

ИНЖ. ГЕНЧО ДИНЕВ ГЕОРГИЕВ

**ПЛАВАЩ КЕСОН ТИП ПНЕВМО -
КОНСТРУКЦИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научна степен
„Доктор“

Научна област 4. Природни науки, математика и
информатика, Професионално направление 4.4. Науки за
земята Докторска програма "Океанология"

Научен консултант: проф. д-р Атанас Палазов

Варна, 2020



Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен семинар на секция „Океански технологии“ към Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“ на Българска Академия на Науките, състоял се на 24 март 2020 г. Дисертацията е разработена в рамките на външна докторантура в секция „Океански технологии“ към Институт по океанология-БАН. Представеният дисертационен труд е с обем от 118 страници текст, съдържа 4 глави, 60 фигури, 3 таблици и 1 приложение. Списъкът на цитираната литература включва 70 заглавия.

Защитата на дисертационният труд ще се състои на ---.2020 г. от 14.00ч. в заседателната зала на Института по океанология при БАН на ул. „Първи май“ № 40, на открито заседание на петчленно научно жури в състав:

1. Проф. д-р инж. Любомир Димитров – ИО-БАН;
2. Доц. д-р Димитър Димитров – ИО-БАН;
3. Проф. д-р инж. Румен Кишев – ИМСТЦХА – БАН;
4. Проф. д-р инж. Юрий Дачев - ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“;
5. Проф. д-р Димитър Димитракиев - ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“

Резервни членове:

1. Доц. д-р Райна Христова – ИО-БАН;
2. Проф. д-р инж. Красимир Иванов Ениманев - Русенски университет

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“, Варна, ул. „Първи май“ № 40.

**Bulgarian Academy of Science
Institute of Oceanology "Prof. Fridtjof Nansen"**

Eng. Gencho Dinev Georgiev MSc.

Floating Caisson Type Pneumo-Structure

Summary of a doctoral thesis for the degree of
"Philosophiae Doctor"

High education code: 4. „Natural science, Mathematics and
computer science “. Professional area: code 4.4. „Earth science"
Doctoral programme „Oceanology “.

Doctoral advisor: Prof. Dr. Atanas Palazov

Varna 2020



Abstract

This dissertation is dedicated to the development of a new type of pneumo-structures, applicable in gravitational hydrotechnical construction of facilities subjected to heavy loadings in water areas, practically applicable for different kind of baseplate in shallow and deep waters. The pneumo-structure has a prismatic or cylinder-shaped form and is without bottom plate. It is divided into vertical chambers and is covered by top plate (cover). The pneumo-structures are transported to the dedicated fitting place in a floating position. Some small corrections of the position of the pneumo-structure trim and its exact laying on a particular place are possible by varying the air pressure in the chambers. After positioning on the bottom, the vertical chambers are filled up with filler. When used as an underwater oil or gas reservoir, the cover plate should not be dismantled. The pneumo-structure discussed is designed mainly for construction in poor soils and it has very wide scope of maritime applications. The external loads are transmitted to the substrate mainly by the internal filler, resulting in evenly redistributed. The need for a stone redistribution prism and the precise (with the help of divers) alignment of the bottom is avoided. The absence of a bottom plate allows uneven subsidence of the earth's foundation. The gravitational constructions built with the pneumo-structures allow a significant increase in wall deformations and of the loads assumed without deterioration of their overall operational condition.

РЕЗЮМЕ

Настоящият дисертационен труд представя разработването на нов тип плаваща пневмо конструкция, приложима в хидротехническото строителство за изграждане на гравитационни съоръжения, подложени на големи натоварвания във водна среда, практически на всякакъв вид земна основа в плитководни и дълбоководни акватории. Конструкциите могат да имат призматична или цилиндрична форма и са с пневматични средни работни камери без дъно. Транспортират се в плаващо състояние до мястото на полагане. Специалното разположение на отворените странични и затворените отгоре средни пневматични камери и някои приспособления позволяват на конструкциите да бъдат устойчиви и практически непотопяеми при транспортиране в плаващо състояние. С промяна на налягането на въздуха в камерите е възможно прецизното коригиране на газенето на конструкциите, точното им полагане на място и създаване на противоналягане във вътрешните работни камери за принудително врязване в земната основа и планирано нивелиране. След позиционирането им на земната основа, камерите на конструкциите се запълват със запълнител. При използването им като резервоари за нефт и газ горната плоча не се демонтира. Конструкциите са ефективни основно при строителството на слаби почви. Външните натоварвания се предават предимно на основата чрез вътрешния запълнител, което води до равномерното им преразпределение. Избягва се необходимостта от каменна преразпределителна призма и прецизното (с помощта на водолази) подравняване на дъното. Отсъствието на дънна плоча допуска неравномерни слягания на земната основа. Изградените с конструкциите гравитационни съоръжения допускат съществено нарастване на деформациите на стените и увеличаване на поеманите натоварвания без влошаване на общото им експлоатационно състояние.

УВОД

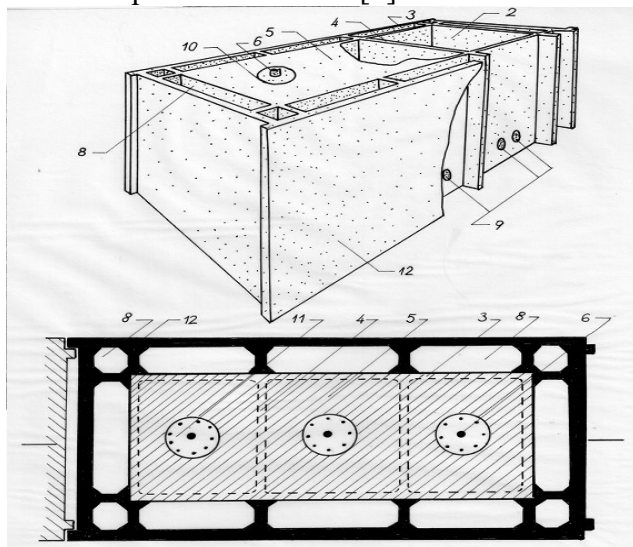
При строителството на съоръжения с различно предназначение в шелфовата зона широко приложение намират плаващите хидротехнически конструкции. Използването им води до значително съкращаване на сроковете за строителство и позволява изпълнението на значително по обем строителство в райони неразполагащи с необходимата промишлена база. Тези конструкции притежават собствена плавателна способност или тя се обезпечава посредством плаваща многотонажна механизация или швартовани към тях специални понтони.

Опитът при проектирането и строителството на хидротехнически съоръжения от тънкостенни стоманобетонни конструкции гравитационен тип без дъно ни кара да помислим за целесъобразността от използването на същия подход при проектирането на плаващи кесони. В тези конструкции тежкото и материалоемко дъно обикновено изпълнява само технологични функции при транспортирането на кесона в плаващо състояние. Разработването на специална технология и оборудване за транспортиране на такива кесони и тяхното потапяне ще позволи във всички случаи да се получи съществен икономически ефект и снижаване на разходите на дефицитни материали [3].

Задачата е решена със създаването на плаваща кесонна конструкция от нов тип пневмо-конструкция, приложима в хидротехническото строителство за изграждане на съоръжения, подложени на големи натоварвания във водна среда, практически на всякакъв вид морски седименти в плитководни и дълбоководни акватории.

