

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

ЗАЙЦЕВ ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 629.5.01+629.5.023

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОРСЬКОГО
ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗІВ**

спеціальність 05.08.03 - механіка та конструювання суден

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

МИКОЛАЇВ - 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант доктор технічних наук, професор Казарезов Анатолій Якович, Миколаївська філія Національного університету "Києво-Могилянська академія", завідувач кафедри економіки та економетрії

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Воробйов Юрій Леонідович**, Одеський державний морський університет, ректор

доктор технічних наук, професор **Сізов Віктор Григорович**, Одеська державна морська академія, професор кафедри теорії та устрою судна

доктор технічних наук **Соломенцев Олег Іванович**, Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, головний науковий співробітник

Провідна установа

Севастопольський державний технічний університет Міністерства освіти і науки України, м. Севастополь.

Захист відбудеться "15" жовтня 2001 р. о 14 годині 30 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект **Героїв** Сталінграда, 9,

Автореферат розісланий" _____ " 2001 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради доктор технічних наук, професор

Квасницький В.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розпад Радянського Союзу привів до того, що для України джерела енергоносіїв залишилися за кордоном - у Росії, Туркменії, Азербайджані, Казахстані. За даними Мінекономіки, Україна імпортує 15 % вугілля, 80 % природного газу, 90 % нафти, практично все паливо для АЕС.

Залежність України від імпорту енергоносіїв породжує в теперішній час найгострішу проблему диверсифікації зовнішніх джерел їхніх постачань, і в першу чергу нафти і газу. Національна програма видобутку і переробки нафтопродуктів "Нафта і газ України до 2010 року" і Постанова "Про Національну енергетичну програму України до 2010 року" передбачає створення нових шляхів постачань нафтопродуктів з альтернативних джерел. Створення в Україні системи морського транспортування газів судами-газовозами - це один з можливих варіантів диверсифікації.

Відсутність досвіду проектування, будівництва та експлуатації суден-газовозів, а також теоретичних основ проектування системи морського транспортування газів в Україні вказує на актуальність теми. Крім того, актуальність теми полягає в можливості створення в Україні системи морського транспортування газів суднами-газовозами і передумов для вітчизняної бази її проектування, експлуатації і будівництва, а також проектування і будівництва серії газозовів і забезпечення транспортного коридору через територію України з метою постачання зрідженого російського газу в Європу і Туреччину; можливості завантаження українських суднобудівних верфей, одержання великих прибутків від перевалки і транспортування зрідженого газу, створення Правил класифікації і побудови газозовів Регістра судноплавства України; можливості доставки газу від бурової установки до берегового сховища або споживача з малою собівартістю і відмови від дорогих морських трубопроводів; можливості використання існуючих морських газопроводів і берегових сховищ газу України в системі морського транспортування газів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дистанційна робота узагальнює результати досліджень, виконаних автором у рамках наступних планів: загального плану наукових досліджень по розробці методів розрахунку міцності суден нових типів Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова; Державного координаційного плану: "Енергоресурси і енергозбереження на водному транспорті України"; плану наукового напрямку "Розробка нормативної документації" під керівництвом Президента Академії наук суднобудування, ректора УДМТУ, д.т.н., професора Романовського Г.Ф.; у рамках госпдоговірних тем і держбюджетних науково-дослідних робіт на замовлення суднобудівних підприємств:

1. ГДГ № 848/ІУ "Розробка методики розрахунку зусиль у несучих елементах конструкцій судових СГШ для автономних підводних апаратів" (Ль ДР 01870001756); науковий керівник - автор, яким особисто розроблені зазначені розрахункові методики.

2. ГДГ № 06.1.П.550/І-85 "Правила побудови і обґрунтування оптимального архітектурно-конструктивного типу судна-газовоза" (№ ДР 77060823), відповідальний виконавець - автор, що виконав обґрунтування і проект Правил класифікації і побудови суден-газовозів із призматичними вкладними танками.

3. Держбюджетної НДР № 2/1280 "Розробка методів розрахунку міцності суден нових типів. Нові підходи до проектування суден-газовозів" (№ ДР 019711012955); науковий керівник - автор, яким особисто сформульовані і розроблені нові підходи до проектування суден-газовозів і методи розрахунків міцності вантажних танків і корпусних конструкцій суден-газовозів.

4. ГДТ № 1368 "Створення Правил класифікації і побудови суден Регістра (судноплавства України); виконавець - автор, що особисто створив розділ Правил Регістра судноплавства України "Судна-газовози".

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження - створення загальних методів теоретичних основ проектування і розрахунків, а також одержання науково-обґрунтованих результатів по принципово новій для української галузевої суднобудівної науки системи морського транспортування газів і її основних елементів з використанням у ній нового типу судна - газозовів з різними типами вантажних танків для збільшення

постачань газу з альтернативних джерел, а також збільшення обсягу транзиту газу через територію України й одержання прибутку. *Задачі дослідження.*

1. Створення стосовно до систем морського транспортування газів прикладних методів їхнього проектування і розрахунку.

2. Створення методів, математичних моделей, методик розрахунку і проектування, що враховують вплив на параметри систем морського транспортування газів, її головних елементів: суден-газовозів і особливостей їхньої конструкції і проектування; швартовних пристроїв; пристроїв захисту від ушкоджень корпусів газовозів і морських заводів збору і первинної підготовки газу до транспортування; спеціальних пристроїв суден обслуговування морських трубопроводів, які забезпечують їх ремонт, надійну і безпечну їхню експлуатацію з врахуванням специфічних зовнішніх навантажень.

3. Створення методів визначення маси і контрактної ціни циліндричних ємкостей берегових сховищ зрідженого газу, сферичних танків газовозів і морських заводів збору і первинної підготовки газу до транспортування.

4. Створення методів техніко-економічного обґрунтування систем морського транспортування газів для замовників з різними формами власності.

5. Створення методу розрахунку оптимальної швидкості газовозів у системі морського транспортування газів.

6. Розробка методів розрахунку міцності і алгоритмів чисельного дослідження напружено-деформованого стану основних елементів вантажних танків газовозів і морських заводів зрідження газу,

7. Розробка пакета прикладних програм, що дозволяють проводити машинне проектування системи морського транспортування газів у цілому і окремих його елементів.

8. Створення розділу Правил Регістра судноплавства України "Судна-газовози".

9. Розробка загальної концепції проектування систем морського транспортування газів і практичних рекомендацій з їхнього проектування.

Об'єктом дослідження є проблема диверсифікації постачань газу в Україну.

Предметом дослідження є системи морського транспортування газів різних конфігурацій і складові їхні елементи.

Методи дослідження прийняті аналітичні. Для досягнення поставленої в роботі мети використані наступні методи і теорії.

1. Теорія і методи оцінки ефективності проектних рішень у суднобудуванні, а також теорія ефективності капіталовкладень - при розробці в другому розділі техніко-економічних питань проектування системи морського транспортування газів і в третьому розділі при розробці техніко-економічного обґрунтування можливості і доцільності проектування, побудови і експлуатації суден-газовозів.

2. Моментна і безмоментна теорії і метод кінцевих елементів розрахунку оболонок обертання - при розробці методики визначення контрактної ціни циліндричної оболонки ємкості збору і первинної підготовки газу до транспортування в другому розділі; при розробці методів врахування впливу маси і вартості сферичних вкладних танків морського заводу, оцінки впливу надійної і безпечної експлуатації сферичних вкладних танків газовозів на параметри системи морського транспортування газів у шостому розділі.

3. Математико-обчислювальні методи теорії оптимізації суден - при розробці теоретичних основ проектування систем морського транспортування газів різних конфігурацій у четвертому, шостому і сьомому розділах.

4. Теорія і методи дослідницького проектування кораблів - при розробці методів врахування особливостей конструкції і проектування газовозів з різними танками в четвертому і п'ятому розділах дисертації.

5. Теорія і методи проектування систем - при розробці теоретичних основ проектування систем морського транспортування газів різних конфігурацій у четвертому, шостому і сьомому розділах.

6. Теорія і методи розрахунків міцності, втомливої довговічності, стійкості конструкцій корабля - при розробці проекту Правил Регістра судноплавства України в п'ятому розділі.

7. Теорія і методи розрахунку гнучких зв'язків - при розробці теоретичних основ проектування системи морського транспортування газу з конфігурацією сухопутний газопровід - газозовози - морський плавучий завод регазифікації - морський газопровід - підземне сховище газу - сухопутний газопровід у сьомому розділі дисертації.

8. Теорія і методи розрахунку суднових пристроїв - при розробці теоретичних основ проектування систем морського транспортування газів з конфігураціями: плавуча бурова установка - газозовози - сухопутний газопровід у шостому розділі; сухопутний газопровід - газозовози - морський плавучий завод регазифікації - морський газопровід - підземне сховище газу - сухопутний газопровід у сьомому розділі дисертації.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше у вітчизняній суднобудівній науці вирішена важлива прикладна проблема - створено теоретичні основи проектування і розрахунку систем морського транспортування газів різних конфігурацій, а також принципово нових з точки зору конструктивних і експлуатаційних особливостей головних їхніх елементів. При цьому враховані особливості газів, які транспортуються, вплив їх випару на основні елементи газозовозів. Відмінність отриманих результатів від відомих раніше в тому, що створено теоретичні основи проектування систем морського транспортування газів, яких не було раніше. Вони дозволяють враховувати вплив багатьох факторів на параметри системи. В окремих розрізнених зведеннях у зарубіжній і вітчизняній літературі при дослідженні систем морського транспортування враховувалися тільки деякі фактори, що впливають на параметри системи, і при цьому вони були зафіксовані.

2. Вперше у вітчизняній суднобудівній науці вирішені питання комплексного з'єднання окремих етапів проектування системи морського транспортування газів і головних її елементів у єдиний автоматизований послідовний ланцюг методів і програм, що дозволяють об'єднати зусилля різних фахівців у пошуках оптимального проекту як системи в цілому, так і головного її елемента - газозовоза, з точки зору економіки й оптимальної витрати сировини. Відомі раніше результати не дозволяли створювати автоматизовану систему проектування, не оптимізувались параметри системи.

3. Удосконалено диференційний метод оцінки економічної ефективності суден-газозовозів у системі морського транспортування газів. Раніше такий метод не застосовувався в теорії проектування суден-газозовозів.

4. Вперше отримані емпіричні залежності для визначення основних характеристик газозовозів. Раніше в основному існували тільки графічні залежності.

5. Розроблено і науково обґрунтовано метод оптимізації параметрів флоту газозовозів з урахуванням специфіки його експлуатації та метод оптимізаційних розрахунків головних елементів суден-газозовозів у системі морського транспортування для замовників з різними формами власності, що раніше не досліджувалося.

6. Вивчено і обґрунтовано на основі техніко-економічного аналізу і умов роботи закономірності вибору маршруту системи морського транспортування газу, типу танків і місткості газозовозів, доцільність застосування в системах як основного елемента або газозовозів, або морських трубопроводів, доцільність використання в системах, які були побудовані раніше, підземних сховищ газу. При цьому проведено врахування властивостей газів, які перевозяться, вантажопотоків, можливості конкуренції з газопровідним транспортом. Раніше такі дослідження не проводилися.

7. Удосконалено математичні моделі, методи проектування і розрахунку швартовних пристроїв і пристроїв захисту корпусів газозовозів і морського заводу від ушкоджень. Набуло подальшого розвитку математичні моделі, методи проектування і розрахунку пристроїв, що забезпечують експлуатацію і ремонт морських трубопроводів. Раніше ці питання в теорії проектуванні систем морського транспортування не враховувалися.

Практичне значення отриманих результатів Розроблені методи розрахунку і проектування систем морського транспортування газів і газозовозів з різними танками та їх пристроїв, а також спеціальних пристроїв суден обслуговування морських трубопроводів можуть бути використані в проектних і конструкторських організаціях, на суднобудівних заводах, у комерційних фірмах, у судновласницьких компаніях, газотранспортних організаціях і студентами вищих навчальних закладів у навчальному процесі. Практична цінність роботи зв'язана з вирішенням важливого науково-виробничого завдання

методичного забезпечення розрахункового проектування систем морського транспортування газів і найважливіших їх елементів. Застосування розробленого комплексу програм відкриває ряд нових можливостей для досліджень в області вибору оптимальних характеристик систем морського транспортування газів, характеристик газозовів, експлуатації газозовів і морських заводів, зменшенню їхньої металоємкості, збільшенню виробничих можливостей суднобудівних заводів і проектних організацій, раціонального транспортування розроблювальних на родовищах корисних копалин. Результати досліджень, які отримані в роботі, надають можливість інженерам, конструкторам, проектувальникам і студентам проводити аналіз напружено-деформованого стану танків газозовів, виявляти і використовувати резерви міцності. Практичне застосування результатів дисертаційної роботи відображено в актах впровадження таких підприємств і організацій: ВАТ "Завод Океан" (попередня річна економічна ефективність складає 2,5 млн. USD, акт про впровадження додається), Регістр судноплавства України при розробці розділу Правил Регістра судноплавства України "Судна-газовози" (акт про впровадження додається), ПКБ "Прогрес" при розробці керівного документа РДВ5.2386-88 "Спуско-підйомні пристрої автономних підводних технічних засобів. Методика розрахунку міцності", ч.І і 2, при розробці "Методики розрахунку зусиль у несучих елементах конструкцій СПП" по ГДТ № 848/IV (річний економічний ефект від впровадження складає 159000 руб., довідка про впровадження додається), при виконанні ГДТ № О6.1.П.550/1-85. Крім того, "Методика розрахунку зусиль у несучих елементах конструкцій СПП" використана при розробці "Додатка до Правил класифікації і побудови населених підводних апаратів і глибоководних водолазних комплексів Регістра СРСР". Основні матеріали дисертаційної роботи впроваджені в НДР № 2/1280 (акт додається), у ГДТ № 1368. Впровадження методів проектування систем морського транспортування газів, проектування газозовів і їхніх пристроїв, спеціальних пристроїв суден обслуговування морських трубопроводів, пристроїв морських заводів у навчальний процес кафедри морських технологій дозволило використовувати їх при виконанні курсових і дипломних проектів, у НДР студентів, при підготовці навчальних курсів "Суднові пристрої і системи", "Пристрої сучасних суден", "Перевезення небезпечних вантажів", "Техніко-економічне обґрунтування проектно-конструкторських рішень", при написанні 7 навчальних посібників у УГМТУ за спеціальностями 7.100.201 і 7.100.202 (акт додається).

