И С Н О В К И

1. На основі аналізу відчизняних та закордонних джерел встановлена актуальність детального дослідження еластичних конструкцій, суднового призначення, які опорядковані умовами експлуатації, видами деформування та формозмінення.

2. Метод чисельного моделювання процесу взаємодії суднових об'єктів було розроблено з вірогідних позицій в умовах багатопараметричності цього процесу, що дозволило в якості параметрів використовувати поступові та кутові швидкості, амплітуди та час дії імпульсів та інші.

3. Метод вірогідної оцінки надійності кранцевого захисту багатомодульних буксируємих систем у разі прийомки їх спукопідмальним пристроєм дає змогу оцінювати вірогідність виходу пристрою з ладу при перевищенні допустимих прискорень та енергомісткості.

4. Матиматичною моделлю системи криголам-кранень -транспортне судно при їх сумісному просуванні в криговому полі доведено, що повинні враховуватись не тільки деформації тиску, але і зсуву

5. Аналіз методів розрахунку еластичних конструкцій суднового призначення, а також апробація деяких із них призвела до необхідності адаптації методу кінцевих елементів доцільно до незтискуваного матеріалу, а також перевірки його ефективності.

6. Розрахунки еластичних конструкцій суднових пристроїв дозволили порівнювати їх з експериментальними даними, здобутими, як у процесі виконання експериментальної частини роботи, так і у пресі не тільки по пружних характеристиках, а і по розмірах зон контакту та формозміненню перетинів.

7. Метод опорядкування контактних зон при взаємодії еластич-

них конструкцій з жорсткими дозволяє будувати пружні характеристики, які відповідають дійсному стану деформування, що було враховано для кранців буксирних та криголамних суден, а також для судна обладнаного привальним брусом.

8. Проаналізовані види кріплень еластичних конструкцій, спрямували шлях до удосконалення кріплень за рахунок використання електричного зварювання. Можливість використання обґрунтована.

9. Дослідження схем урахування впливу конструкцій кріплення на деформаційні показники еластомірів, довело, що кріплення впливають не тільки на пружні характеристики тиску та зсуву, але і на формозмінення перетинів.

10. Аналіз загальних принципів побудови розрахункових процедур, виникаючих при проектуванні еластичних конструкцій привів до побудови блок-схеми, яка відображає не тільки процес проектування, а і перелік задач, розглянутих в дисертаційній роботі.

II. Рекомендації по оцінюванню особливостей взаємодії еластичних конструкцій між собою дозволили побудувати проектно-розрахункові процедури доцільно до просторових еластичних конструкцій

12. Розроблені рекомендації проектування еластичних конструкцій судових пристроїв дозволяють вести проектування на початкових стадіях.

Основний зміст дисертації відображено у слідуючих роботах:

1. Александров М.Н., Бугаенко Б.А., Коробанов Ю.Н., и др. Судовые устройства. Справочник. - Л.: Судостроение 1987г.

2. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н. Суда-газовозы. - Л.: Судостроение, 1990, 301с.

3. Морской энциклопедический словарь (А-И) VI. Судостроение, судовое машиностроение, морское приборостроение, Л., "Судостроение", 1991. (В составе авторского коллектива).
4. Морской энциклопедический словарь (К-Я) VI. Судостроение, судовое машиностроение, морское приборостроение, Л., "Судостроение", 1992. (В составе авторского коллектива).
5. Магула В.Э. Корованов Ю.Н. Шапов В.П. Расчеты судовых осесимметричных мягких оболочек. Уч. пособие. - Николаев. 1978. 97с.
6. Корованов Ю.Н., Зайцев В.В., Бугаенко Б.А. Специальные устройства судов с горизонтальной грузообработкой. Ч.1. Аппарели. Уч. пособие. - Николаев. 1984, 104с.
7. Корованов Ю.Н., Зайцев В.В., Специальные устройства судов с горизонтальной грузообработкой. Ч.2. Закрытия грузовых помещений. Подъемники. Уч. пособие. - Николаев. 1985, 97с.
8. Корованов Ю.Н., Гулько В.И., Магдина В. Характеристики пневматических кранцев при контакте с цилиндрическим бортом. "Труды НКИ", Вып. II6, - Николаев, 1976. стр. III - II5.
9. Корованов Ю.Н., Гулько В.И., Егорова Л.Г. Проектирование антикреново-кранцевого устройства. "Труды НКИ", Вып. I40. - Николаев. 1978. стр. 16-26.
10. Корованов Ю.Н. Экспериментальное определение упругих характеристик толстостенной эластичной трубы. "Судовые устройства системы и гибкие конструкции". - Николаев, 1982. стр. 50-54.
11. Корованов Ю.Н., Павлов Ю.С. Энергоемкость коробчатого привального бруса. "Судовые устройства, системы и гибкие конструкции". - Николаев. 1982. стр. 54-59.
12. Корованов Ю.Н., Павлов Ю.С. К расчету V - образных упругих кранцев. "Судовые мягкие и гибкие конструкции". - Владивосток. 1983. стр. 91-95.
13. Корованов Ю.Н. Особенности автоматизированного проектирования привальных брусьев. "Совершенствование судовых устройств и гибких конструкций". - Николаев. 1986. стр. 18-27.
14. Корованов Ю.Н. Привальный брус. Информационный листок