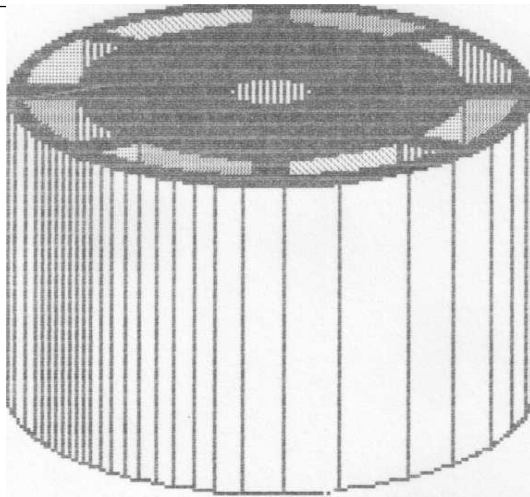
Кесонът има призматична (Фиг. 1.3.) или цилиндрична форма (Фиг. 1.4.) и е без дъно. Разделен е от напречни и надлъжни вътрешни стени на странични и средни камери. Страничните камери са отворени отгоре и отдолу за увеличаване на инерционния момент на сечението от водното огледало и използването на присъединената маса вода при колебания по време на плаване. Средните камери са

затворени отгоре със стоманобетонна плоча или инвентарен стоманен или стоманобетонен капак и обезпечават подемната плавателна сила. Снабдени са с изравнителни клапани, посредством които се създава и коригира въздушното налягане в средните камери. В горната плоча са вградени херметични люкове през които, след изравняване на налягането и потапянето на кесона става запълването му със запълнител (Фиг. 1.3.). Вътрешните стени са снабдени с отвори на разстояние от основата, съобразено с размерите на кесона и обема на средните камери (т. 9 от Фиг. 1.3.), което не позволява намаляването на метacentричната височина под критичната по време на плаване [1].



Фиг. 1.3. Призматичен кесон тип пневмо-конструкция

2. Вътрешни работни камери; 3. Надлъжни Въздухо-непроницаеми стени на работните камери; 4. Напречни въздухо-непроницаеми стени на работните камери; 5. Инвентарен горен капак; 6. Нагнетателен и изпуска-телен клапан; 8. Странични отворени камери; 9. Стабилизиращи отвори; 10. Отворяеми херметични люкове; 11. Външно камерни стени; 12. Вути



Фиг. 1.4. Цилиндричен кесон тип пневмо-конструкция

Предимствата на плаващият кесон от нов тип за изграждане на хидротехнически съоръжения са:

- практически конструкцията може да бъде използвана при всякакъв вид строителни почви;

- конструкцията е по ефективна при строителство на слаби морски седименти, поради характера на взаимодействие със земната основа;

- натоварванията върху конструкцията се възприемат от вътрешния запълнител, което позволява тяхното равномерно преразпределяне;

- изключва се необходимостта от каменна призма и прецизно подравняване на дъното с използване на водолазен труд;

- липсва дънна плоча, която не търпи неравномерни деформации;

- напреженията в стените на камерите, както и деформациите на напречните сечения са незначителни;

- кесонът допуска съществено нарастване на деформациите при увеличаване на действащите натоварвания без отслабване на конструкцията до състояние, даже близко

до граничното, поради пластичният характер на неговото разрушение;

- при перфорация на външната стена, подложена на вълново натоварване, отворените странични камери зад нея се оформят като вълногасящи;

- кесонът може да бъде изпълнен от сглобяеми стоманобетонни елементи.

II. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на дисертационният труд е да се изследват теоретично и експериментално характеристиките на плаващ кесон от нов тип пневмо-конструкция и да се обоснове неговата приложимост в хидротехническото строителство, като се анализират преимуществата и недостатъците му в сравнение със съществуващите и използвани до сега конструкции.

За постигане на тази цел в дисертационният труд следва да бъдат решени следните задачи:

1. Определяне на газенето, водоизместването и запаса от плавателна способност в зависимост от величината на въздушния стълб в работните камери на кесона;
2. Определяне на зависимост на водоизместването от височината на въздушния стълб във вътрешните работни камери;
3. Получаване на кривата на центровете на величините на кесона;
4. Изследвания на плавателната способност и стабилитетна устойчивост на кесона при вълнение;
5. Теоретически изследвания на плавателната способност и устойчивостта на кесона при вълнение;
6. Изчисляване на силите на въздействие и допустими условия за решаване;
7. Определяне на началната устойчивост;
8. Оразмеряване на устойчивостта при големи ъгли на крена;
9. Моделни хидродинамични изпитания на плаващ кесон тип пневмо-конструкция;
10. Определяне на статическата устойчивост;
11. Буксировъчни изпитания на тиха вода;
12. Мореходни изпитания на модел на плаващ кесон.

III. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

III.1. Описание на новата конструкция

Плаващото гравитационно пневмо–кесонно хидротехническо съоръжение от специален тип се явява представител на така наричаните в световната хидротехническа практика „пневматични технологии“ и достига своята плавателна способност благодарение на повишеното налягане на въздуха в работните камери на принципа на водолазния звънец.

Голяма роля за устойчивото транспортиране и практическата непотопяемост изпълняват компенсационните отвори, които са разположени в стените на работните камери на предварително оразмерено разстояние от долната част на кесона. Те позволяват предварително да се задава максималния ъгъл на крена и диферента така, че да не се допусне образуването на отрицателен възстановяващ момент и обръщане на кесона. При оразмерените геометрически предварително големи ъгли на крена и диферента нивото на водата в средните работни камери достига нивото на компенсационните отвори, въздухът под налягане започва да изтича през тях до възстановяване на положителен възстановяващ момент, при което се увеличава газенето на кесона и той се стабилизира [1]. Важно условие при транспортирането на плаващия кесон от нов тип е обезпечаването на херметичност на работните отсеци.

III.2. Въздухонепроницаемост на новата конструкция

Едно от най-важните неща при строителството и експлоатацията на бетонови кесони тип пневмо-конструкции е осигуряването на въздухонепроницаемост на конструкцията за стойности на въздушното налягане до 2 бара (0,2 МПа) [4].

За приблизително предварителна оценка на въздухонепроницаемостта на бетона без да се отчита водонаситеността може да се използва коефициент на газопроницаемостта (обемът газ просмукващ се през стената на съответен материал с дебелина 1 м и напречно сечение 1 кв. м в продължение на един час при разлика в налягането от

двете страни на стената 1 мм живачен стълб). Количеството на газа в обем V, което преминава през стената с дебелина l, напречно сечение F за време z при разлика в налягането P1 - P2 се определя от израза:

$$V = \mu \frac{F \cdot (P1 - P2) \cdot z}{1} \quad [m^3]$$

където: за въздуха $\mu = 0.04$ – за тежък бетон;
за битумизиран материал $\mu = 0.01$ [8];
за водонаситен нормален бетон варира в пределите на $10^{-16} \div 10^{-18} m^3$.

Резултатите при изследване зависимостта на въздухопроницаемостта от повишаването разхода на цимент позволяват да се обяснят по-добре защитните свойства на бетона с по-голям разход на цимент, коефициента на въздухопроницаемостта на който примерно е 10 пъти по-малък то коефициента на въздухопроницаемост при нормален разход на цимент .

Счита се, че стоманобетоновите стени и плочи, изпълнени технологично правилно и вибрирани, са въздухоплътни дори и без мазилка по тях .

Съществуват много начини за обезпечаване на въздухопроницаемостта в бетона по време на строителство [4]:

- Използване на бавно втвърдяващ се портландцемент който има относителна повърхност повече от 3000 sm./g.;
- Водата и основната суровина трябва да бъдат чисти;
- Съотношението вода/цемент трябва да бъде в интервала $0.4 \div 0.5$;
- Зърнестостта на каменния материал трябва да бъде постоянна, дребнозърнестия каменен материал трябва да бъде в умерени количества и най-голямата крупност на материала не трябва да превишава 32 mm;
- По възможност в бетона се добавят пластификатори и подобрители (размекчители, забавящи компоненти и др.), които предварително се изследват по отношение тяхното въздействие на бетона.