Особистий внесок дисертанта. Всі положення і висновки, математичні моделі, методики і методи розрахунків, аналітичні і емпіричні залежності, програми розрахунків і їхні результати, які виносяться на захист, розроблені і належать особисто автору. З робіт, опублікованих у співавторстві, на захист виносяться тільки ті частини, що розроблені особисто автором. Основні результати досліджень викладені в двох монографіях: Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н. Судна-газовози. (ISBN 5-7355-0192-5, тираж 1400 прим.) - Л.: Судостроение, 1990. - 304 с. (особисто написані Зайцевим В.В. глави 2, 4, 5 обсягом 8,52 уч.-вид. л.); Судовые устройства. Справочник //Под. ред. М.Н. Александрова. (ИСБН ББК 39.42 С89, тираж 10000 прим.) - Л.: Судостроение, 1987. - 656 с. (особисто написані Зайцевим В.В. глави 8, 9 обсягом 9,1 уч.-вид. л.); 7 навчальних посібників (сумарним обсягом 29,5 уч.-вид. л., особисто написані Зайцевим В.В. 20 уч.-вид.л.). У статтях, написаних у співавторстві з Коробановим Ю.М., Мартинцем Б.М., Коганом І.М., Ткачовою П.Є., Зайцевим Вал.В., Грибьонкіним І.А., Казарезовим А.Я., Галустовим К.З., Абаджаном К. А., Усачевим І.М., Павловим А.Б., Риловим І.І., Романовським Г.Ф., Квасницьким В.Ф., Яремійчуком Р.С. автору належать постановка задач, математичні моделі, методи розрахунків, виводи всіх залежностей, аналіз результатів і висновки, що становить 90 % змісту. В авторському свідоцтві у співавторстві з Коробановим Ю.М., В.Д., Риловим І.І., Галустовим К.З., Разумним В.В. автору належить матеріал по конструктивним схемам плавучих платформ.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації були апробовані на Міжнародному Ростокському суднобудівному технічному симпозиумі "Schiffbauforschung, Wissenschaftlich - technische mitteilungen: Fortschritte der Schiffstechnik

in Theorie - Experiment - Praxis, 3. bis 6 Oktober 1989 in Rostode an der Sektion Schiffstechnik" (Німеччина, Росток, 3-6 жовтня 1989 р.). Міжнародному науково-практичному симпозиумі "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення" (Україна, Миколаїв, 8-10 жовтня 1997 р.), Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу УДМТУ (Миколаїв, 20 - 24 квітня 1998 р.), на Міжнародній конференції по математичному моделюванню "Фізико-технічні і технологічні додатки математичного моделювання" (Україна, Херсон, 3 - 6 вересня 1998 р.), на Міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні керуючі системи і технології" (Україна, Миколаїв, 8-11 вересня 1998 р.), науково-технічних конференціях МКІ - УДМТУ, СевДТУ в 1977 - 1997, 1999 р.р., на II Міжнародній конференції "Тектоніка і нафтогазоносність Азово-Чорноморського регіону в зв'язку з нафтогазоносністю пасивних окраїн континентів" (Україна, Крим, Гурзуф, 5-8 вересня 2000 р.), на 6 Міжнародній науково-практичній конференції "Нафта і газ України" (Україна, Івано-Франківськ, 31 жовтня - 3 листопада 2000 р.), на 4 Міжнародній виставці-симпозиумі "TransUkraine'2000" (Україна, Одеса, 17-20 жовтня 2000 р.), на семінарі департаменту кораблебудування СевДТУ (Севастополь), на засіданнях кафедри морських технологій і НТР по кораблебудуванню УДМТУ (Миколаїв).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 41 друковану наукову працю. Основні результати дослідження викладені в 2 монографіях, 7 навчальних посібниках, 25 статтях у наукових спеціальних виданнях (з них 13 - без співавторів), 1 авторському свідоцтві на винахід, 6 публікаціях в матеріалах Міжнародних науково-практичних симпозиумів (з них 2 - у Німеччині).

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел з 246 найменувань, 11 додатків і містить 353 сторінки машинописного тексту, з них - 319 сторінок основного тексту, 125 рисунків, 17 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами, темами, вказується роль автора у виконанні науково-дослідних робіт і тем. Формулюються мета і задачі дослідження. Описуються об'єкт, предмет і методи дослідження, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, що виносяться на захист. Вказується особистий внесок дисертанта. Наведені відомості про апробацію результатів роботи, публікації автора по її темі.

У першому розділі дисертації проведено аналіз стану транспортування газу морем, перспективи видобудовування і транспортування нафти і газу в Україні. Наведено характеристику основних світових родовищ і вантажопотоків. Показано, що незважаючи на великі потенційні паливно-енергетичні ресурси, Україна і у майбутньому залишиться їхнім імпортером.



Рис.1. Схеми світових систем морського транспортування нафтопродуктів

Якщо розглядати світові морські транспортні системи, то по обсягам перевезених нафти і нафтопродуктів, включаючи перевезення зріджених газів, системи їхнього морського транспортування знаходяться на першому місці (рис 1). На їхню частку приходить біля половини усіх світових морських перевезень. Наводяться дані по довжині морських ділянок основних світових систем морського транспортування газів і щорічні обсяги перевезень газозаходами на них.

Описано фізичні і хімічні властивості газів, особливості їхнього транспортування в зрідженому стані. Газ, що транспортується, можна розділити на такі типи: природний; зріджений природний (ЗПГ або LNG - Liquefied Natural Gas); зріджений нафтовий (ЗНГ або LPG - Liquefied Petroleum Gas); аміак. Приводяться специфічні для газотранспортних систем і їхніх елементів визначення і пояснення,] наведено к класифікацію і характеристику:

- газотранспортна система - система транспортування природних і нафтових газів, а також аміаку від місця їхнього видобутку до споживача в зрідженому | або газоподібному стані, до складу якої входить два або більше видів транспорту;
- система морського транспортування газів - газотранспортна система, коли уся вона або її частина проходить через морську перешкоду;
- судно-газовоз - спеціалізоване океанське, морське або річкове судно, що перевозить природні і нафтові гази, а також аміак наливом у зрідженому стані. Надалі ці судна будуть позначатися терміном "газовоз".

Системи морського транспортування газів можуть бути таких конфігурацій:

- сухопутний газопровід - газозаходи - сухопутний газопровід;
- сухопутний газопровід - газозаходи - сухопутний газопровід - газозаходи сухопутний газопровід;
- сухопутний газопровід - морський газопровід - сухопутний газопровід;
 - морський газопровід - сухопутний газопровід;
 - залізничний транспорт - газозаходи - сухопутний газопровід;
 - залізничний транспорт - газозаходи - залізничний транспорт;
- плавуча бурова установка (ПБУ) - морський завод збору і первинної підготовки газу до транспортування (морський завод зрідження і збереження газу) - газозаходи - сухопутний газопровід;
- сухопутний газопровід - газозаходи - морський плавучий завод регазифікації - міський газопровід - підземне сховище газу - сухопутний газопровід.

Описуються конструктивні особливості головного елемента системи - газозахода (рис.2). Приведено класифікацію газозаходів, описані різні їх типи.

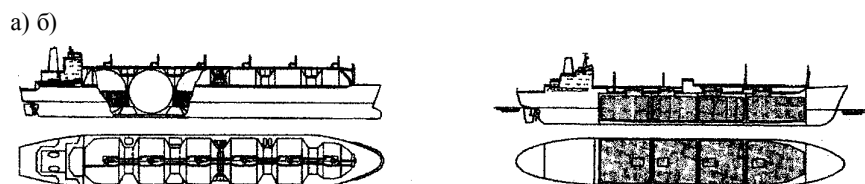


Рис.2. Газозаходи з вкладними танками: а - із сферичними; б - із

Розглянуто постановку задачі дослідження в дисертації. Описується стан досліджуваної проблеми. Приводиться принципова схема методики досліджень.

В **другому розділі** виконано порівняльний техніко-економічний аналіз транспортування газу з району видобутку або з порту навантаження в Україну га-

зопроводами і газовозами. Проведено техніко-економічне обґрунтування будівельної вартості газопровідного транспорту і виконано техніко-економічне обґрунтування постачань газу трубопровідним транспортом.

Розглянуто питання попереднього техніко-економічного обґрунтування проектування системи морського транспортування газів, що складається з таких елементів: газопроводу від місця видобутку до заводу зрідження газу, заводу зрідження газу (заводу первинної підготовки газу до транспортування), перевальної бази в порту навантаження (сховищ, які складаються з ємкостей збору і первинної підготовки газу до транспортування), портів споруджень, флоту газовозів, сховищ у порту вивантаження, установки (заводу) регазифікації в порту вивантаження.

Одним з головних елементів у системі морського транспортування газів є сховища газу в портах навантаження і вивантаження. Найчастіше берегові сховища виготовляють з 9 % нікелевої сталі і встановлюють або на поверхні землі, або під її поверхнею. Споруджуються сховища з циліндричних ємкостей місткістю від 2 до 5 тис.м² зрідженого газу. Розрахунок таких ємкостей і розглянуто у роботі.

На основі моментної і безмоментної теорій розрахунку оболонок обертання розроблені математична модель і програма в системі Mathcad розрахунку міцності циліндричних берегових ємкостей, розташованих під поверхнею землі. Результати розв'язання задачі представлено в графічному виді для оболонки ємкістю 5000 м³ при таких вихідних даних: $\delta_c = 45 \cdot 10^{-3}$ м; $\delta_u = 45 \cdot 10^{-3}$ м; $R_c = 6.801$ м; $R_u = 6.8$ м; $S_0 = 26$ м; $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu = 0.28$; $p_{гас} = 1.7 \cdot 10^6$ Па (тут позначено: δ_c – товщина оболонки сферичної частини, м; δ_u – товщина оболонки циліндричної частини, м; E – модуль пружності матеріалів оболонок, Па; μ – коефіцієнт поперечної деформації; R_u – радіус циліндричної частини оболонки, м; R_c – радіус оболонок сферичної частини, м; S_0 – довжина циліндричної частини оболонки, м; p – розрахунковий

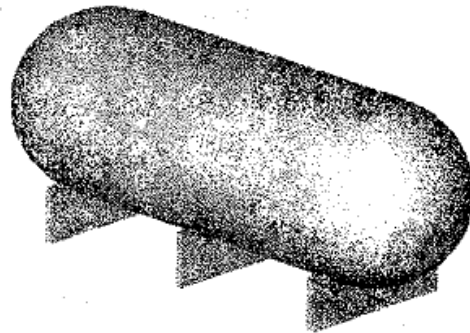


Рис. 3. Наземна ємкість сховища газу

тиск парів газу, Па). Максимальні головні розрахункові напруження – 397,5 МПа.

За допомогою методу кінцевих елементів розроблені математична модель і проведено розрахунок наземної оболонки ємкості сховища газу (рис.3). Ємкість, навантажена розрахунковим тиском парів газу, гідростатичним тиском зрідженого газу, силою тяжіння ємкості.

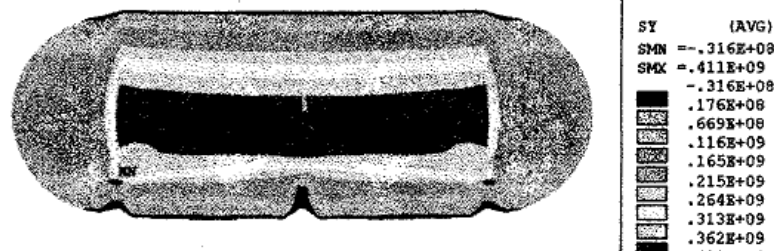
Для розв'язання розглянутої задачі використовується параметричне твердотільне моделювання, підтримуване програмою розрахунку за МКЕ. Твердотільна модель - це циліндрична оболонка з напівсферичними кінцевостями, що представляє собою сполучення 56 поверхонь. Опори розташовані посередині довжини ємкості і симетрично середині в місці стикувань циліндричної її частини зі сферичними частинами. В якості кінцевого елемента приймається 8-вузловий оболонковий кінцевий елемент. Після розбивки твердотільної моделі на кінцеві елементи отримано її кінцево-елементний аналог для розрахунку міцності з такими характеристиками: кількість кінцевих елементів - 2207; кількість вузлових точок - 6623; характерний розмір кінцевих елементів - 1000 мм.