- о передовом производственно-техническом опыте. № 87-059, Вып. 2. Одесский ЦНТИ. 1987. стр. 1-4.
15. К о р о б а н о в Ю.Н. Расчет привальных брусьев D-образного сечения. Ресурсы межведомств. н-технич. сборник "Судостроение", Вып. 36. - Киев, Одесса. 1987. стр. 59-64.
16. К о р о б а н о в Ю.Н. Расчет цилиндрической оболочки, сжимаемой между параллельными плитами. "Совершенствование судовых устройств и гибких конструкций". - Николаев. 1987. стр. 30-38.
17. К о р о б а н о в Ю.Н. К проектированию эластичных привальных брусьев "Малотоннажное судостроение". - Николаев. 1988. стр. 63-67.
18. К о р о б а н о в Ю.Н. Автоматизированная схема расчета контактных усилий при швартовке. "Судостроение", № 9. 1988. стр. 23-24.
19. К о р о б а н о в Ю.Н., Т о л ы ш е в Э.В. К особенностям численного моделирования процесса швартовки. "Проектирование судов и судовых устройств". - Николаев. 1991. стр. 41-44.
20. М а г у л а В.Э., К о р о б а н о в Ю.Н. Приближенный расчет взаимодействия кранца с цилиндрическим телом. "Сообщения ЛМО", Вып. 24. ДВВИМУ. - Владивосток. 1973. стр. 3-18.
21. М а г у л а В.Э., К о р о б а н о в Ю.Н., П а в л о в Ю.С. Метод расчета резиновых привальных брусьев при оценке их надежности. "Надежность, трение и смазка судовых машин". - Николаев. 1982. стр. 30 - 41.
22. Т о л ы ш е в Э.В., К о р о б а н о в Ю.Н. К расчету судовых амортизационных устройств методом конечных элементов. "Автоматизированное проектирование судов и судовых устройств". - Николаев. 1990. стр. 29-36.
23. Т о л ы ш е в Э.В., К о р о б а н о в Ю.Н. Оценка эффективности расчета судовых амортизационных устройств методом конечных элементов. "Строительная механика корабля". - Николаев. 1990. стр. 43-52.
24. Т о л ы ш е в Э.В., К о р о б а н о в Ю.Н. Особенности проектирования средств амортизации многомодульных буксируемых систем "Проектирование средств освоения океана". - Николаев. 1991. стр. 17-21.

25. Толышев Э.В., Коробанов Ю.Н. Расчет пустотелого деформативного элемента эластичного привального бруса. "Проектирование судов и судовых устройств. - Николаев. 1989. стр. 38-47.
26. Толышев Э.В., Коробанов Ю.Н. Пути совершенствования цилиндрических эластичных кранцев и их креплений. "Морские технологии. - Николаев. 1992. стр. 71-76.
27. Magula V.E., Kazarezov A.J., Korobanov Y.N. State of the Art and Prospects of Further Development of Ship Protection Means Against Damages During Ship Joint Station at sea. IV-th IMAEM Congress, Bulgaria, Varna, 1987. III P.U. pp. 80-93.
28. Доценко В.Н., Журавлева Л.И., Магула В.Э., Коробанов Ю.Н. Устройство для зачета дрейфтерных сетей. Авт. св-во № I303104, 1986г.
29. Казарезов А.Я., Магула В.Э., Коробанов Ю.Н., Влaдинец Ю.Г. Судовое кранцевое устройство, Авт. св-во № I409519, 1983г.
30. Коробанов Ю.Н. Устройство для крепления объектов за бортом судна. Авт. св-во № 872376, 1981.
31. Коробанов Ю.Н., Магула В.Э., Федчуна А.П., Рудык В.И., Казарезов А.Я., Коробанова Т.Н. Привальный брус для защиты корпуса судна от повреждения при навале. Авт. св-во № I049346. 1983.
32. Коробанов Ю.Н., Магула В.Э., Казарезов А.Я. Кранцевое устройство. Авт. св-во № I209506. 1985.
33. Коробанов Ю.Н., Магула В.Э., Шелудяков А.А., Козлова Л.Л. Кормовая оконечность лихтеровоза. Авт. св-во № I298135. 1986.
34. Коробанов Ю.Н., Коробанова Т.Н., Барвинский С.В. Привальный брус. Авт. св-во № I369985. 1987.
35. Коробанов Ю.Н., Магула В.Э., Шелудяков А.А., Коробанова Т.Н. Кранцевое устройство лихтеровоза. Авт. св-во № I486396, 1989.
36. Коробанов Ю.Н., Машенко А.В. Кранцевое устройство буксира. Авт. св-во. № I512852. 1989.