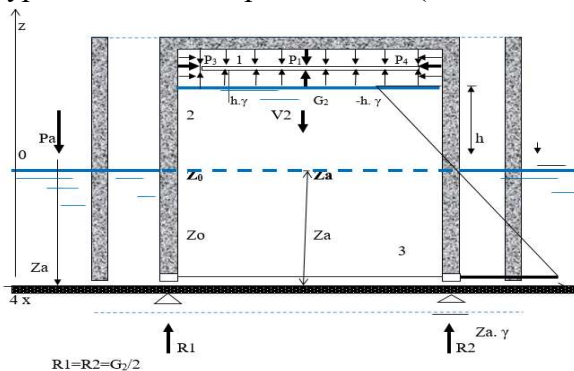
В интерес на устойчивостта и възможността за корекции в газенето по време на транспортирането на кесона в плаващо състояние е предвидена непрекъсната връзка с компресорна станция, която се намира на борда на буксирация влекач.

III. 3. Взаимодействие с дънните седименти при контурни хидротехнически съоръжения - плаващ кесон от нов тип с пневматична поддръжка

Тази задача може да се реши по метода на предварителното забиване, нивелиране на кесона и разпределение на напрежението в основата под контакта на ножовете на конструкцията с дъното [2].

Същността на този метод е в създаването на противоналягане (вакуум) в избрани или във всички затворени отгоре работни камери на кесона, след неговото позициониране на щатното място. В резултат на това се издига определен обем вода на предварително зададено ниво над нивото на водата в обкръжаващата акватория. Теглото на издигнатия обем вода се разпределя под основния контур на кесона, натоварва дънните седименти и позволява забиването му до проектното ниво и неговото нивелиране. Това може да се повтаря до получаването на желания ефект [2].

Методът се обяснява теоретично при разглеждане на основното уравнение на хидростатиката (Фиг. 3.3.2.).



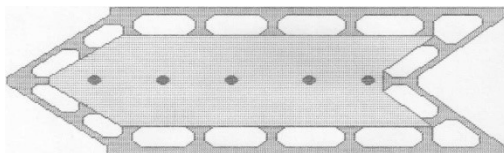
Фиг. 3.3.2. Натоварвания и въздействия

Теглото G_2 на издигнатия и задържан воден обем се разпределя под основния, забиващ се в земната основа

контур на кесона и представлява свръх тегло, действащо допълнително, освен теглото на самия кесон, като извадим частта му, намираща се под вода.

III.4. Многообразие на вариантите за изпълнение, предназначение, геометрически форми и елементи на конструкцията

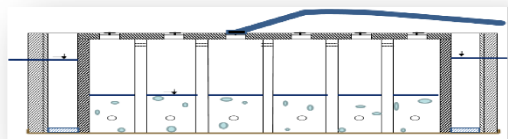
Важна особеност представлява възможността за изпълнение на кесона в каквато и да е форма в зависимост от предназначението, съблюдавайки при това някои прости принципи за съхраняване на плавателната способност и устойчивост по време на плаване.



Фиг. 3.4.1. Корабообразна форма на плаващ кесон тип пневмо-конструкция

Интерес представлява и възможността за използване на страничните камери на кесона. При перфорация на външните им стени те се оформят като вълногасящи камери. За тази цел формата, размерите и оразмеряването на тези камери съответстват на плавателните характеристики на кесона и вълновото въздействие [3].

Във връзка с усвояването на естествените газоизточници на българското крайбрежие е разработен проект за улавяне, събиране и транспортиране на газа в основата на който е заложено използването на плаващ кесон от нов тип като базова конструкция (Фиг. 3.4.4.).



Фиг. 3.4.4. Използване на кесона за улавяне на естествени газоизточници.

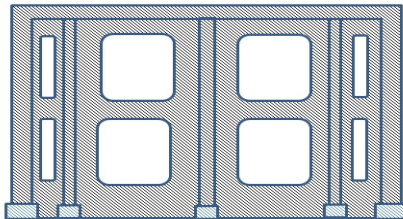
III.5. Методика за определяне на основните елементи на кесона

Размерите на сечението на кесона следва да се определят с отчитането на височината на съоръжението, действащите на него натоварвания и физико-механичните свойства на дънните седименти, въз основа на оразмерителната стабилност на съоръжението, проверка на плавателните способности и устойчивост на кесона. Дължината на кесона не следва да превишава тройната му височина. Тялото на кесона е разделено от вътрешни напречни стени за повишаване на неговата якост, а при голяма широчина и от надлъжни стени, които образуват отсеци с по-малки размери: надлъжно на кесона обикновено 3 – 4 m и напречно 4 – 5 m.

В страничните стени на вътрешните работни камери, на предварително оразмерено разстояние от дъното се оставят компенсационни отвори с площ от 0,015 до 0,025 m² за обезпечаване на възстановителния момент по време на големи крен и диферент при транспортирането. С цел понижаване на центъра на тежестта на конструкцията в напречните стени на вътрешните работни камери се правят отвори с диаметър от 2 до 5 m с овално или правоъгълно сечение (Фиг. 3.4.3.). Горната плоча може да бъде монолитна или инвентарна в зависимост от предназначението на кесона. Тя е снабдена с отвори за подаване на въздуха под налягане. В случай на монолитно изграждане, горната плоча е снабдена с херметически затворени люкове през които се извършва запълването на отсеците със запълнител. Диаметърът и разположението на люковете зависи от начина на запълване на кесона и осигуряват достъпността до всички отсеци. Минималната дебелина на стените и горната плоча на кесона се определят от условието да се обезпечи необходимата дебелина на защитните слоеве бетон при оптималното разположение на арматурата в сечението на стените и не следва да бъде по-малка от 15 cm. Съгласно изискванията за дълговечност дебелината на външните стени и горната плоча

се приемат равни на 25 – 30 см, а вътрешните стени 15 – 20 см.

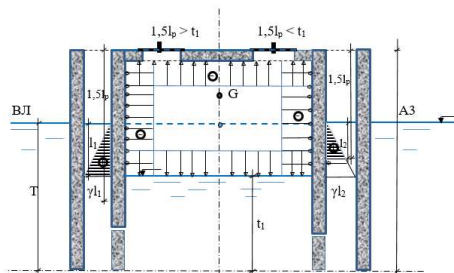
При тежки хидроложки условия широчината на отсеците граничещи с външните стени се препоръчва да се приеме от 1 до 1,5 m и в експлоатационно състояние да са запълнени с бетон.



Фиг. 3.4.3. Изпълнение на междинните стени с големи отвори и удебеляване на ножовете на конструкцията.

Външните и преградните стени на работните камери следва да се оразмеряват като плочи запънати от три страни в напречните стени и горната монолитна плоча, с височина равна на $1.5 l_p$ (където l_p – разстоянието между осите на напречните стени на плочата в пределите на един отсек).

За оразмеряването на сечението на стената по-долу от $1.5 l_p$ от горната плоча, където влиянието на запъването на стената в горната плоча става изчезващо малко, подобно на масива гиганта, стената условно се разчленява по височина на ивици с ширина 1 m и се оразмерява всяка ивица като непрекъснатата гредка, опорите на която се явяват напречните стени. В предварителните разчети могат да се използват формулите за гредка, запъната в двата края .



Фиг. 3.5.1. Натоварвания върху външните стени на работните камери на кесона.