Використовуючи вихідні дані по кінцево-елементному аналогу твердотільної моделі, дані по зовнішніх силах і обмеженням, накладених на кінцево-елементний аналог, виконано розрахунок міцності. При виконанні розрахунків використовується розв'язувальне рівняння статичного аналізу, записане у вигляді

$$[K] \cdot \{u\} = \{F\},$$

де $[K]$ – матриця жорсткості; $\{u\}$ – вектор переміщень; $\{F\}$ – компоненти вектора сил.

Отримано напруження, деформації і переміщення в кожній вузловій точці і кожному кінцевому елементі. Рішення задачі отримано при таких вихідних даних: $\delta_c = 45 \cdot 10^{-3}$ м; $\delta_y = 45 \cdot 10^{-3}$ м; $R_c = 6,8$ м; $R_y = 6,8$ м; $S_0 = 26$ м; $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu = 0,28$; $p_{\text{роб}} = 1,7 \cdot 10^6$ Па; $B_{\text{оп}} = 0,5$ м (тут $B_{\text{оп}}$ – ширина опор, м). Максимальні напруження, що виникають у конструкції: $\sigma_x = 433$ МПа, $\sigma_y = 411$ МПа, $\sigma_z = 470$ МПа, $\tau_{xy} = 94,8$ МПа, $\sigma_{\text{тп}}^M = 519$ МПа. На рис.4 показано напруження σ_y , Па, які отримано в результаті розрахунку.



Приведено метод визначення контрактної ціни берегових ємкостей збору і первинної підготовки газу до транспортування. Розроблено програмне забезпечення розрахунків їхньої контрактної ціни. Наведено графіки контрактної ціни берегового сховища, що складається з 10 ємкостей, у залежності від середньої вартості 1 норми-години (при вартості 1 н/г, яка дорівнює 0,25 USD, контрактна ціна сховища сумарною місткістю 50000 м³, складає 35256000 USD).

Розроблено метод економічного обґрунтування системи морського транспортування газів газозазами на основі залежності:

$$z_c = c_c + E_n k_c + E_n \Gamma_c,$$

де z_c – приведені витрати на 1000 м³ газу, що транспортується, USD; c_c – собівартість транспортування 1000 м³ нестиснутого газу від місця видобутку до порту вивантаження, USD/1000 м³; k_c – питомі капіталовкладення в систему, USD/1000 м³; E_n – галузевий нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень у систему морського транспортування газу, що враховує річний банківський відсоток за надані банком кредити; Γ_c – витрати, зв'язані з заморожуванням оборотних коштів, вкладених у газ на час його транспортування в системі, USD/1000 м³.

Доведено, що якщо доставка газу в системі морського транспортування буде здійснюватися газозазами українського державного пароплавства, то при 25 % прибутку в ціні транспортування, регазифікації і збереження в порту вивантаження на лінії Алжир – Південний, ціна газу в порту Південний складе 45,39 USD/1000 м³.

У третьому розділі представлено уточнене техніко-економічне обґрунтування можливості і доцільності проектування, побудови і експлуатації газове́за! України для замовників з різною формою власності. Для державних замов розроблено диференціальний метод економічної ефективності газове́зів у системі морського транспортування газів.

Диференціальний метод оцінки економічної ефективності газове́зів де на будь-якій стадії їхнього проектування оцінювати вплив тієї або іншої корисної функції судна на приведені витрати, визначати в цілому найбільш економія варіант проекту, що відповідає цим функціям.

Диференціал економічної ефективності газове́за:

$$dz = \frac{\partial z}{\partial v_{\text{зкс}}} dv_{\text{зкс}} + \frac{\partial z}{\partial \eta_{DW}} d\eta_{DW} + \frac{\partial z}{\partial C_{\text{адм}}} dC_{\text{адм}} + \frac{\partial z}{\partial t_{\text{ст}}} dt_{\text{ст}} + \frac{\partial z}{\partial C_{\tau}} dC_{\tau} + \frac{\partial z}{\partial T_{\text{зк}}} dT_{\text{зк}}, \quad (1)$$

де z – приведені витрати в гривнях на 1 т річної провізної спроможності судна;
 $v_{\text{зкс}}$ – експлуатаційна швидкість газове́за в системі морського транспортування;
 η_{DW} – коефіцієнт утилізації водотоннажності за дедвейтом; $C_{\text{адм}}$ – адміралтейський коефіцієнт; $t_{\text{ст}}$ – стоянковий час у портах навантаження і вивантаження; C_{τ} – вартість 1 т палива; $T_{\text{зк}}$ – тривалість експлуатаційного періоду газове́за.

Приведені витрати в (1) розглянуто як деяка функція шістьох незалежних змінних ($v_{\text{зкс}}$, η_{DW} , $C_{\text{адм}}$, $t_{\text{ст}}$, C_{τ} , $T_{\text{зк}}$). За допомогою диференціального методу оцінки економічної ефективності газове́зів у системі морського транспортування газів проведено розрахунок оптимальної швидкості газове́за, що перевозить аміак, із вкладними призматичними танками місткістю 37000 м³ на лінії протяжністю 3300 миль. Результати розрахунку оптимальної швидкості газове́за в системі морського транспортування газів представлено на рис. 5 (приведені витрати наведені в гривнях, швидкість – у вузлах). Приведено результати розрахунків для газове́зів місткістю 22000 м³, 57000 м³, 75000 м³, 100000 м³ на лінії протяжністю 3300 миль. Наведено аналіз отриманих результатів. Зростання швидкості ходу газове́зів у системі морського транспортування визначається зростанням їх вантажомісткостей, що підтверджується статистичними даними. Таким чином, підтверджена достовірність отриманих результатів. Створено програмне забезпечення.

Розроблено метод уточненого техніко-економічного обґрунтування при проектуванні, побудові і експлуатації газове́зів для недержавних замовників, коли показником ефективності судна є критерій еквівалентної процентної ставки. Чим вище еквівалентна ставка, тим краще

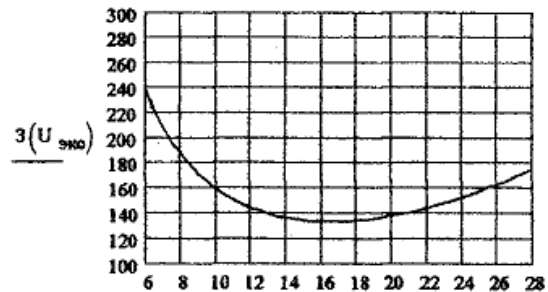


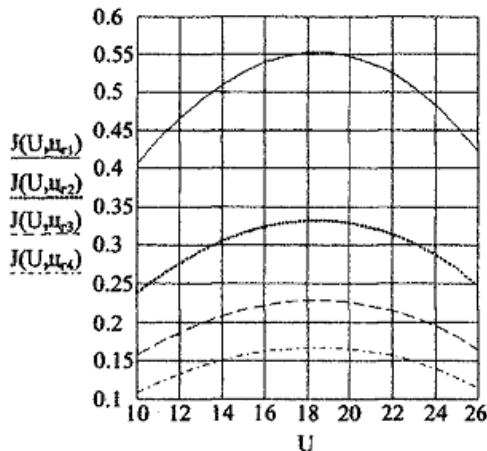
Рис. 5. Залежність $z(u_{\text{зкс}})$ від $u_{\text{зкс}}$ газове́зу $W = 37000 \text{ м}^3$

проект газовеоза, що замовляється. Шукана еквівалентна процентна ставка j визначається розв'язанням рівняння

$$\frac{ПР}{Ц_r} = \frac{j(1+j)^{CЭ}}{(1+j)^{CЭ} - 1}, \quad (2)$$

де $ПР$ – річний прибуток судновласника відповідно до законів України; $Ц_r$ – ціна транспортування 1 м^3 зрідженого газу; $СЭ$ – термін експлуатації судна.

За допомогою даного методу проведено розрахунок оптимальної швидкості газовеоза, який перевозить аміак, із вкладними призматичними танками місткістю 37000 м^3 на лінії протяжністю 3300 миль, виходячи з еквівалентної процентної ставки j . Результати розрахунку оптимальної швидкості газовеоза в системі морського транспортування газів наведено на рис. 6. Як параметр прийнято контрактну ціну газовеоза ($Ц_{r1} = 25 \cdot 10^6 \text{ USD}$, $Ц_{r2} = 40 \cdot 10^6 \text{ USD}$, $Ц_{r3} = 55 \cdot 10^6 \text{ USD}$, $Ц_{r4} = 70 \cdot 10^6$



USD). Із зростанням контрактної ціни газовеоза еквівалентна процентна ставка зменшується, а оптимальна швидкість при цьому практично не змінюється. Оптимальна швидкість газовеоза, яка визначена для недержавного замовника ($U = 18,5 \text{ уз}$), більше, ніж для державного ($U = 16,5 \text{ уз}$). Створено програмне забезпечення.

Приводяться спеціальні вимоги, які пред'являються до конструкцій, матеріалів корпусів газовеозів і танків, а також до їх ізоляції,

Рис. 6. Результати розрахунку j дані з матеріалів танків. Описано принципову технологію виготовлення і монтажу сферичного танку. Розглянуто можливості і перспективи побудови газовеозів на верфях України та основні проблеми і особливості їхнього проектування в системі морського транспортування газів.

У четвертому розділі розроблені теоретичні основи проектування системи морського транспортування газу з конфігурацією сухопутний газопровід – газовеоз – сухопутний газопровід. Розроблено метод оптимізації елементів флоту газовеозів у системі морського транспортування газів для державного замовника, що враховує такі особливості газовеозів: випар вантажу під час переходу; витрати газу на забезпечення баластового переходу, використання його в ЕУ та в установках повторного зрідження; конструкцію вантажоутримувальної зони; високу вартість танків. Описано математичну модель, що реалізує постановку і розрахункові залежності задачі визначення таких оптимальних параметрів флоту газовеозів як елемента системи морського транспортування газу, який перевозить зріджений газ на заданій лінії: N_Φ – кількість суден у складі флоту газовеозів; W_i – розрахункова вантажомісткість кожного судна, м^3 ; головні елементи газовеоза вантажоміст-

кістю $W_2(L(U_{\text{зкс.опт}}), B(U_{\text{зкс.опт}}), T(U_{\text{зкс.опт}}), H(U_{\text{зкс.опт}}), \delta(U_{\text{зкс.опт}}))$; z_0 – приведені витрати для флоту газозовів, грн./м³; U – експлуатаційна швидкість ходу суден, уз.

У якості вихідних даних прийняті властивості газу, який перевозиться, і всі необхідні величини, які характеризують особливості системи морського транспортування газів і газозовів для державних замовників (всього 57 вихідних даних). Змінні величини: U , уз; n – річна кількість рейсів кожного судна; W_1 – об'єм зрідженого газу за один рейс, який вивантажується одним судном, м³; t_x – ходовий час одного судна за рейс, доба; L – довжина між перпендикулярами, м; B – ширина, м; T – осадка, м; H – висота борту до верхньої палуби, м; δ – коефіцієнт загальної повноти судна; $x = (L, B, T, H, \delta)$ – узагальнене позначення всіх змінних величин.

Основні обмеження:

- рівняння плавучості $D(x) = \sum P_i(x)$, де $D(x)$ – вагова водотоннажність судна, т; $P_i(x)$ – складові вагового навантаження, т;
- рівняння місткості, що забезпечує вимогу вибору мінімальної висоти борту газозова з умов заданої вантажомісткості $W_2(x)$, м³, $H_{\min} = H = f_W(x)$, де $H_{\min}$ – мінімальна висота борта, м; $f_W(x)$ – функція місткості;
- рівняння остійності, виражене у вигляді необхідного максимально можливого з умов припустимої качки відношення B/T : $B/T = f_{B/T}(x)$, де $f_{B/T}(x)$ – максимально можливе відношення B/T ;
- рівняння забезпечення плавності качки газозова $h/B = f_{h/B}(x)$, де $f_{h/B}(x)$ – значення h/B , що знаходиться з умов плавності качки газозова; h – початкова метацентрична висота, м, $0,03 \leq h/B \leq (h/B)_{\max}$;
- рівняння (ходовості), що зв'язує довжину газозова і його швидкість (число Фруда Fr) з коефіцієнтом загальної повноти $\delta = f_{Fr}(x)$;
- система чотирьох рівнянь з чотирма невідомими (n , U , W_1 , t_x):

$$n = W_{\text{голл}} / W_1; \quad U = \frac{nR}{24T_{\text{зк}}}; \quad t_x = \frac{R}{24U}; \quad W_1 = \frac{W_2 - (0,5W_2 a_3 t_x + 0,5W_2 a_3 t_{\text{ст.п}} + W_{\text{вл}})}{0,5W_2 a_3 / \Pi + 1}, \quad \text{де}$$

$W_{\text{голл}} = W_\phi / N_\phi$ – річний вантажопотік кожного судна флоту, м³; $\Pi = 0,08 \cdot 24W_2$ – продуктивність вантажної системи газозова, м³/добу; $W_{\text{вл}} = 0,05W_2$ – об'єм газу, залишений на баластовий перехід, м³; $t_{\text{ст.п}} = W_2 / \Pi$ – час стоянки судна в порту навантаження, доба; W_ϕ – річний вантажопотік зрідженого газу, м³.