37. К о р о б а н о в Ю.Н., К о р о л е н к о Ю.А., Т о л ы ш е в Э.В., Х л ы н о в Ю.А. Спускоподъемное устройство судна для много-модульных буксируемых систем. Авт. св-во № I736830. 1992.

38. К о р о б а н о в а Т.Н., К а з а р е з о в А.Я., К о р о б а н о в Ю.Н. Гидравлический кранец. Авт. св-во № II72324. 1985.

39. М а г у л а В.Э., К а з а р е з о в А.Я., К о р о б а н о в Ю.Н., Н е п е й в о д а В.Г. Судовой кранец. Авт. св-во № IO46I58. 1983.

40. М а г у л а В.Э., Н о в о с е л о в М.В., К о р о б а н о в Ю.Н., К о р о б а н о в а Т.Н. Устройство для закрепления объектов за бортом судна. Авт. св-во № 69275I. 1979.

41. К о р о б а н о в Ю.Н. Экспериментальное исследование упругих характеристик цилиндрической оболочки. Всесоюзная научно-техническая конференция по методам расчета изделий из высокоэластичных материалов. (Тезисы докладов). - Рига. 1980. стр. 50.

42. К о р о б а н о в Ю.Н. Метод расчета цилиндрической оболочки сжимаемой между параллельными плитами. Всесоюзная научно-техническая конференция "Методы расчета изделий из высокоэластичных материалов", (тезисы докладов). - Рига. 1986. стр. IO9-II0.

43. К о р о б а н о в Ю.Н. Расчет сферической оболочки эластичного тягового элемента. Всесоюзная научно-техническая конференция "Методы расчета изделий из высокоэластичных материалов". (Тезисы докладов). - Рига. 1989. стр. 97.

44. Т о л ы ш е в Э.В., К о р о б а н о в Ю.Н. Эффективность расчета судовых эластичных амортизационных конструкций стационарного исполнения методом конечных элементов. "Девятая Дальневосточная конференция по мягким оболочкам. (Тезисы докладов)". - Владивосток. 1991. стр. 67-68.

Особиста участь в дослідженнях. Основні наукові результати, які виносяться на захист отримані автором самостійно. Метод розрахунку, побудований на срижневій теорії деформування запропонован акакадеміком Магулою В.Е. і автором був опробований на ЕВМ. В експериментальних дослідженнях участь приймали к.т.н. Павлов Ю.С., інж. Соловьев А.М., в реалізації розрахунків приймали участь к.т.н. Толишев Е.В., к.т.н. доц. Цибенко Б.О.

Особиста участь в роботах, написаних в спів-авторстві. Особисто автором було виконано 11 наукових публікацій і отримано одне авторське свідоцтво. У інших публікаціях: в [35] автором була проведена апробація запропонованого методу розрахунку; в [36,37,40] сформульовані принципи адаптації методу кінцевих елементів з урахуванням незгискуємості матеріалу, та покровим навантаженням при розрахунках великих деформацій та формозмінень еластичних конструкцій; в [32,34] проаналізовані припущення, які доцільно використовувати в розрахунках тонких оболонок; в [10,39] автором розроблено метод розрахунку еластичних конструкцій, побудований на енергетичних відносинах теорії пружності.

#### А Н Н О Т А Ц И Я

Коробанов Ю.Н. "Проектирование эластичных конструкций судовых устройств". Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.08.03 - Проектирование и конструкция судов, Украинский государственный морской технический университет, Николаев, 1997.

Защищается совокупность научных исследований, (32 научные публикации, 12 авторских свидетельств), формирующих концепцию проектирования эластичных конструкций судовых устройств.

Различные эластичные конструкции судовых устройств обобщены и рассмотрены с единых проектных позиций, свойственных упругим несжимаемым материалам.

Предложены методы, разработана база проектирования, приводятся результаты экспериментальных исследований, дается сопоставление с ними.

Осуществлено внедрение разработанных алгоритмов в практику ряда ведущих проектных организаций.

43352

## A B S T R A C T

Korobanov Y.N. "Projecting elastic structure of ships equipments". The thesis for Doctor of Technical Sciences on Speciality 05.08.03 - Projecting and construction of ships, Ukrainian State Maritime Technical University, Nicolaev, 1997.

The whole complex of investigations (32 scientific publications, 12 patents), which forms the design conception of ship's equipment's elastic structures is defended in this thesis.

Different elastic structures of ship's equipments are summed up and considered from the common design position, characteristic to the elastic incompressible materials.

Scientific methods are offered a design groundwork is developed, results of experimental investigations are given as comparison with them is given too.

Introduction of the developed algorithms into practice of some leading design firms is made.

БЕЛКИ ДЕФОРМАЦІЇ, КІНЦЕВІ ЕЛЕМЕНТИ, СУДНОВІ ПРИБОРИ,  
ФОРМОЗМІНЕННЯ.