Разчетното натоварване от хидростатическото налягане на водата и налягането от компресирания въздух в работните камери на кесона (Фиг. 3.5.1.) позволява да се използват готови таблици за определяне на усилието в плочите.

По време на транспортирането, на горната плоча действа налягането на компресирания въздух, с направление отдолу нагоре, значението на което се изчислява по формулата:

$$P_p = \rho \cdot w \cdot g \cdot (T - t_1) \quad 3.5.1.$$

Където w - плътност на морската вода; T - газенето на кесона; t_1 - височината на водния стълб в работните камери на кесона (Фиг. 3.5.1.).

При натоварването на горната плоча с равномерно разпределено натоварване от въздушното налягане максималният огъващ момент M_p ще бъде в запъването на плочата и за неговото изчисляване можем да ползваме готови таблици.

В особено ответствени случаи е желателно да се извършва проверка на коравината на кесона като пространствена конструкция, на огъване и на усукване, възникващи при неравномерно опирание на каменната постеля или при неравномерно слягане на кесона. Начините и изискванията към армирането на кесона не се отличават от изложените в за масив гигант.

III.6. Изводи

От изложеното до тук следва, че новост в хидротехническото строителство при изграждане на пристанищни съоружения с помоща на плаващия кесон тип пневмо – конструкция представлява изследването на плавателната способност и стабилитетна устойчивост на новото съоръжение, както и взаимодействието му с вълнението при буксировъчно транспортиране до мястото му на полагане.

IV. РЕЗУЛТАТИ

IV.1. Теоретически изследвания на плавателната способност и стабилитетна устойчивост на кесона

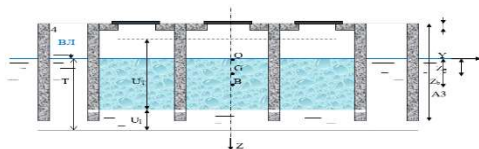
IV.1.1. Определяне на газенето, водоизместването и запаса от плавателна способност в зависимост от величината на въздушния стълб в работните камери на кесона.

Доколкото положението на едно плаващо тяло зависи от теглото и от силата на плавателната способност, то е необходимо да се разгледат условията на равновесието при едновременното действие на тези две сили.

Тялото се потапя в течността до тогава, докато силата на плавателната способност (на водоизместването) F_b не стане равна на теглото на тялото D и ще се върти дотогава, докато центъра на тежестта на изместената от него течност B и на теглото G не се окажат на една вертикална линия, тогава тялото заема положение на устойчиво равновесие.

Изтласкващата сила на плавателната способност, съгласно закона на Архимед е равна по величина и противоположна по направление на теглото на изместената от тялото течност.

Това се явява условие за плаването на тялото. То е необходимо, но не е достатъчно за плаването на кесона по зададената ватерлиния. Доколкото силата на тежестта D и изтласкващата сила $F_b = \gamma \cdot V$ действат във вертикално направление, то второто условие за равновесието се явява необходимостта от разполагането на една вертикала центъра на тежестта (ц.т.) и G в изтласкания обем от течността V (Фиг. 4.1.1.1.). Това условие не определя вида на равновесието. Разстоянието между точките B и G ($Z_g - Z_b$) може да бъде положително или отрицателно.



Фиг. 4.1.1.1. Основни величини на равновесното плаване на кесона и координатна система, определящи неговото положение относително водната повърхност.

По време на транспортирането кесонът плава при постоянно водоизместване и теглово натоварване, и следователно положението на т. G ще бъде неизменно относно размерите на корпуса на кесона. Съхранявайки това условие ще е възможно изменението на газенето на кесона благодарение на изменението на величината на въздушния стълб във вътрешните работни камери свръх минималната ($T - U_1$) осигуряваща силата на плавателната способност F_b и постоянното водоизместване (Фиг. 4.1.1.1.) Благодарение на това т. G може да заема различни положения относително плоскостта на ватерлинията.

За изразяването на второто условие за равновесието на кесона въвеждаме координационна система и параметри определящи неговото положение относително водната повърхност (Фиг. 4.1.1.1.).

Да предположим, че свободно плаващия кесон се намира в положение на равновесие и неговото газене е такова, че отсечката GB е вертикална и двете точки G и B лежат в плоскостта на симетрията. При такова разположение, осите Охуз на корпуса могат да бъдат фиксирани така, че Оху лежи в плоскостта на ватерлинията, при което т. О се явява център на тежестта на плоскостта на ватерлинията, а оста Ох е с направление напред, както е показано на (Фиг. 4.1.1.1.). Осите Ох и Оу ще бъдат главни централни оси на плоскостта на ватерлинията. При това положение координатите X_b и Y_b на центъра на водоизместването трябва да бъдат равни на X_g и Y_g центъра на тежестта на кесона. За разглежданото газене при отсъствието на крен и диферент ($\varphi = \Theta = 0$), уравнението за равновесието на кесона може да се запише във вид:

$$D = \gamma \cdot V = F_b = F_a \text{ (аеростатическа);}$$

$$X_b = X_g \text{ или } X_b - X_g = 0$$

$$Y_b - Y_g = 0$$

$$4.1.1.2$$

Ако сега на кесона се предаде малък ъгъл на диферента Θ относително оста Оу (Фиг. 4.1.1.2.), то ватерлинията ВЛ ще се намира под ъгъл Θ относително оста Ох.

Второто условие на равновесието ще бъде изпълнено ако $GB \perp ВЛ$ защото D и F_b винаги действат във вертикално

направление. За да се намират на една линия D и Fb записваме във вида:

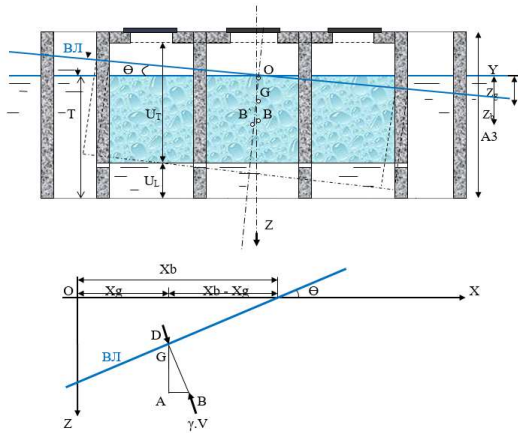
$$\frac{Xb - Xg}{Zb - Zg} = \operatorname{tg}\Theta \quad 4.1.1.3.$$

Следователно при газене на кесона с диферент условието за равновесието му може да се запише:

$$\begin{aligned} D &= \gamma.V \\ Yb - Yg &= 0 \\ (Xb - Xg) - (Zb - Zg).\operatorname{tg}\Theta &= 0 \end{aligned} \quad 4.1.1.4$$

Аналогично, ако на кесона се придаде малък крен, условието за равновесие може да се запише:

$$\begin{aligned} D &= \gamma.V = Fb \\ Xb - Xg &= 0 \\ (Yb - Yg) - (Zb - Zg).\operatorname{tg}\Theta &= 0 \end{aligned} \quad 4.1.1.5$$



Фиг. 4.1.1.2.

Ако конструкцията плава по произволна водолиния при (при $\Theta \neq 0$ и $\varphi \neq 0$), то общите уравнения за равновесие можем да запишем във вида:

$$\begin{aligned} D &= Fb \\ (Xb - Xg) - (Zb - Zg).\operatorname{tg}\Theta &= 0 \\ (Yb - Yg) - (Zb - Zg).\operatorname{tg}\varphi &= 0 \end{aligned} \quad 4.1.1.6.$$

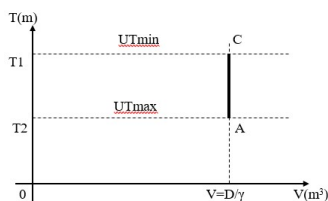
IV.1.2. Зависимост на водоизместването от височината на въздушния стълб във вътрешните работни камери

Кривата на водоизместването графически се изобразява с функцията:

$$V = f.(T) \quad 4.1.2.1.$$

и показва изменението на обемното водоизместване V в зависимост от изменението на газенето T , при това приемаме, че кесонът плава във вертикално състояние.