Додаткові обмеження: до основних критеріїв необхідно додати обмеження необхідної потужності енергетичної установки N , кВт, деякої максимально можливою величиною $N(x) < N_{\max}$, а також $(L/B)_{\min} \leq L/B < (L/B)_{\max}$. Специфікаційна швидкість газозова не повинна перевищувати $U = 2,2\sqrt{L}/1 + 0,35(L_1/100 - 1)^{2/3}$. При $L \leq 100$ м $L_1 = 100$ м; при $L > 100$ м $L_1 = L$, м.

Проектування газовозів, їхніх корпусних конструкцій і призматичних танків до них допускається по розробленому методу для суден довжиною від 90 до 500 м при: $L/H \leq 14$; $B/H \leq 2,5$; $0,65 \leq T/H \leq 0,8$; $C_s \geq 0,6$. В якості критеріїв задачі розглядаються приведені витрати $f_s(x)$, грн./т, $f_s(x) \rightarrow \min$, де $f_s(x) = z(x) = c(x) + E_n k(x) + E_n r(x)$. Отримано шукану систему дев'яти рівнянь з дев'ятьма невідомими з урахуванням додаткових обмежень і критерію.

Розв'язується задача змішаного типу. У якості варійованих параметрів обрані: W_s і N_ϕ . Для кожного сполучення $\{W_s, N_\phi\}$ величини U_s, n, W_1 (з врахуванням випару газу під час рейсу і залишків газу, необхідного для баластового переходу газовоза), t_x знаходяться з аналітичного розв'язання системи чотирьох рівнянь з чотирма невідомими (n, U_s, W_1, t_x):

$$U_s = \frac{-R}{24} \cdot \frac{k_3 T_{\text{жк}} + W_{\text{гол}} k_2}{T_{\text{жк}} (k_1 - W_s)}; \quad t_x = \frac{R}{24 U_s}; \quad W_1 = \frac{W_s - (k_3 t_x + k_1)}{k_2}; \quad n = W_{\text{гол}} / W_1,$$

де $k_1 = 0,5 W_s a_3 t_{\text{ст.п}} + W_{\text{мл}}; k_2 = 0,5 W_s a_3 / \Pi + 1; k_3 = 0,5 W_s a_3$.

Далі всі залежності, що входять у систему дев'яти рівнянь, записуються у функції від L, B, T, H, δ і виводяться з врахуванням вимог законодавства України.

Розв'язання задачі проводиться в наступній послідовності:

- задаються вихідні дані;
- при заданому сполученні $\{W_s, N_\phi\}$ визначаються U_s, n, W_1, t_x ;
- задається інтервал U_s ;
- для всього інтервалу швидкостей з врахуванням обмежень розв'язується система рівнянь і визначається для кожного значення швидкості з даного інтервалу п'ять невідомих основних елементів газовоза: $L(U_{\text{жк}}), B(U_{\text{жк}}), T(U_{\text{жк}}), H(U_{\text{жк}}), \delta(U_{\text{жк}})$;
- для кожної групи, визначених розв'язанням рівнянь основних елементів, обчислюються приведені витрати і $df_s(U_{\text{жк}})/dU_{\text{жк}} = dz(U_{\text{жк}})/dU_{\text{жк}}$, а також визначаються оптимальна $U_{\text{жк.опт}}$ для точки, у якій $dz(U_{\text{жк}})/dU_{\text{жк}} = 0$;
- для $U_{\text{жк.опт}}$ визначаються $L(U_{\text{жк.опт}}), B(U_{\text{жк.опт}}), T(U_{\text{жк.опт}}), H(U_{\text{жк.опт}}), \delta(U_{\text{жк.опт}})$;
- обчислюються інші елементи газовоза, який проектується;
- проводиться побудова розрахункових графіків;
- для отриманого набору значень приведених витрат флоту, що відповідають варійованим параметрам $\{W_s, N_\phi\}$ визначаються оптимальні шукані параметри флоту газовозів або зона припустимих значень цих параметрів близьких до оптимальних;
- здійснюється аналіз отриманих результатів.

Розроблено програмне забезпечення. Результати розрахунку оптимальних

параметрів флоту газозовів, які експлуатуються у системі морського транспортування газів "Алжир – Південний" при $W_{\Phi} = 25,641 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, наведені на рис. 7 – 11.

Як видно з рис. 9, для розглянутої лінії і розглянутого діапазону кількості газозовів, які експлуатуються у системі морського транспортування, оптимальний флот повинен складатися з 6 суден вантажомісткістю 105000 м^3 (точка А). Приводяться оптимальні елементи кожного з цих суден. Збільшення кількості суден у складі флоту з одночасним зменшенням їхньої вантажомісткості приводить до зростання

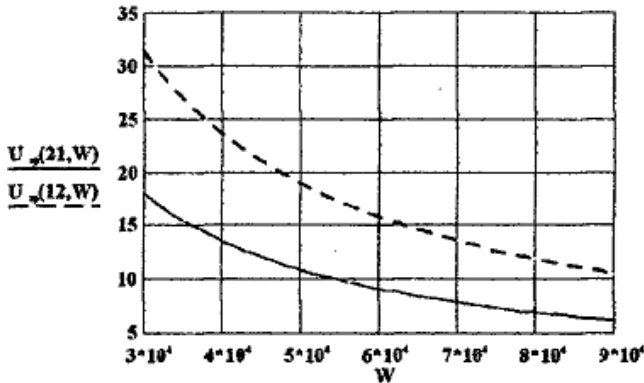


Рис. 8. Залежності швидкості ходу (уз) від W , для флоту газозовів з 12 і 21 судна. Приводяться оптимальні елементи кожного із суден цієї серії. Трикутник на графіку рис. 9, обмежений ізолінією 281,84 грн./т, осями N_{Φ} і W , з точками на них відповідно 9 су-

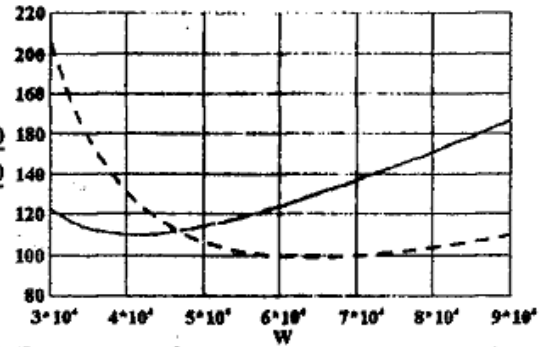


Рис. 7. Залежності приведених витрат (грн.) від W , для флоту газозовів з 12 і 21 судна

жовимісткості приводить до зростання приведених витрат і збільшенню надійності експлуатації системи морського транспортування. Лінія ABCD – це лінія мінімальної вантажомісткості кожного із суден флоту при їхній максимальній кількості. Мінімальна вантажомісткість газозова в цій системі – 37000 м^3 при 20 суднах, які експлуатуються на лінії. Приводяться

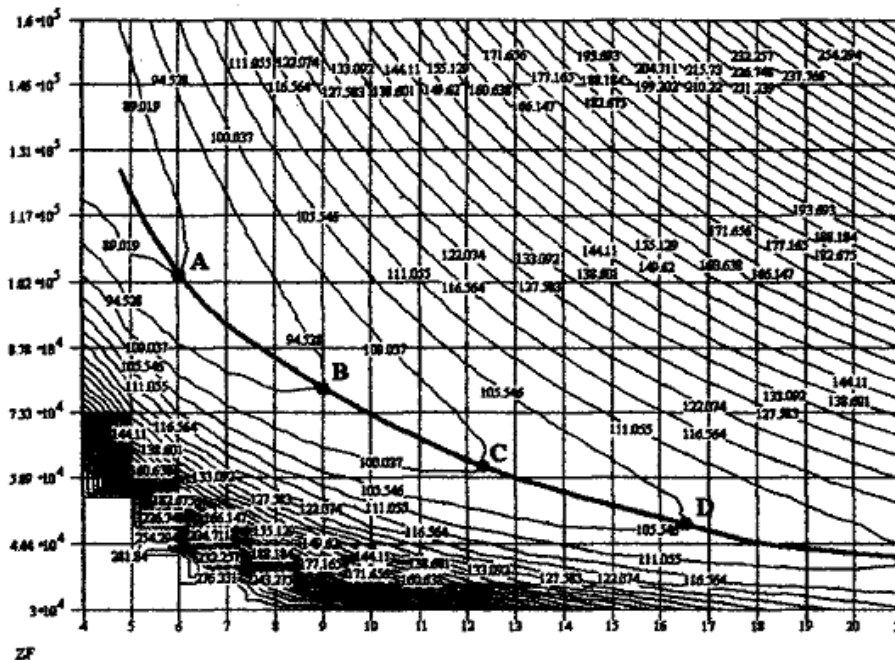


Рис. 9. Ізолінії приведених витрат (грн.) у залежності від числа суден на лінії (по горизонталі) і вантажомісткості кожного газозова

ден і місткістю 58000 м³ – область відсутності розв'язання оптимізаційної задачі.

Розроблено метод оптимізації елементів флоту газозовів при його експлуатації в системі морського транспортування газів для недержавного замовника, який враховує вплив контрактної ціни, величини еквівалентної процентної ставки, банківського проценту, очікуваної інфляції, підприємницького ризику. Як і в попередньому випадку вирішена задача змішаного типу.

У якості вихідних даних прийняті властивості газу, який перевозиться, і всі необхідні величини, що характеризують особливості системи морського транспортування газів і газозовів для недержавних замовників (всього 64 вихідних даних).

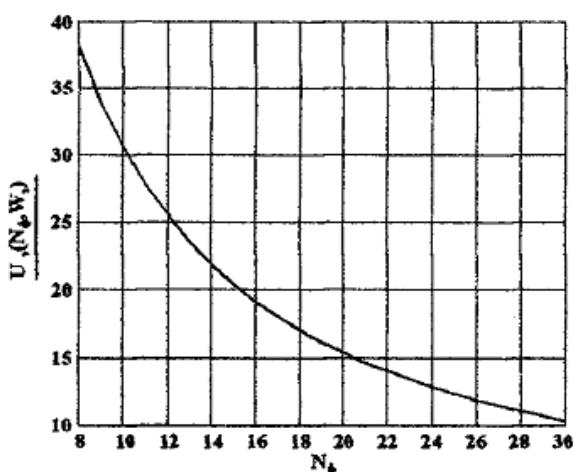


Рис. 11. Залежність швидкості судна (уз) від N_ϕ (при $W = 37000 \text{ м}^3$)

$f_e(x) \rightarrow \max$; $f_e(x) > 1$, де $f_e(x) = e / (b - i)$ – величина, що характеризує перевищення еквівалентної процентної ставки над реальною процентною ставкою; b – банківська процентна ставка, %; i – річний відсоток інфляції, %;

Розв'язання задачі, що складається із системи десяти рівнянь з десятима невідомими, проводиться в тій же послідовності як для державного замовника. Створено програмне забезпечення, результати приведені на рис. 12. В якості параметра прийнята контрактна ціна газозова ($C_{r1} = 25 \cdot 10^6 \text{ USD}$, $C_{r2} = 40 \cdot 10^6 \text{ USD}$, $C_{r3} = 55 \cdot 10^6 \text{ USD}$, $C_{r4} = 70 \cdot 10^6 \text{ USD}$).

Як видно з рис. 12, із зростан-

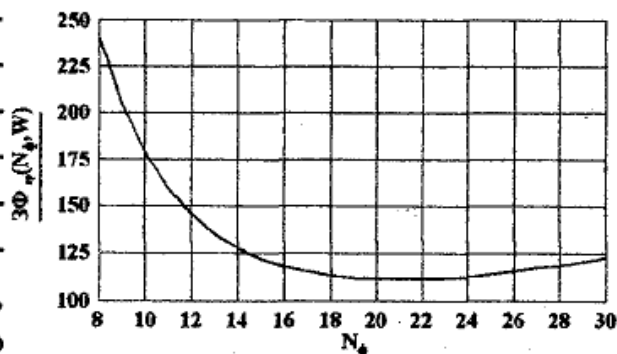


Рис. 10. Залежність приведених витрат (грн.) від N_ϕ (при $W = 37000 \text{ м}^3$)

ння газів і газозовів для недержавних замовників (всього 64 вихідних даних). Змінні величини: L, B, T, H, δ ; U ; n ; W ; t_x ; γ – еквівалентна процентна ставка, %; $x = (L, B, T, H, \delta)$ – узагальнене позначення змінних величин.

До основних обмежень, які описані у попередній задачі, додається рівняння (2), що визначає еквівалентну процентну ставку $j = \gamma$. Додаткові обмеження аналогічні попередній задачі. В якості критерію задачі розглядається величина e ,

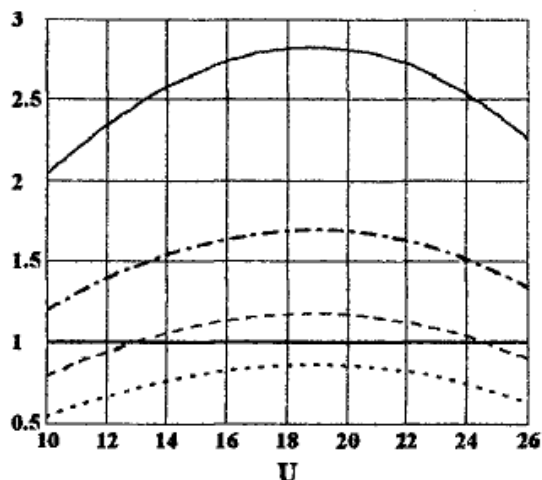


Рис. 12. Результати розрахунку e

ням контрактної ціни газозова величина e зменшується, а оптимальна швидкість при цьому практично не змінюється. Оптимальна швидкість газозова, що визначена для недержавного замовника ($U = 19$ уз) більше, ніж для державного ($U = 14,8$ уз). З перевищенням контрактної ціни $63 \cdot 10^6$ USD величина e стає менше 1, а значить вкладати гроші в будівництво такого газозову не має сенсу. Приводяться оптимальні головні елементи газозова $W = 37000 \text{ м}^3$.

Виконано врахування, відповідно до розробленої автором методики, особливостей конструкції і проектування газозовів із призматичними вкладними вантажними танками в задачі оптимізації елементів флоту газозовів при його експлуатації в системі морського транспортування газів. Створено програмне забезпечення. Приводяться розраховані відповідно до розробленого методу головні елементи газозова місткістю 37000 м^3 .

Автором отримані на підставі обробки статистичних даних ряд аналітичних залежностей для перевірки і уточнення головних елементів газозовів різних типів, які експлуатуються у системі морського транспортування газів, з урахуванням особливостей їхньої конструкції і проектування:

– довжина між перпендикулярами, м, для газозовів при $W \in (2,409 \cdot 10^3 ; 8,515 \cdot 10^4)$

$$L_{\perp} = 5,14361 \cdot 10^{-6} \sqrt{W^3} - 5,66424 \cdot 10^{-3} W + 2,15067 \sqrt{W} - 46,77761 ;$$

– довжина між перпендикулярами, м, для метановозів при $W \in (1,729 \cdot 10^3 ; 1,275 \cdot 10^5)$

$$L_{\perp} = -3,1366 \cdot 10^{-6} \sqrt{W^3} + 2,27668 \cdot 10^{-3} W - 4,05678 \cdot 10^3 / \sqrt{W} + 144,44326 ;$$

– ширина, м, для газозовів при $W \in (1,641 \cdot 10^3 ; 8,121 \cdot 10^4)$

$$B = -1,83274 \cdot 10^{-4} W + 0,16314 \sqrt{W} + 4,66315 ;$$

– ширина, м, для метановозів при $W \in (632,02 ; 1,3 \cdot 10^5)$

$$B = 3,63608 \cdot 10^{-7} \sqrt{W^3} - 3,11983 \cdot 10^{-4} W + 0,16704 \sqrt{W} + 6,68773 ;$$

– висота борту, м, для газозовів:

$$H = -197,1121 / \sqrt{W} + 0,04928 \sqrt{W} + 10,66697 \quad \text{при } W \in (5,889 \cdot 10^3 ; 1,298 \cdot 10^5) ;$$

$$H = -223,90902 / \sqrt{W} + 0,04754 \sqrt{W} + 9,76247 \quad \text{при } W \in (6,896 \cdot 10^3 ; 1,281 \cdot 10^5) ;$$

$$H = -335,39672 / \sqrt{W} + 0,04303 \sqrt{W} + 9,84253 \quad \text{при } W \in (9,866 \cdot 10^3 ; 1,275 \cdot 10^5) ;$$

$$H = -1,64941 \cdot 10^{-7} W^2 + 2,38729 \cdot 10^{-3} W + 2,64397 \quad \text{при } W \in (510,41 ; 3,743 \cdot 10^3) ;$$

$$H = -1,66495 \cdot 10^{-7} W^2 + 2,40569 \cdot 10^{-3} W + 1,27035 \quad \text{при } W \in (916,545 ; 6,986 \cdot 10^3) ;$$

– висота борту, м, для метановозів і етиленовозів:

$$H = -1,71388 \cdot 10^{-7} W^2 + 2,61443 \cdot 10^{-3} W + 1,49612 \quad \text{при } W \in (825,508 ; 7,524 \cdot 10^3) ;$$

$$H = -1,71229 \cdot 10^{-7} W^2 + 2,69553 \cdot 10^{-3} W - 0,3084 \quad \text{при } W \in (1,386 \cdot 10^3 ; 7,712 \cdot 10^3) ;$$

– коефіцієнт загальної повноти в залежності від числа Фруда $\delta(Fr)$:

$$\delta = 4,31058 Fr^2 - 2,8017 Fr + 1,17989 \quad \text{при } Fr \in (0,152 ; 0,289) ;$$

$$\delta = 4,29258 Fr^2 - 2,85843 Fr + 1,15758 \quad \text{при } Fr \in (0,133 ; 0,289) ;$$

$$\delta = 4,6457Fr^2 - 3,01681Fr + 1,13461 \quad \text{при} \quad Fr \in (0,115 ; 0,287).$$

Крім того, отримані аналітичні залежності для: маси металевого корпусу $P_k(LBH, м^3)_T$, і обладнання $P_{об}(LBH, м^3)_T$; коефіцієнта утилізації за дедвейтом η_{dw} для газовозів і метановозів; адміралтейського коефіцієнта C_{adm} ; коефіцієнта пито-
мої потужності $k(D, T)$, коефіцієнта $S(Rom)$, відносної осадки $t(D, T) = T/\sqrt[3]{D}$ газовозів і метановозів; ширини газовозів від їхньої довжини $B(L, м)_м$ і осадки $B(T, м)_м$; висоти борту газовозів від їхнього осадки $H(T, м)_м$ і довжини $H(L, м)_м$; коефіцієнта $k_{пор}(LBH, м^3)_{кг/м^3}$ для метановозів з мембранними і сферичними танками, для великих і малих газовозів; визначення маси танків ме-
тановозів і суден, що перевозять ЗНГ (виготовлених із хромомарганцевої і 9 % -
нікелевої сталі, з алюмінієво-магнієвих сплавів), $P_r(LBH, м^3)_T$ і ізоляції $P_{из}(W, м^3)_T$.

Розроблено методи врахування особливостей конструкції і проектування газовозів зі сферичними і мембранними танками, а також врахування впливу місткості баластових цистерн газовозів на їх головні розміри і параметри системи в задачі оптимізації елементів флоту газовозів при його експлуатації в системі морського транспортування газів. Отримано залежність для визначення сумарної місткості баластових цистерн газовозів. Розглянуто можливість врахування місткості, геометрії і розмірів баластових цистерн газовозів на їх головні розміри і параметри системи морського транспортування газів для різних замовників. Проведено порівняльну оцінку конструкцій газовозів.

У п'ятому розділі розроблені математичні моделі розрахунків міцності танків газовозів, що забезпечують надійну і безпечну їхню експлуатацію, і які дозволяють проводити уточнене врахування масових і міцносних характеристик корпусу і танків у задачі оптимізації елементів флоту газовозів в системі морського транспортування газів.

Розглянуто розрахункові статичні і динамічні навантаження, що виникають при експлуатації газовозів і морських заводів збору і первинної підготовки газу до транспортування. Розглянуто питання підсумовування навантажень, приведено визначення допустимих напружень. Розроблено математичні моделі розрахунків міцності вантажних танків типу А газовозів при проведенні уточненого врахування їх масових і міцносних характеристик. Розроблено проект Правил Регістра судноплавства України для газовозів. Достовірність усіх формул, рекомендованих для проекту Правил Регістра судноплавства України, підтверджена перевіркою розрахунків по них і порівнянням отриманих результатів з розмірами зв'язків на-наборів танків газовозів "Смольный" (місткістю 37000 м³) "Моссовет", "Ленсовет", "Вяртсиля" (місткістю 75000 м³) і Правилами Французького Бюро Верітас. Розроблено комбінований метод розрахунку міцності танків, заснований на розрахунку міцностних характеристик у декількох наближеннях у залежності від ступеня готовності проекту газовоза.

Розроблено метод уточненого обліку масових і міцносних характеристик вантажних танків типу В. Для визначення хвильових навантажень, що діють на танки газовозів, необхідно знати прискорення в їхніх розрахункових точках. Визначення прискорень, викликаних качкою судна на нерегулярному хвилюванні, і коефіцієнтів динамічності являє собою складну багатопараметричну і багатоваріантну задачу, чисельне розв'язання якої не входить в обсяг досліджень даної роботи і яка могла б різко збільшити її обсяг. Таку задачу автор вирішив у рамках ГДТ № 848/IV (акт впровадження додається).

Результати розрахунків коефіцієнта динамічності 3 % забезпеченості для судна $L = 156\text{м}$; $B = 24,8\text{м}$; $T=6,8\text{м}$; $H = 12,0\text{м}$; $\Delta = 13360\text{т}$ при курсовому куті 90^0 для кормової кінцевості дають $k_{д3\%}=1,4541$; при курсовому куті 90^0 для борту $k_{д3\%}=1,2803$.

Обчисливши коефіцієнт динамічності, можна визначити динамічні навантаження, що діють на конструкції танків газовозів. Для визначення динамічних напружень необхідно виконати розрахунки міцності вкладних танків типу В методом кінцевих елементів (МКЕ).

Уточнене врахування масових і міцносних характеристик танків типу В в задачі оптимізації елементів флоту газовозів у системі морського транспортування газів провадиться за результатами розрахунків міцності танків з корегуванням відповідних статей навантажень. Приведено методику врахування втомної довго вічності, швидкостей поширення тріщин і стійкості конструкцій танків газовозів.

Розроблено методику уточненого врахування масових і міцносних характеристик корпусних конструкцій газовозів, яка дозволяє проводити уточнене їх врахування у задачі оптимізації елементів флоту в системі морського транспортування газів за результатами розрахунків міцності корпусу з корегуванням відповідних статей навантажень. Розроблено проект Правил судноплавства України для корпусних конструкцій газовозів. У шостому розділі розроблені теоретичні основи проектування систем морського транспортування газу з конфігурацією ПБУ - газовози - сухопутний газопровід і методика оптимізації основних елементів системи морського транспортування газів для державного замовника без врахування і з врахуванням використання газу, що випарувався, в енергетичній установці (ЕУ) газовоза.

Описано математичну модель, що реалізує постановку і розрахункові залежності задачі визначення наступних оптимальних параметрів флоту газовозів як елемента системи морського транспортування газу, який перевозить зріджений газ на заданій лінії: $W_{\text{м}}$ – вантажомісткість морського заводу збору і первинної підготовки газу до транспортування; N_{ϕ} ; W_3 ; $W_3(L(U_{\text{зкс.опт}}), B(U_{\text{зкс.опт}}), T(U_{\text{зкс.опт}}), H(U_{\text{зкс.опт}}), \delta(U_{\text{зкс.опт}}))$; z_{ϕ} ; U_3 .

У якості вихідних даних прийняті властивості перевезеного газу і всі необхідні величини, які характеризують особливості системи морського транспорту-

вання газів з конфігурацією ПБУ – газовози – сухопутний газопровід для державних замовників (всього 67 вихідних даних). Змінні величини $U_s, n, W_1, W_m, t_x, L, B, T, H, \delta, x = (L, B, T, H, \delta)$ – узагальнене позначення змінних величин;

До основних обмежень, описаним у четвертому розділі в задачі оптимізації елементів флоту газовозів у системі морського транспортування газів для державного замовника, додається рівняння місткості морського заводу $W_m = k_{зм} k_1 k_2 W_3$

(тут $k_{зм}$ – коефіцієнт запасу вантажомісткості морського заводу, який приймається у залежності від його продуктивності і кількості суден у системі в межах 1,4 – 2,0; k_1, k_2 – коефіцієнти, що враховують неповне заповнення і усадку від охолодження вантажних танків, $k_1 = 1,02$; $k_2 = 1,015$).

Додаткові обмеження і критерії аналогічні тій же задачі. Розв'язання задачі, яка складається із системи десяти рівнянь з десятима невідомими, проводиться в тій же послідовності як для державного замовника.