Кесонът плава при постоянно водоизместване и теглово натоварване. От това следва, че кривата на водоизместването ще представлява права линия (Фиг. 4.1.2.1.).



Фиг. 4.1.2.1. Крива на водоизместването на кесона

Характерът на кривата ще зависи от формата на конструкцията. В нашият случай площите на всички ватерлинии са еднакви по време на плаването. При нарастване на газенето от 0 до T_1 (отсечката OA) кесонът ще се опира на дъното. Когато височината на въздушния стълб в средните работни камери достигне до своето минимално значение UT_{min} , необходимо за поддържане на въздушен обем с водоизместване $V= D/\gamma$ за устойчивото плаване на кесона, то той се повдига от дъното и остава в плаващо състояние при възможно максимално газене T_1 . При понататъшно увеличаване на въздушния стълб в работните камери газенето на кесона намалява и височината на въздушния стълб достига до своето максимално значение UT_{max} при минимално възможното газене на кесона T_2 . При изменение на газенето от T_1 до T_2 величината на водоизместването и тегловото натоварване ще останат постоянни – $V= D/\gamma$.

По-нататъшното увеличение на газенето $T > T_1$ е невъзможно за поддържане на кесона в плаващо състояние, защото ще бъде нарушено първото условие за плаване на телата ($F_b < D$) и кесонът ще се спусне на дъното.

За да се определи зависимостта между газенето T и височината на въздушния стълб в работните камери UT разглеждаме функцията:

$$T = f.(UT) \quad 4.1.2.2.$$

Геометрически височината на въздушния стълб в зависимост от газенето може да се определи от зависимостта:

$$T = (D + M3.U1)/S, \quad 4.1.2.3.$$

където

$M3$ – площта на сечението на работните въздушни камери на кесона;

UT – височината на въздушния стълб в работните камери при газене T ;

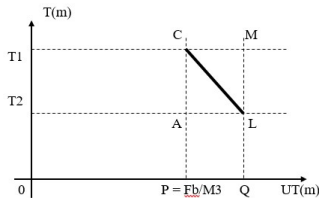
S – площ на сечението на ватерлинията;

$U1$ – разстояние до водолинията в работните камери от дъното.

Доколкото водоизместването и тегловото натоварване на кесона не се изменят по време на плаването, то изменението на газенето се осъществява изключително и само посредством изменението на въздушния обем (или въздушният стълб UT) в работните камери на кесона при постоянно въздушно налягане в тях.

Графическото представяне на тази зависимост е дадено във (Фиг. 4.1.2.2.), където е изобразена зависимостта $T = f.(UT)$. Ефективният диапазон на промяната в газенето T в зависимост от въздушния стълб в средните работни камери на кесона UT затворен в правоъгълника $ACML$. Правата T_1M изобразява ограничение на газенето от невъзможността да се плава с положителна плавателна способност при $T > T_1$. Това ограничение съответства на въздушния стълб в работните камери $UT_{min} = p = F_b/M3$ и съответства на правата PC на (Фиг. 4.1.2.2.)

Правата T2L представлява ограничение на минималното газене на кесона T2 при максимална височина на въздушния стълб в работните камери $UT_{\max} = Q$, което представлява пълната геометрична височина на работното пространство на вътрешните работни камери на кесона, изобразено с правата QM на графиката (Фиг. 4.1.2.2.)



Фиг. 4.1.2.2. Изменение на газенето на кесона T в зависимост от величината на въздушния стълб в работните камери

IV.2. Изследвания на плавателната способност и стабилитетна устойчивост на кесона при вълнение

IV.2.1. Теоретически изследвания на плавателната способност и устойчивостта на кесона при вълнение

В механиката различаваме три вида статическо равновесие: устойчиво; неустойчиво и безразлично равновесие. В същото време устойчивостта на плаващото тяло може да бъде голяма или малка т.е. устойчивостта има размерност, която не само ще установим, но и ще измерим.

Съществува и още едно различие. Плаващото тяло може да бъде само устойчиво. Състоянието на безразлично равновесие се счита за неустойчиво.

Различаваме устойчивост, която съответства на малки отклонения от приетото положение на равновесие или начална устойчивост и устойчивост при големи отклонения.

Това различие се прави защото при безкрайно малки ъгли на отклонение е възможно да се направят ред допускания и да се получат относително прости математически зависимости. Кесонът, като твърдо тяло има шест степени на свобода в пространството. В съответствие с това, отклоненията на кесона от равновесното положение може да се раздели на три постъпателни премествания и три ъгови измествания

относно главните централни оси, определени на (Фиг. 4.1.1.1.). Необходимо е да се оцени равновесието и устойчивостта на кесона за избрани относително независими отклонения.

При наличието на положителна плавателна способност по отношение на вертикалните премествания ще считаме това равновесие за устойчиво.

IV.2.2. Сили на въздействие и допустими условия за решаване

Управлението на силите перпендикулярни на повърхността на водата, действащи на кесона от нов тип при малки и големи ъгли на крена имат следната формула:

$$G + \gamma \cdot V + P_e = 0 \quad 4.2.2.1.$$

където:

G – тегло на кесона;

γ – относително тегло на водата;

V – обем на водоизместващите тела по двата борда;

P_e – общото налягане на въздушната възглавница на корпуса на кесона във вертикално направление.

От само себе си се разбира, че $V = V_1 + V_2$, където V_1 – водоизместването на влизащия във водата борд, а V_2 – водоизместването на излизащия от водата борд.

$$P_e = P \cdot S_n, \quad 4.2.2.2.$$

S_n – вертикалната проекция на въздушната възглавница.

За опрощаване на оразмеряването допускаме следните условия:

1. В процеса на накреняването теглото на кесона не се изменя, а именно: $\gamma \cdot G = \text{const}$, $\gamma \cdot V = \text{const}$, $P \cdot S_n = \text{const}$.

2. Доколкото V не се изменя, то при големи крени на двата борда сумата на влизащите във водата и излизащите от нея клинообразни обеми ще бъдат неизменяеми.

3. Силата на плавателната способност на въздушната възглавница е неизменяема, вътрешния обем на въздушната възглавница също не се изменя, плоскостта разделяща

въздуха и водата в работните камери е паралелна на наклонената плоскост на водната повърхност.

4. В качеството на статическа наклонена ще считаме, че налягането вътре във въздушната възглавница е равномерно.

IV.2.3. Начална устойчивост

При определяне на началната устойчивост на плаващия кесон от нов тип моментът на изравняващите сили изглежда така:

$$M_k = M_{k1} + M_{k2}$$

4.2.3.1.

Разглеждаме елемент с дължина ∂L от кесона, перпендикулярен на плоскостта на листа. На този елемент се съобщава малък ъгъл на крена Θ . Считаме, че обемът вода изместен от кесона остава неизменен.

Устойчивостта на кесона се поддържа от преразпределението на хидростатичната сила на потопения обем на корпуса при крен (диферент). При това налягането във въздушната възглавница влошава устойчивостта

$$M_k = M_{k1} - P_b(\Theta) \cdot S_b(\Theta) \cdot l_b(\Theta) \quad 4.2.3.2.$$

където:

$P_b(\Theta)$ – налягане вътре във въздушната възглавница;

$S_b(\Theta)$ – площта на водното огледало на границата между водата и въздуха в работните камери при крен с ъгъл Θ ;

$l_b(\Theta)$ – рамото на редуцираната сила на поддържането от въздушната възглавница.