Результати розрахунку оптимальних параметрів флоту газовозів, які експлуатуються у системі морського транспортування газів ПБУ – газовоз – сухопутний магістральний газопровід при $W_\phi = 25,641 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, представлені на рис.13. Приведено програмне забезпечення розрахунків. Як видно з рис.13,а при $R = 300$ миль, тобто при розташуванні ПБУ на відстані 150 миль від берега і розглянутого діапазону кількості га-

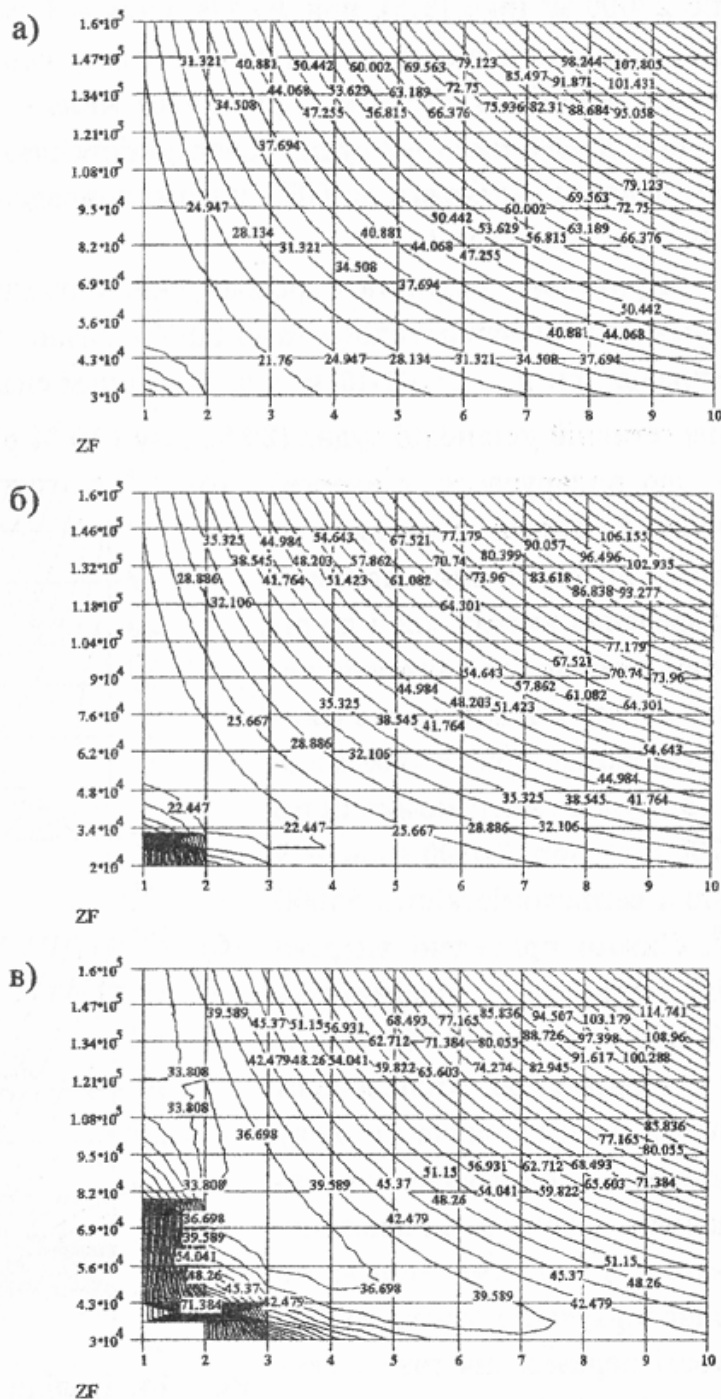


Рис. 13. Ізолінії приведених витрат (грн.) у залежності від N_ϕ (по горизонталі) і W_3 (по вертикалі): а) при $R=300$ миль; б) при $R=330$ миль; в) при $R=900$ миль

транспортування газів ПБУ - газовоз - сухопутний магістральний газопровід при $W_{\phi}=1,282 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ без врахування і з врахуванням спалювання газу, що випарувався, в енергетичній установці судна, рис. 14. Доведено, що зі зменшення річного вантажопотоку в два рази кількість суден флоту газовозів зменшується до двох і зменшується їхня вантажомісткість з невеликим зростанням питомих приведених витрат. Розглянуто модель врахування впливу особливостей проектування морських заводів збору і первинної підготовки газу до транспортування зі сферичними вкладними танками на параметри системи.

Розроблено методику врахування впливу маси і вартості сферичних вкладних танків морського заводу на параметри системи. На основі теорії оболонок розроблені математична модель і прикладна програма розрахунку міцності сферичних вкладних танків типу С морського заводу. При цьому проводиться врахування особливостей кріплення танків до корпусу заводу. Розглядаються два типи кріплень танків: норвезької фірми "Кварнер-Мосс Розенберг" (Kvaerner-Moss Rozenberg) і французької фірми "Технигаз" (Technigaz), розробленої спільно з «Дварнер-Мосс Розенберг». Достовірність розробленої автором математичної моделі розрахунку міцності сферичних танків типу С для морських заводів підтверджена збігом отриманих результатів з характеристиками танків газовозів типу "Aquatius" місткістю 125000 м^3 .

Розглянуто питання оцінки впливу забезпечення надійної і безпечної експлуатації пристроїв газовозів, морських заводів збору і первинної підготовки газу до транспортування і суден обслуговування морських трубопроводів у системі морського транспортування газів. Досліджено надійну і безпечну експлуатацію швартовних пристроїв газовозів і морських заводів при стоянці їх біля причалу, при спільній стоянці в морі газовоза і морського заводу.

Приведено блок-схему проектування швартовного пристрою. Наведено схеми загального розташування швартовних пристроїв газовозів. Удосконалено математичну модель забезпечення надійної і безпечної експлуатації захисту корпусів газовозів і морських заводів від ушкоджень при проведенні швартовних операцій біля причалу та у морі. Приведено модель оцінки впливу забезпечення надійної і безпечної експлуатації захисту корпусів газовозів і морських заводів від ушкоджень при проведенні швартовних операцій на параметри системи морського транспортування газів.

Приведено метод оцінки впливу надійної і безпечної експлуатації сферичних вкладних танків газовозів на параметри системи з використанням для розрахунків їхньої міцності МКЕ. За допомогою МКЕ розроблено математичну модель і проведено розрахунок міцності сферичного вкладного танка. Танк навантажений розрахунковим тиском пару газу, гідростатичним тиском зрідженого газу, силою тяжіння ємкості.

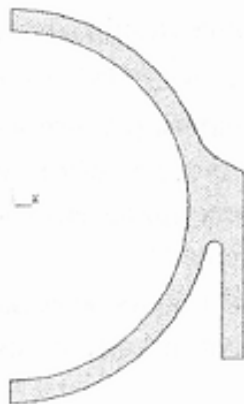


Рис. 15. Перетин твердотільної моделі сферичного танка для розрахунку за МКЕ

розмір кінцевих елементів – 20 мм. Використовуючи вихідні дані по кінцево-елементному аналогу твердотільної моделі, дані по зовнішніх силах і обмеженням, накладених на кінцево-елементний аналог, виконано розрахунок міцності.

Визначено напруження, деформації і переміщення в кожній вузловій точці і кожному кінцевому елементі. Рішення задачі отримано при таких вихідних даних: $\delta_r = 75$ мм; $\delta_u = 60$ мм; $\mu = 0,34$; $E = 0,73 \cdot 10^{11}$ Па; $\rho = 2,65$ т/м³; $\rho_0 = 0,416$ т/м³; $p = 540 \cdot 10^3$ Па; $R_c = 18,139$ м; $H_u = 12,697$ м, (тут позначено: δ_r , δ_u – відповідно товщини оболонки танка та циліндричної юбки,

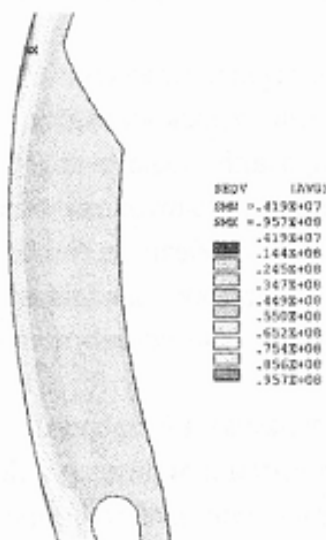


Рис. 17. Приведені напруження по Мізесу для екваторіального поясу танка

Для розв'язання розглянутої задачі використовується таке ж параметричне твердотільне моделювання, як і в розділі 2. Твердотільна модель являє собою осесиметричну оболонку, що складається з двох частин: сферичної і циліндричної (рис. 15). Опори розташовані на нижній кромці циліндричної юбки і перешкоджають усім видам переміщень.

В якості кінцевого елемента приймається 8-вузловий осесиметричний твердотільний елемент (рис. 16). Після розбивки твердотільної моделі сферичного танка на кінцеві елементи, отримано її кінцево-елементний аналог для розрахунку міцності з такими характеристиками: кількість кінцевих елементів – 13947; кількість вузових точок – 48892; характерний

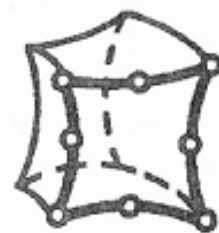


Рис. 16. Осесиметричний 8-вузловий кінцевий елемент

ки, м; ρ – густина матеріалу танка, т/м³; ρ_0 – густина зрідженого газу, т/м³; R_c – радіус оболонки танка, м; H_u – висота циліндричної юбки, м.).

Максимальні напруження, що виникають у конструкції: $\sigma_x = 82,9$ МПа, $\sigma_y = 110$ МПа, $\sigma_z = 82,9$ МПа, $\tau_{xy} = 41,2$ МПа, $\sigma_{\text{МІР}} = 95,7$ МПа. Максимальні переміщення – 18,7 мм. Напруження представлено на рис. 17. Оцінка впливу надійної і безпечної експлуатації сферичних вкладних танків газозовозів на параметри системи проводиться аналогічно розділу 2 і відповідно до розділу 6.

У цьому розділі розроблені теоретичні основи проектування системи морського транспортування газу з конфігурацією сухопутний газопровід – газозовози – морський плавучий завод регазифікації –

морський газопровід – підземне сховище газу – сухопутний газопровід. У Криму Глібівське підземне сховище газу (рис.18) розраховано на збереження 4 млрд. м³ газу. Сьогодні в ньому зберігається всього 700 млн.м³ газу. Доставлений газомово-зми зріджений газ може розвантажуватися на одному з газових родовищ Чорного моря (Голицинському, Штормовому і інших), регазифікуватися на морському плавучому заводі, подаватися в діючий морський газопровід для доставки в Глібівське підземне сховище газу.

Проведені автором розрахунки показують, що експлуатуючи в такій системі морського транспортування газів на лінії довжиною 1700 миль (Алжир – Голицинське родовище)



Рис. 18. Родовища нафти та газу на шельфі та на території Кримського півострова

всього лише один газозов вантажомісткістю 125000 м³, за 1 рік можна доставити близько 3 млрд.м³ газу, що майже цілком забезпечить річну потребу Кримської АР, Миколаївської і Херсонської областей.

З огляду на той факт, що для зазначеної системи морського транспортування газів немає необхідності в будівництві дорогих сховищ газу і морського трубопроводу, ціна газу в Глібівському сховищі газу може скласти близько 40 USD/1000 м³. Це дало б річний економічний ефект тільки для одного газозова більше 100 млн. USD. У таких системах морського транспортування газів великий вплив на надійну експлуатацію морських газопроводів роблять пристрої, що забезпечують їхній ремонт і експлуатацію.

Оптимізація основних елементів такої системи морського транспортування газів для державного замовника без врахування і з врахуванням використання газу, що випарувався, в енергетичній установці газозова проводиться аналогічно розділу 4. Зміни стосуються тільки визначення будівельної вартості системи, куди вводяться будівельні вартості морського газопроводу і суден його обслуговування з відповідними пристроями. У тих випадках, коли використовуються в системі морського транспортування газів уже діючі морські газопроводи і берегові сховища газу, то будівельна вартість системи відповідно зменшується на величину їх залишкової будівельної вартості.

Розроблено метод оцінки впливу підвищення надійної і безпечної експлуатації пристроїв, що забезпечують ремонт морських трубопроводів, на параметри системи морського транспортування газів.

Розглядається просторова задача визначення зусиль у канатах спуско-підйомних пристроїв (СПП) із тристроповою схемою проводки канатів, що підвищує надійність і безпеку експлуатації таких пристроїв при крені судна обслуговування морських трубопроводів. СПП призначено для спуску на воду і прийому підводних апаратів, що забезпечують ремонт морських трубопроводів. Ідеалізована розрахункова схема СПП, у якій групи канатів замінені одним, показана на рис. 19.

Верхні кінці канатів закріплені в трьох нерухомих точках O_1, O_2, O_3 , нижні – у точках A, B, P правильної пірамідальної підвіски $APBE$ з вершиною, спрямованої вниз. Канати підвіски, які спроектовані у початковому стані (судно-носії без крену і диференту) на горизонтальну площину $O_1O_2O_3O_4$, утворюють променеву систему з центром у точці O_6 . Відрізки променів $O_6O_2 = O_6O_3 = O_6O_1$, кути між променями $\angle O_1O_6O_2 = \angle O_1O_6O_3 = \angle O_2O_6O_3 = 120^\circ$. Відстань між точками O_1 і O_2 дорівнює C , точками O_2 і O_3 – C' , точками O_2 і O_7 (проекція точки O_6 на грань O_2O_3) – D' . Геометричні параметри правильної піраміди (у основі правильний багатокутник – рівносторонній трикутник, а висота піраміди проходить через його центр ваги) такі: $AB = AP = PB = A$; $AE = BE = PE = B$, кути між сторонами $\angle EAB = \angle EBA = \angle PBE = \angle BPE = \angle PAE = \angle ABE = \chi$. Основа підвіски у початковому стані знаходиться на відстані H від рівня кріплення верхніх кінців канатів. До вершини E підвіски остраповується об'єкт масою M (сила тяжіння об'єкта $Q = gM$). У розрахунковій схемі канати замінюються невагомими нерозтяжними нитками довжиною R . Розв'язано розрахункову систему трьох трансцендентних рівнянь для визначення зусиль у канатах підвіски СПП.

Приведено розрахунок зусиль у канатах СПП з двостроповою схемою їхньої проводки при бортовій качці судна. Математична модель, яка побудована для визначення зусиль у канатах двостропових підвісок СПП, дозволяє розв'язувати задачі динаміки таких конструкцій при качці судна обслуговування морських трубопроводів. Розв'язано диференціальне рівняння змушених коливань системи двостропова підвіска – підводний апарат. Проведено аналіз отриманих результатів. Розроблена математична модель може бути використана при розв'язанні задач визначення зусиль у канатах інших конструкцій, подібних розглянутої.