Възстановяващия хидростатичен момент от потопената част на кесона определяме с помощта на класическия метод на А.Н.Крилов [12]:

$$M_{k1} = (l_f - a \cdot \sin \Theta) \cdot D, \quad 4.2.3.3.$$

където:

l_f – рамо на устойчивостта на формата;

$$l_f = Y \cdot \cos \Theta + Z \cdot \sin \Theta; \quad 4.2.3.4.$$

$$Y = \int_0^{\Theta} r \cdot \cos \Theta \cdot d\Theta; \quad Z = \int_0^{\Theta} r \cdot \sin \Theta \cdot d\Theta; \quad 4.2.3.5.$$

r_e - метацентричен радиус на кесона;

$$r_e = \frac{I_e(\Theta)}{D}, \quad 4.2.3.6.$$

където $I_e(\Theta)$ - инерционен момент на площта на водолинията.

Клиновидният обем излизащ от водата и клиновидният обем влизащ във водата са равни между себе си; наклонената плоскост по водолинията, минавайки през плоскостта на положителната плавателна способност се пресича с централната надлъжна плоскост на кесона и за дадения случай е напълно използвана формулата за оразмеряване на началната устойчивост.

Моментът на изравняващата сила:

$$M_k = \frac{L}{4} \cdot \operatorname{tg} \Theta \cdot [B'^3 - b^3 - 4 \cdot P \cdot b \cdot h], \quad 4.2.3.7.$$

където L – дължината на борда на кесона;

B' – широчината на кесона (редуцираната);

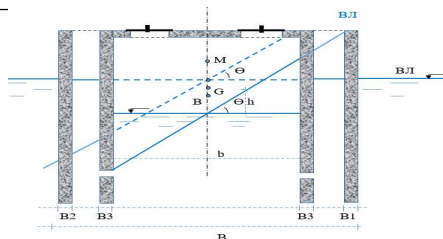
b – широчината на въздушната възглавница;

h – височината по вертикала от повърхността на границата между водата и въздуха в работните камери при отдалечаването от центъра на тежестта;

P – налягането вътре във въздушната възглавница.

IV.2.4. Оразмеряване на устойчивостта при големи ъгли на крена

Както е показано на Фиг. 4.2.4.1., отрязъкът на клиновидното напречно сечение, влизащ във водата и отрязъкът на клиновидното напречно сечение, излизащ от водата не са еднакви, тъй като влизащият във водата отрязък включва и част от горната плоча и няма пълен профил. Доколкото обемът на влизащия във водата клин се отличава от обема на излизащия от водата клин, то водолинията ще се коректира:



Фиг. 4.2.4.1. Устойчивост на кесона при големи ъгли на крена.

Съгласно допуснатото условие, че обемът на въздушната възглавница при големи ъгли на крена не се изменя, плоскостта на разграничаването на водата с въздуха е успоредна на наклонената плоскост.

В този случай:

$$P_{\Theta} = P$$

$$S_{n_{\Theta}} = S_n$$

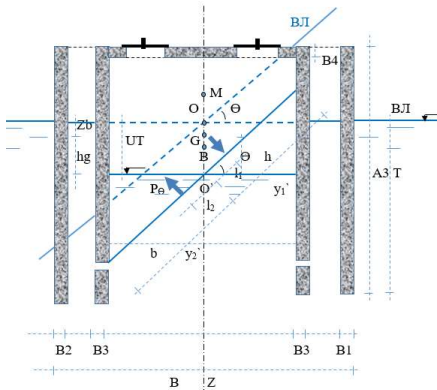
4.2.4.2.

Това ни говори за това, че площта на разграничаване на водата от въздуха не се променя.

Обаче, двете страни на потапяне на плоскостта, разграничаваща водата от въздуха, след прехода на острия ъгъл нагоре към въздушната възглавница стават асиметрични по отношение на вътрешните стени на въздушната възглавница по централната плоскост на сечението на кесона. Ако се съхранява условието $S_{n_{\Theta}} = S_n$, то плоскостта на разграничаване на водата с въздуха следва паралелно да се премества надолу, както това е показано на Фиг. 4.2.4.2.

Допускаме, че UT – е височината на въздушната възглавница след съответстващите корективки на плоскостта разграничаваща водата и въздуха

$$y_1' = \frac{UT}{\sin \Theta}; \quad y_2' = \frac{b}{2 \cos \Theta}$$



Фиг. 4.2.4.2.

Налигането на въздушната възглавница в направление паралелно на наклонената водна плоскост не създава момент на изравняващата сила. Във вертикално направление по отношение на наклонената водна плоскост в даден момент когато съставната сила P_O на налягането във въздушната възглавница се съотнася към действителната плавателна способност, величината на силите не се изменя, но точката на действие се премества наляво и съставната сила P_O създава момент на изравняващата сила M_{K2} относително на центъра на тежестта G .

Моментът на изравняващата сила създавана от налягането на въздушната възглавница:

$$\begin{aligned}
 M_{K2} &= - P_O \cdot (l_1 + l_2) = \\
 &= - p \cdot L \cdot b \cdot \left[hg \cdot \sin \Theta + \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{2 \cos \Theta} \cdot \frac{UT}{\sin \Theta} \right] \quad 4.2.4.8.
 \end{aligned}$$

Моментът на изравняващата сила:

$$\begin{aligned}
 M_K &= M_{K1} + M_{K2} = \\
 &= M_{K1} - p \cdot L \cdot b \cdot \left[hg \cdot \sin \Theta + \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{2 \cos \Theta} \cdot \frac{UT}{\sin \Theta} \right] \quad 4.2.4.9.
 \end{aligned}$$

Доколкото при определянето на M_K , M_{K2} участва с отрицателен знак (влошава момента на изравняващата сила), то при изтичане на въздуха от въздушната възглавница M_K

рязко ще нарасне и ще доведе до изравняването на кесона при вече увеличено газене Т. В това се проявява една от особеностите на устойчивостта на плаващия кесон от нов тип.

Тъй като излезлият от водата борд вече не произвежда хидравличен ефект, то при изчисляването на хидравлическия момент на изравняващата сила на този етап е необходимо само да се изчисли плавателната способност на влезлия във водата борд и потопения във водата обем на корпуса на кесона, умножен по рамото на силата по централната надлъжна линия, тоест да се изчисли момента на хидравличната положителна сила.

IV.3. Моделни хидродинамични изпитания на плаващ кесон тип пневмо-конструкция

Моделните изследвания са извършени в Институт по хидро и аеродинамика, Варна в секция „Съпротивление при движение на кораба“. Целта на изследванията е установяване на някои основни хидродинамични качества (устойчивост, съпротивление, мореходни качества и др.) на плаващ кесон тип пневмо-конструкция с динамически принцип на поддържане, необходими при транспортирането му от мястото на производство до мястото на монтиране към определено хидротехническо съоръжение.

За целта са извършени следните изпитания:

- креноване;
- буксировъчни изпитания на тиха вода;
- мореходни изпитания.

IV.3.2. Буксировъчни изпитания на тиха вода

IV.3.2.1. Постановка на експеримента

Експериментът е реализиран в дълбоководния басейн на ИХА посредством щатните буксировъчна количка и буксировъчна установка. Въздушната възглавница е осъществена и поддържана посредством щатна система "вакуум-налягане". За измерване на налягането във въздушната възглавница е реализирана специална система.

Точката на прилагане на буксировъчното усилие е избрана върху горната стена на модела, съответстваща на

предполагаемата точка на редуциране на буксировъчните усилия на натурния обект.

Изпитанията са проведени за потапяне $T = 0.55m$.

IV.3.2.2. Резултати от Буксировъчни изпитания на тиха вода

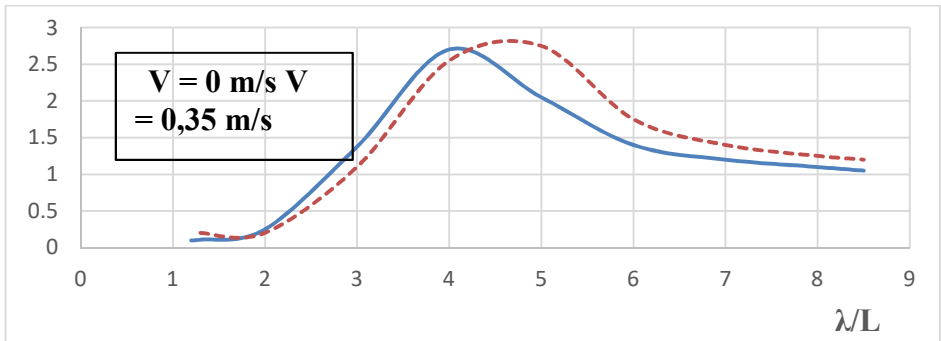
Резултатите от Буксировъчните изпитания са дадени в таблица 4.3.2.2.1.

$L_{wl} = 1,580 \text{ m}$ - дължина на кесона; Мащаб 1:16
 $B = 0,775 \text{ m}$ - широчина на кесона; t° на водата – 14°
 $T_b = 0,550 \text{ m}$ - газене на кесона; $\nu = 1,169633 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sek}$
 $T_a = 0,550 \text{ m}$ - потапяне на кесона; $\rho = 101,88 \text{ kg} \cdot \text{sek}^2/\text{m}^4$
 $S = 2,801 \text{ m}^2$ - площ на водолинията; C_d – коеф. съпротивл.;
 $W = 129 \text{ m}^3$ - обем на водата в басейна; Rn – числ. Рейнолдс;
 V_m – буксировъчна скорост; Ψ – ъгъл на ходови диферент;
 Fn - число на Фруд; P_{bb} – налягане във възд. възглавница
 R_{tm} – буксировъчно съпротивление

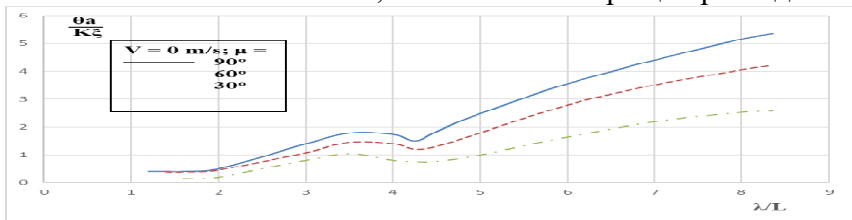
V_m [m/s]	Fn --	R_{tm} [kg]	$C_d \cdot 10^2$	$Rn \cdot 10^6$	Ψ [grad]	P_{bb} [kg/ m ²]
0,2066	0,0525	0,598	0,1898	0,279	0,80	315,5
0,3022	0,0768	1,295	0,4111	0,408	1,55	315,5
0,4017	0,1020	2,347	0,7451	0,543	2,6	315,5
0,5011	0,1273	3,682	1,1689	0,677	3,95	315,5
0,5990	0,1522	5,787	1,8371	0,809	5,40	315,5
0,2495	0,0634	0,962	0,3054	0,337	1,15	315,5
0,3499	0,0889	1,799	0,5711	0,473	2,00	315,5
0,4487	0,1140	3,069	0,9743	0,606	3,20	315,5
0,5513	0,1401	4,696	1,4908	0,745	4,65	315,5
0,6496	0,1650	6,977	2,2149	0,877	6,30	315,5
0,2831	0,0719	1,198	0,3803	0,382	1,40	315,5
0,3291	0,0836	1,624	0,5155	0,445	1,80	315,5

Таблица 4.3.2.2.1. Буксировъчни изпитания на тиха вода.

IV.3.4. Резултати от мореходните изпитания

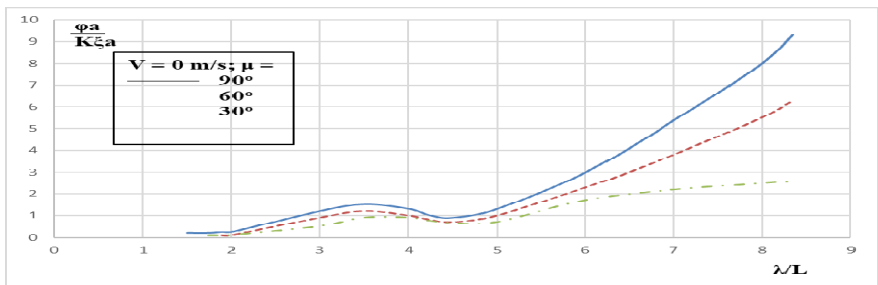


На фиг. 4.3.4.2 са представени амплитудно-честотните характеристики (АЧХ) на вертикално клатене на ход и без ход. Максимумът на кривата при $V = 0 \text{ m/s}$ съвпада с периода на свободни вертикални колебания. Има известно дефазирание на максимума при $V = 0.35 \text{ m/s}$, което се дължи на замяната на честотата на вълнението, с честотата на среща при ход.

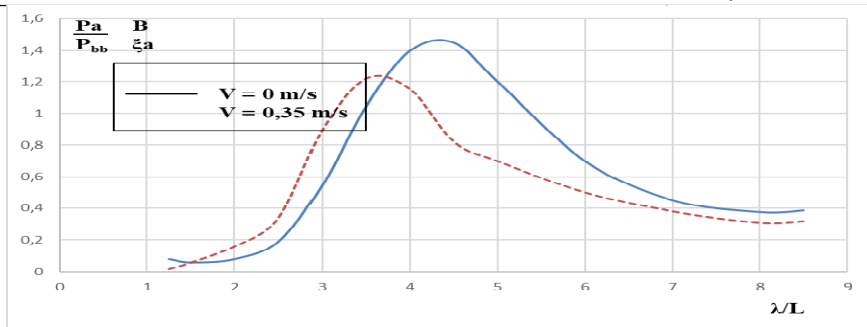


Фиг. 4.3.4.4. Оценка за Бордово клатене

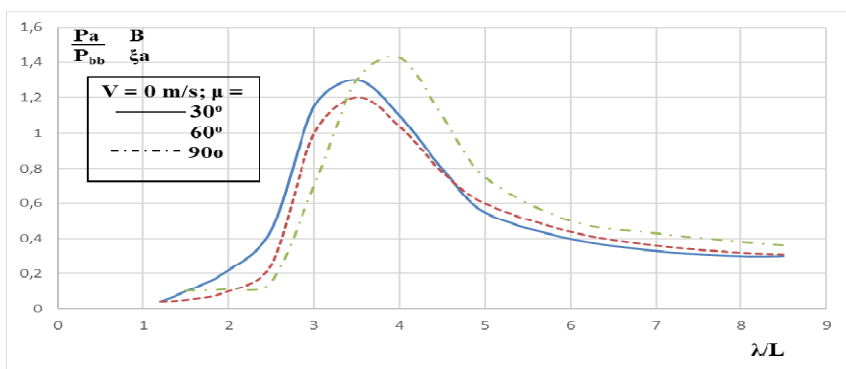
В съответствие с физическите представи за процеса, то е най-голямо при $\mu = 90^\circ$. Малкият пик при $\lambda/L \approx 4$, съответства на максимума на вертикалното клатене.