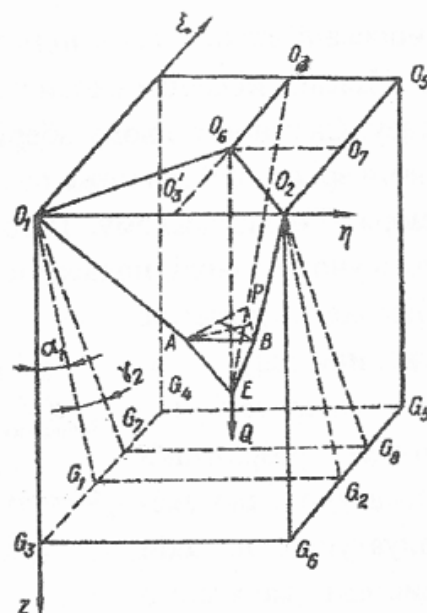


Рис. 19. Схема спуско-підйомного пристрою

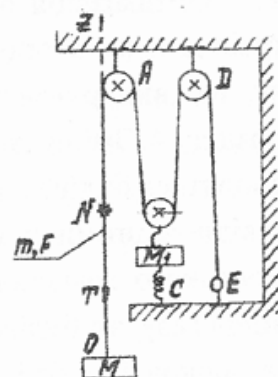


Рис. 20. Розрахункова схема

Розроблено метод динамічних розрахунків спуско-підйомного комплексу, що забезпечує спуск на різні глибини всіляких технічних засобів, що забезпечують експлуатацію морських трубопроводів (рис.20). До складу комплексу з метою гасіння коливань від качки судна зануреного на велику глибину ненаселеного підвідного апарата включено компенсуючий пристрій. Запропонований метод дозволяє виконувати оцінку ефективності компенсатора качки судна, визначати динамічні навантаження в канаті і компенсаторі, переміщення будь-яких точок каната, компенсатора і пружини, що необхідно при забезпеченні надійної і безпечної їхньої експлуатації, а також при проектуванні пристроїв, що забезпечують глибоководне занурення різного роду об'єктів. Наведено алгоритм розрахунку.

У *додатках* приведено комплекс розрахункових програм, методика проектування і розрахунку систем морського транспортування газів відповідно до розроблених автором їхніми теоретичними основами, акти про впровадження результатів дисертації.

ВИСНОВКИ

1. В теперішній час у вітчизняній науці практично відсутні дослідження, присвячені проблемі створення теорії проектування систем морського транспортування газів, основним елементом яких є газовози різних типів. Окремі розрізнені зведення є в закордонній і радянській літературі.

2. На основі детального аналізу встановлена актуальність, зв'язок роботи з державними науковими планами, науковими планами і темами УДМТУ, розроблені мета, задачі і методика досліджень. Методи дослідження прийняті аналітичні з використанням ряду наукових теорій в області проектування суден, економіки і розрахунків міцності.

3. У дисертаційній роботі вперше вирішена важлива прикладна проблема у вітчизняній суднобудівній науці - створені теоретичні основи проектування і розрахунку систем морського транспортування газів різних конфігурацій і принципово нових, з точки зору конструктивних і експлуатаційних особливостей, головних їхніх елементів. При цьому враховані вплив на основні елементи газовозів особливостей газів, що транспортуються, вплив випару газу і використання його в енергетичній установці, в установках повторного зрідження, конструкції вантажоутримувальної зони, високої вартості танків.

4. Вперше у вітчизняній суднобудівній науці вирішені питання комплексного з'єднання окремих етапів проектування системи морського транспортування газів і головних її елементів у єдиний автоматизований послідовний ланцюг методів і програм, що дозволяють знаходити оптимальний проект, як системи, так і головного її елемента ~ газовоза.

5. Розроблено методи техніко-економічного обґрунтування систем морського транспортування газів різних конфігурацій в Україні газовозами і доведено.

що їхнє створення в Україні - це один з можливих варіантів диверсифікації. Удосконалено диференціальний метод оцінки економічної ефективності газовозів системи морського транспортування газів.

6. Розроблено і науково обґрунтовано метод оптимізації головних елементів газовозів при їх проектуванні в системі морського транспортування газів для і мовників з різними формами власності, що враховує вплив контрактної ціни, и личини еквівалентної процентної ставки, банківський процент, очікувану інфляцію, підприємницький ризик.

7. Розроблено і науково обґрунтовано метод оптимізації елементів флоту і газовозів при його експлуатації в системах морського транспортування газів різні конфігурації і визначено оптимальний склад флоту газовозів і оптимальна вантажомісткість його суден. Враховано особливості конструкції і проектування газівозів з різними танками і використання газу, що випарувався, в енергетичній установці судна.

8. Вперше на підставі обробки статистичних даних отримані аналітичні залежності для визначення ряду основних характеристик газовозів, які проектуються. Виведено формулу для визначення сумарної місткості баластових цистерн і газовозів.

9. Розроблено математичні моделі розрахунків міцності танків газовозів, що забезпечують надійну і безпечну їхню експлуатацію, і які дозволяють проводити уточнене врахування масових і міцносних характеристик корпусу і танків у задачі оптимізації елементів флоту газовозів у системі морського транспортування газів. Розроблено математичні моделі і методики розрахунку міцності сферичних танків газовозів і морських заводів із застосуванням методу кінцевих елементів. Достовірність математичної моделі підтверджена перевіркою її для газовозу "Aquarius".

10. Доведено і науково обґрунтовано, що при відстані від берега до ПБУ менше 150 миль і при річному вантажопотоці газу $W_{\text{ф}} \sim 25,641 \cdot 10^6$ недоцільно в системі морського транспортування газів використовувати газовози, а доцільніше морський трубопровід.

11. Розроблено модель врахування особливостей проектування морських заводів збору і первинної підготовки газу до транспортування зі сферичними танками, вплив маси і вартості таких танків на параметри системи морського транспортування газів ПБУ - газовозів - сухопутний магістральний газопровід.

12. Розроблено модель оцінки впливу забезпечення надійної і безпечної експлуатації пристроїв, що забезпечують ремонт і експлуатацію морських трубопроводів, у системі морського транспортування газів з конфігурацією сухопутний газопровід - газовози - морський плавучий завод регазифікації - морський газопровід - підземне сховище газу - сухопутний газопровід. Удосконалено метод динамічних розрахунків спуско-підйомного комплексу, що забезпечує спуск на різні глибини всіляких технічних засобів, які забезпечують експлуатацію морські трубопроводів.

13. Практичне значення дисертаційної роботи полягає в доведенні теоретичних розв'язань до практичних рекомендацій (Додаток К), розробленому проекті розділу "Судна-газовози" Правил Регістра судноплавства України. Практична цінність роботи зв'язана з вирішенням важливого науково-виробничого завдання методичного забезпечення розрахункового проектування систем морського транспортування газів і найважливіших їх елементів комплексом програм, який дозволяє проводити подальші дослідження в цій області.

14. Практичне застосування результатів дисертаційної роботи відображено в актах про впровадження таких підприємств і організацій: ВАТ "Завод Океан", Регістр судноплавства України, ПКБ "Прогрес", УДМТУ. Загальний економічний ефект від впровадження розробок складає більше 2,5 млн. USD. Розроблені методи розрахунку і проектування систем морського транспортування газів і газовозів можуть бути використані для подальших наукових досліджень у цій області, у суднобудівній промисловості, у судовласницьких і газотранспортних організаціях, а також студентами вищих навчальних закладів.

15. Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджена збігом розрахункових даних з даними газовозів "Смольный" (місткістю 37000 м³) і "Моссовет",

"Ленсовет", "Вяртсиля" (місткістю 75000 м³), "Aquarius" (місткістю 125000 м³), статистичними даними і Правилами Французького Бюро Верітас. Набув подальшого розвитку доказ, що зростання швидкості ходу газозовів у системі морського транспортування визначається зростанням їхньої вантажомісткості, що підтверджується статистичними даними.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Судовые устройства: Справочник / М.Н. Александров, Б.А. Бугаенко, Ю.А. Ершов, Ю.Д. Жуков, В.В. Зайцев, А.Я. Казарезов, Л.В. Каменчук, Ю.И. Коробанов, В.З. Магула, А.С. Симоненко / Под ред. М.Н. Александрова. - Л.: Судостроение, 1987. - 656 с.
2. Зайцев В.В., Коробанов Ю.И. Суда-газовозы. - Л.: Судостроение, 1990.-304 с.
3. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н. Проектирование мидель-шпангоутов и конструктивных элементов грузовых танков судов-газовозов: Учебное пособие. -Николаев: НКИ, 1981. - 80 с.
4. Коробанов Ю.Н., Зайцев В.В., Мартынец Б.Н. Узлы и конструкции судов-газовозов: Учебное пособие. - Николаев: НКИ, 1982. - 39 с.
5. Зайцев В.В., Коробанов Ю.И., Жуков Ю.Д. Проектирование якорных и швартовых устройств (якорные устройства): Учебное пособие. - Николаев: НКИ. 1987.-74 с.
6. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н., Жуков Ю.Д. Проектирование якорных и швартовых устройств (швартовые устройства): Учебное пособие. - Николаев: НКИ, 1988.-77 с.
7. Коробанов Ю.Н., Зайцев В.В., Бугаенко Б.А. Практикум по судовым устройствам: Учебное пособие. - Николаев: НКИ, 1990. -61 с.
8. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н., Жуков Ю.Д. Проектирование якорных и швартовых устройств (швартовые устройства): Учебное пособие. - 2-е изд., исправ., доп. - Николаев: НКИ, 1992. - 77 с.
9. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н., Жуков Ю.Д. Проектирование якорных и швартовых устройств (якорные устройства): Учебное пособие. - 2-е изд., исправ., доп. - Николаев: НКИ, 1992. - 74 с.
10. Дифференциальное уравнение экономической эффективности транспортного судна / Ю.А. Пленкин, А.Г. Бардовский, Н.И. Жуков, В.В. Зайцев, С.И. Кацов, Ю.Н. Коробанов, И.А. Тихомиров // Труды НКИ. - Николаев: НКИ. - 1971. Вып. 47. - С. 49-56.
11. Зайцев В.В., Ткачева П.Е. К созданию правил классификации и постройки судов-газовозов // Труды НКИ. - Николаев: НКИ. - 1979. - Вып 154. - С. 105-109
12. Зайцев В.В. Определение размеров основных конструктивных элементов корпусов газозовов с призматическими танками // Труды НКИ. - Николаев: НКИ - 1980. - Вып. 166 - С. 68-72.
13. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н. Анализ возможности использования зависимостей некоторых классификационных обществ для определения размеров новых элементов переборок внутри танков газозовов // Труды НКИ. - Николаев: НКИ. - 1980. - Вып. 166. - С. 39-46.
14. Зайцев В.В., Мартынец Б.Н. Определение размеров основных конструктивных элементов призматических танков газозовов // Труды НКИ. - Николаев: НКИ. - 1980. - Вып. 167. - С. 72-77.

- 15.Зайцев В.В., Мартынец Б.Н. К обоснованию правил классификации и постройки малотоннажных судов // Совершенствование судовых устройств и гибких конструкций: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ. - 1986. - С. 70-75.
- 16.Зайцев В.В., Грибенкин И.А. Расчет усилий в канатах спускоподъемных устройств с двухстропной схемой их проводки // Совершенствование судовых устройств и гибких конструкций: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ. - 1988. - С. 3-8.
- 17.Зайцев В.В., Мартынец Б.Н. Комбинированный метод проектировании корпусных конструкций малотоннажных судов // Малотоннажное судостроение Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ. - 1988. - С. 70-75.
- 18.Зайцев В.В. Техничко-економичеcкое обоснование при проектировании газозовов // Проектирование судов и судовых устройств: Сб.науч.тр. - Николаев НКИ. - 1989.-С. 56-62.
- 19.Зайцев В.В. Расчет канатов спускоподъемных устройств с трехстропной схемой их проводки // Судостроение; Респуб.межвед. науч.-техн. сб. - Киев ~ Одесса: Лыбидь. - 1990. -Вып. 39. - С. 88-93.
- 20.Платформы со средствами плавучести для наплавных блок-модулей ТЭС /КЗ. Галустов, К.А. Абаджан, И.Н. Усачев, А.Б. Павлов, И.И.Рылов, В.В. Зайцев, Ю.Н. Коробанов // Энергетическое строительство. - 1991. - № 1. - С 26-28.
- 21.Зайцев В.В. Техничко-економичеcкое обоснование при проектировании судов-газозовов для негосударственных заказчиков // Физико-технические и технологические приложения математического моделирования. - Киев: НАН Украины. Ин-т математики. - 1998. -С. 116-119.
- 22.Зайцев В.В. Выбор оптимальных основных элементов судов-газозовов с призматическими танками // Межвузовский журнал. Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - Херсон: ХГТУ. - 1998. - № 1. - С. 114-120.
23. Зайцев В.В., Коган И.М., Зайцев Вал.В. Компенсация колебаний тела, погруженного в воду на канате за борт судна в условиях волнения моря // 36.наук, праць УДМТУ. - Миколаїв; УДМТУ. - 1998 - № 1(349). - С. 96-104.
- 24.Зайцев В.В., Зайцев Вал.В. Оценка возможности и целесообразности проектирования и строительства судов-газозовов судостроительной промышленностью Украины // 36.наук, праць УДМТУ. - Миколаїв; УДМТУ. - 1998. - № 2(350). - С. 59-68.
- 25.Зайцев В.В., Коган И.М., Зайцев Вал.В. Расчет усилий в канатах спускоподъемных устройств с двухстропной схемой их проводки при бортовой качке судна//36.наук. праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 1998 - № 5(353).-С. 34-40.
- 26.Зайцев В.В, Оптимизация главных размеренно газозовов для негосударственных заказчиков // 36.наук. праць УДМТУ. - Миколаїв; УДМТУ. - 1998 - № 6(354). - С. 40-47.
- 27.Зайцев В.В. Классификация судов-газозовов ;/ 36.наук. праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. — 1998 - № 8(356). - С. 50-56.
- 28.Зайцев В.В Экономическое обоснование строительной стоимости газопроводного транспорта // 36.наук. праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 1999 -№1(361). - С. 42-50.
- 29.Зайцев В.В. Техничко-економичеcкое обоснование поставок газа трубопроводным транспортом // 36 наук праць УДМТУ Миколаїв; УДМТУ. - 1999 -№2(362). - С. 39-44.
- 30.Зайцев В.В. Экономическое обоснование системы морской транспортировки газов судами-газозовами // 36.наук. праць УДМТУ. - Миколаїв; УДМТУ. -1999-№4(364) - С. 3-15.