Фиг. 4.3.4.6. Промяната на АЧХ на килево клатене с промяна на ъгъла на среща с вълната.



Фиг. 4.3.4.8.



Фиг. 4.3.4.9.

На фиг.4.3.4.8 и 4.3.4.9 са представени обезразмерените пулсации на налягането във въздушната възглавница при различни дължини на вълната. От фиг.4.3.4.8 се вижда, че те са по-големи при ход ($V = 0.35$ m/s), отколкото без ход, а от фиг.4.3.4.9, че са най-големи при $\mu = 90^\circ$, което съответства на вертикалното клатене. Максимумът на кривите също съответства на максимума на вертикално клатене. Общо $P_A/P_{BV} < 5\%$, а при дълги вълни намалява.

ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

Избягване използването на плаващи кранове с голяма товароподемност, съкращаването на подводния водолазен труд и премахването на скъпоструващата дънна подготовка за хидротехническото строителство на пристанищни

съоръжения от крупни конструктивни блокове са предпоставки за внедряването на плаващия кесон тип пневмо–конструкция.

Практическото използване на плаващия кесон от нов тип ще допринесе за неговото включване в междуведомствената унификация на типовете индустриални конструкции и детайли. Това ще позволи внедряването на една от най-икономичните и универсални конструкции в хидротехническото строителство. При това изискването за унификация трябва да се съчетава с особеностите при строителство на съоръжения в специфични условия, в които някои съоръжения от кесони ще бъдат уникални и ще изискват индивидуални конструктивни решения и начини на изграждане. Примери за това бяха обстойно разгледани в глава III.

Доказано беше, че начините и изискванията към оразмеряването на плаващия кесон тип пневмо–конструкция не се отличават от изложените в и за масив гигант. Решаването на задачи от областта на земната механика при взаимодействието на кесона от нов тип с морските седименти не се отличават от подробно разгледаните примери за пилоти с голям диаметър (потъващи кладенци).

Статическата устойчивост на предложениия за изследване модел на плаващ, кесон тип пневмо – конструкция е недостатъчна. Препоръчва се, с цел осигуряване на задоволителна статическа устойчивост на кесона, при потапяне $T > 0.5 \text{ m}$. (около експлоатационното) да се снижи центъра на тежестта на кесона с около 15%.

Необходимата мощност на гака на буксира, при буксиране на кесона със скорост 3 kns, е 180 к.с. (при условие на практическо отсъствие на вълнение и вятър).

Резултатите от мореходните изпитания се отнасят за реализираната конфигурация на геометрични, кинематични и динамични параметри. При евентуални изменения на тези параметри ще бъдат необходими допълнителни експериментални проверки.

Резултатите за ъгловите колебания показват, че относителна малки амплитуди на вълнение предизвикват големи

амплитуди на клатене. Поради това транспортирането на натурния обект трябва да се извършва при слабо развито вълнение.

Пулсациите на налягането във въздушната възглавница при клатене на вълнение не превишават 5% от началната стойност.

АВТОРСКИ ПРЕТЕНЦИИ

1. Предложен е кесон от нов тип - плаваща пневмоконструкция, който е новост в хидротехническото строителство и няма аналог в световната хидротехническа теория и практика. Конструкцията е приложима в хидротехническото строителство за изграждане на гравитационни съоръжения, подложени на големи натоварвания във водна среда, практически на всякакъв вид земна основа в плитководни и дълбоководни акватории. Тя е защитена с патент (Кесон – изобретение с авторско свидетелство № 44643 / 08.07.1985 г., патентовано в България с патентен № 1147, Холандия с патентен № 8 701 423, Франция с патентен № 2 616 464, Финландия с патентен № 890047, Сингапур (Китай) с патентен № 89100199.9 и Русия с патентен № 7774529/03).
2. Разработен е метод за монтиране на кесон пневмоконструкция (изобретение с авторско свидетелство № 91624, 1990 г.), при който с помощта на противоналягане /вакуум/ в избрани или всички работни затворени само отгоре и контактни със земната основа средни камери на кесона, основният контур на кесона се връзва до проектна или пределна величина в земната основа. С баланс и продължително във времето действие на издигнатия и задържан воден обем се консолидира земната основа под основния контур на кесона и с вертикални натоварвания значително превишаващи експлоатационните се напруга предварително земната основа под основния контур на кесона, при необходимост от последващо запълване с друг запълнител. Методът за предварително връзване на

кесон без дъно и налягане на земната основа е новост в хидротехническото строителство и такъв метод не е известен в световната хидротехническа теория и практика.

3. Работните параметри на проекта са валидирани чрез специално планиран за целта експеримент на плаващ кесон тип пневмо-конструкция с цел установяване на някои основни хидродинамични качества (устойчивост, съпротивление, мореходни качества и др.) на плаващ кесон с динамически принцип на поддържане, необходими при транспортирането му от мястото на производство до мястото на монтиране към определено хидротехническо съоръжение.
4. В резултат от моделните изследвания на кесон пневмо-конструкция при определена конфигурация на геометрични, кинематични и динамични параметри са направени изводи и препоръки по отношение на: статическата устойчивост, необходимата мощност на гака на буксира и състоянието на морето при буксиране на кесона.
5. Изведени са препоръки по осигуряване на конструктивните характеристики и са поставени изисквания по изолацията и осигуряването на въздухонепроницаемост на стоманобетона, като конструкцията следва напълно да бъде изпълнена със съобразяване от променливата външна температура и постоянното въздействие на агресивната морска вода.

Публикации по дисертацията

1. Георгиев Г., Плаващ кесон тип пневмо-конструкция. Известия на Съюза на учените - Варна, Серия „Морски науки“, 2017, ISSN 1314-3379, стр. 53-58
2. Георгиев Г., Метод за предварително врязване, нивелиране на плаващ кесон тип пневмо-конструкция и налягане на земната основа, Известия на Съюза на

учените - Варна, Серия „Морски науки (Океанология)“, 2018, ISSN 1314-3379, стр. 19-25

3. Palazov A., Georgiev G., Donev V., Pneumo-structures for gravitational hydrotechnical construction, Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies – Georgiev & Guedes Soares (eds), © 2020 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-367-40951-7, pp. 579-584
4. Георгиев Г., Въздухонепроницаемост на стоманобетонен плаващ кесон тип пневмо-конструкция, Научна конференция "Науката в служба на обществото - 2019", Варна, Октомври 2019

Publications related to the thesis

1. Georgiev G., Floating Caisson Type Pneumo-Structure, Proceedings of the Union of Scientists – Varna, Series “Marine sciences”, 2017, ISSN 1314-3379, pp. 53-58
2. Georgiev G., Method for Preliminary Crossing, Nivelning of Flowering Caisson Type Pneumo-Structure and Pressure of the Earth Basis, Proceedings of the Union of Scientists – Varna, Series “Marine sciences (Oceanology)”, 2018, ISSN 1314-3379, pp. 19-25
3. Palazov A., Georgiev G., Donev V., Pneumo-structures for gravitational hydrotechnical construction, Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies – Georgiev & Guedes Soares (eds), © 2020 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-367-40951-7, pp. 579-584
4. Georgiev G., Air-Imperviousness of Reinforced Concrete Floating Caisson Type Pneumo-Structure, "Science in Service of Society 2017" - Conference of the Union of Scientists – Varna, Varna, October 2019