31.Зайцев ВВ. Перспективы создания в Украине морских газотранспортных систем // 36.наук. праць "Нафта і газ України - 2000" - Івано-Франківськ; УНТА.

32.Зайцев В.В. Морские газотранспортные системы для Украины // Нефть и газ.-2000.- №7(25).-С. 68-73.

33.Романовский Г.Ф., Квасницкий В.Ф., Зайцев В.В. Газ по морю - это реально! // Судоходство. - 2000. - № 11. - С, 21-22.

34.Зайцев ВВ. Техничко-економічний аналіз варіантів передбачуваних поставок газу з Ірану в Україну // Нефть и газ. - 2001. - № 3(29). - С. 74-79.

35.Плавучая платформа: Заявка № 4682516 / 24-11 (057189) СССР, МКИ В 63 В 35/44/ ЮН. Коробанов, В.В. Зайцев, ИИ. Рылов, КЗ. Галустов, В.В. Разумный (СССР). - Заявлено 20.04.89; Положительное решение от 12.09.89.

36.Зайцев ВВ., Коробанов ЮН. Проектирование судов-газовозов // Schiffbau-forschung, Wissenschaftlich - technische mitteilungen. Fortschritte der Schiffstechnik in Theorie - Experiment - Praxis, 3 bis 6. Oktober 1989 in Rostock an der Sektion Schiffstechnik. - Rostock: Herausgegeben vom VEO Kombinat Schiffbau, Rostock in Zusammenarbeit mit der Sektion Schiffstechnik der Wilhelm - Pieck - Universität, - 1989 - Band 1: Schiffsprojektierung und Schiffskonstruktion, - Sonderheft Internationales Rostocker Schiffstechnisches Symposium 1989, -S. 56-65.

37.Зайцев В.В., Мартынец Б.Н Расчет прочности танков судов-газовозов // Schiffbau-forschung, Wissenschaftlich - technische mitteilungen. Fortschritte der Schiffstechnik in Theorie - Experiment - Praxis, 3. bis 6. Oktober 1989 in Rostock an der Sektion Schiffstechnik. - Rostock: Herausgegeben vom VEB Kombinat Schiffbau, Rostock in Zusammenarbeit mit der Sektion Schiffstechnik der Wilhelm - Pieck - Universität, - 1989. - Band 1: Schiffsprojektierung und Schiffskonstruktion, - Sonderheft Internationales Rostocker Schiffstechnisches Symposium 1989, - S. 66-77.

38.Зайцев ВВ., Зайцев Вал.В. Оцінка економічної ефективності при проектуванні суден-газовозів // Матеріали Міжнародного науково-практичного симпо зіуму "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення": Миколаїв, 8-10 жовтш 1997р.- Миколаїв: УДМТУ, 1997. -С. 70-71.

39.Зайцев ВВ., Казарєзов А.Я., Зайцев Вал.В. Можливості проектування та побудови суден-газовозів суднобудівною промисловістю України // Матеріали Міжнародного науково-практичного симпозиуму "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення": Миколаїв, 8-10 жовтня 1997 р. - Миколаїв: УДМТУ, 1997. -С. 71-72. \

40.Яремийчук Р.С., Зайцев В.В. Концепция транспортировки газа в Украину из стран-поставщиков газа и из морских месторождений с аккумулярованием его в Глебовском подземном хранилище газа // Тезисы II Международной конференции "Тектоника и нефтегазоносность Азово-Черноморского региона в связи с нефтегазоносностью пассивных окраин континентов": Крым, Гурзуф, 5 - 8 сентября 2000 г. - Симферополь: НАН Украины, Ассоциация геологов, 2000. - С. 254-257.

41. Романовский Г.Ф., Квасницкий В.Ф., Зайцев ВВ. Перспективы решения в Украине проблемы диверсификации внешних источников поставок газа // Материалы 4-ой Международной выставки-симпозиума "TransUkraine' 2000": Одесса, 17-20 октября 2000 г. - Одесса: Судоходство, 2000. - С. 144-146.

Особистий внесок здобувача в працях, опублікованих у співавторстві.

В [1] написані глави 8, 9, у яких розроблені математичні моделі проектування швартовних і буксирних пристроїв суден різних типів, методи забезпечення надійної і безпечної їхньої експлуатації, методи розрахунку стоянки суден біля причалів. В [2] написані глави 2, 4, 5, у яких розроблені теоретичні питання проектування газозовів з танками різних типів, методи розрахунків міцності їхніх танків і корпусу, удосконалено стосовно до газозовів диференціальний метод техніко-економічного обґрунтування при проектуванні газозовів. В [3,4] запропоновані розрахункові залежності і комбінований метод для визначення розмірів основних конструктивних елементів призматичних танків самопідтримуючого типу і корпусів газозовів. В [5 - 9] розроблені методики, методи розрахунків і проектування швартовних, якірних, буксирних пристроїв суден. В [10] розроблена постановка задачі, запропоновано вибір параметрів у якості незалежних змінних у задачі розрахунку оптимальної швидкості судна. В [11, 13 - 15, 17] розроблено проект розділу Правил Регістра для газозовів різної місткості для настилу і обшивки корпусу газозовів, їхніх цистерн і бортового набору, танків і перебірок всередині танків, виконано аналіз вимог іноземних класифікаційних товариств до зазначених конструкцій і порівняння їх з отриманими автором розрахунковими залежностями. В [16, 23, 25] запропоновані розрахункові схеми, методи розрахунків, розрахункові залежності, проаналізовані результати розрахунків пристроїв, що забезпечують ремонт і експлуатацію морських трубопроводів у системі морського транспортування газів. В [20, 35] обґрунтована можливість застосування пневмооболонки для забезпечення плавучості наплавних платформ, запропонована конструктивна схема плавучої платформи. В [24, 39] визначені основні шляхи і проблеми будівництва і проектування газозовів в Україні. В [33, 40, 41] обґрунтована можливість створення в Україні систем морського транспортування газів різних конфігурацій, розроблена їхня концепція. В [36,37] розроблені методи проектування газозовів із призматичними танками і розрахунку міцності сферичних вантажних танків, виведені розрахункові залежності. У [38] розроблена модель оптимізаційних розрахунків при проектуванні газозовів на основі диференціального методу оцінки економічної ефективності, проведено врахування різних факторів, що впливають на параметри системи.

АНОТАЦІЯ

Зайцев В.В. Теоретичні основи проектування системи морського транспортування газів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.08.03 " механіка та конструювання суден. - Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2001.

Дисертація присвячена розробці важливої прикладної проблеми у вітчизняній суднобудівній науці - створенню теоретичних основ проектування і розрахунку систем морського транспортування газів різних конфігурацій і принципово нових, з точки зору конструктивних і експлуатаційних особливостей, головних її елементів: берегових сховищ газу, газозовів із різними типами вкладних танків, морських заводів збору і первинного підготування газу до транспортування, їхніх пристроїв, а також спеціальних пристроїв суден обслуговування морських трубопроводів. При цьому враховані

особливості транспортуюємих газів, вплив випару газу і використання його в енергетичній установці на основні елементи газозовів і параметри систем. Об'єктом дослідження є проблема диверсифікації постачань газу в Україну. Предметом дослідження є системи морського транспортування газів різних конфігурацій і елементи, з яких вони складаються.

Ключові слова; газ, система морського транспортування, газозов, сховище газу, морський завод, проектування, конструювання, міцність, оптимізація, трубопровід, ємкість, танк, пристрій.

АННОТАЦИЯ

Зайцев В.В. Теоретические основы проектирования системы морской транспортировки газов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.08.03 - механика и конструирование судов. - Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2001.

Диссертация посвящена разработке важной прикладной проблемы в отечественной судостроительной науке - созданию теоретических основ проектирования и расчета систем морской транспортировки газов различных конфигураций и принципиально новых, с точки зрения конструктивных и эксплуатационных особенностей, главных ее элементов: береговых хранилищ газа, газозовов с различными типами вкладных танков, морских заводов сбора и первичной подготовки газа к транспортировке, их устройств, а также специальных устройств судов обслуживания морских трубопроводов. При этом учтены особенности транспортируемых газов, влияние испарения газа и использование его в энергетической установке на основные элементы газозовов и параметры систем. Объектом исследования является проблема диверсификации поставок газа в Украину. Предметом исследования являются системы морской транспортировки газов различных конфигураций и составляющие их элементы.

Рассмотрены вопросы комплексного соединения отдельных этапов проектирования системы морской транспортировки газов и главных ее элементов в единую автоматизированную последовательную цепь методов и программ, позволяющих объединить усилия различных специалистов в поисках оптимального проекта как системы в целом, так и главного ее элемента - газозова, с точки зрения экономики и оптимального расхода сырья. Разработаны методы технико-экономического обоснования систем морской транспортировки газов различных конфигураций в Украину. Усовершенствован дифференциальный метод оценки экономической эффективности судов-газозовов в системе морской транспортировки газов и разработаны метод оптимизационных расчетов главных элементов судов-газозовов в системе морской транспортировки для заказчиков с различными формами собственности, метод определения оптимальной скорости, оптимального состава флота газозовов и оптимальной грузоемкости его судов с учетом специфики эксплуатации газозовов. Разработан раздел "Суда-газозовы" Правил Регистра судоходства Украины Разработаны и применены на основе теории оболочек и метода конечных элементов прикладные методы расчетов прочности различных танков и газозовов в целом, так и отдельных их элементов. Получены аналитические зависимости для определения ряда основных

характеристик проектируемых газозовов. Разработаны модели учета влияния особенностей проектирования и расчетов ряда элементов систем морской транспортировки газов на их параметры.

Усовершенствованы математические модели, методы проектирования, расчета надежной и безопасной эксплуатации швартовых устройств и защиты корпусов газозовов и морского завода первичной сборки и подготовки газа к транспортировке от повреждений, а также специальных устройств судов обслуживания, обеспечивающих эксплуатацию и ремонт морских трубопроводов.

Усовершенствован метод динамических расчетов спускоподъемного комплекса, обеспечивающего спуск на различные глубины всевозможных технических федств, обеспечивающих эксплуатацию морских трубопроводов. Создана математическая модель определения усилий в канатах двухстропных подвесок

СПУ, позволяющая решать задачи динамики таких конструкций при качке судна обслуживания морских трубопроводов.

Практическое значение диссертационной работы состоит в доведении теоретических решений до практических рекомендаций и внедрение их результатов в проектирование, подготовку контрактов и документов на строительство газозовов, в учебный процесс и научно-исследовательскую работу. Результаты исследований, полученные в работе, предоставляют возможность инженерам, конструкторам, проектировщикам и студентам проводить анализ напряженно-деформированного состояния танков газозовов, выявлять и использовать резервы прочности.

Ключевые слова: газ, система морской транспортировки, газозов, хранилище газа, морской завод, проектирование, конструирование, прочность, оптимизация, трубопровод, емкость, танк, устройство.

SUMMARY

Zaitsev V.V. Theoretical Basis of Marine Gas Transport System Designing. -Manuscript. Dissertation for obtaining scientific degree of Doctor of Technical Sciences on specialty 05.08.03 - Mechanics and designing of ships. - Ukrainian State Maritime Technical University named after admiral Makarov, Mykolaiv, 2001.

The Dissertation is devoted to investigation of important applied problem in domestic shipbuilding science - creation of theoretical basis of designing and calculation of marine gas transportation systems with different configurations and its principle new main elements (from the point of view of constructional and exploitation features): gas shore warehouses, gas-carriers with different types of set-in tanks, sea plants of collection and primary preparing a gas to the transportation, their devices, and also special devices ships of servicing the sea pipe lines. Herewith taken into account particularities of transporting gases, influence of evaporation of gas and use its in energy installation on main elements of gas carriers and parameters of systems. The objects of investigation are diversification problem of the delivery of a gases into Ukraine. The subject of investigation are marine gas transportation systems with different configurations and their parts.

Keywords: gas, gas transportation system, gas carrier, gas warehouse, sea plant, designing, construction, strength, optimization, pipe line, capacity, tank, device.