

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО МЕТАЛОЗНАНИЕ, СЪОРЪЖЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ „АКАД. А. БАЛЕВСКИ”
ЦЕНТЪР ПО ХИДРО- И АЕРОДИНАМИКА - ВАРНА

Олена Викторивна Виденова

**ХИБРИДЕН МЕТОД
ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ УСИЛИЯТА В КОТВЕНИТЕ ВРЪЗКИ
НА ДЪЛБОКОВОДНИ ПОЗИЦИОНИРАЩИ СИСТЕМИ
С ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТИ
СЪС СКЪСЕНИ МОДЕЛИ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за присъждане на образователна и научна степен
“ДОКТОР”
по научната специалност 02.03.01. “Теория на кораба”**

Научен ръководител:

Проф. д-р инж. Румен Здравков Кишев

Рецензенти:

1.

2.

**Варна
2013**

Дисертационният труд е обсъден на 02.04.2013г. на научен колоквиум в Центъра по хидро- и аеродинамика и насрочен за защита.

Автор: Олена Викторивна Виденова

Заглавие: Хибриден метод за определяне усилията в котвените връзки на дълбоководни позициониращи системи с използване на резултати от експерименти със скъсени модели

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО МЕТАЛОЗНАНИЕ, СЪОРЪЖЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ „АКАД. А. БАЛЕВСКИ”
ЦЕНТЪР ПО ХИДРО- И АЕРОДИНАМИКА - ВАРНА

Олена Викторивна Виденова

**ХИБРИДЕН МЕТОД
ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ УСИЛИЯТА В КОТВЕНИТЕ ВРЪЗКИ
НА ДЪЛБОКОВОДНИ ПОЗИЦИОНИРАЩИ СИСТЕМИ
С ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТИ
СЪС СКЪСЕНИ МОДЕЛИ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за присъждане на образователна
и научна степен “ДОКТОР”
по научната специалност 02.03.01. “Теория на кораба”**

**Варна
2013**

Дисертационният труд съдържа 78 страници, включително 49 фигури, 9 таблици, 34 математически израза, оформени в три глави, общи изводи и списък на използваната литература от 123 заглавия, от които 4 на кирилица и 119 на латиница.

При изработването, оформлението и отпечатването на този дисертационен труд са използвани само лицензирани комерсиални програмни продукти на Microsoft®, както и лицензираните програмни продукти MORA® на „Garrison&Associates“ и ROMEO® на „Noble-Denton“.

Авторът декларира, че настоящата дисертация е изцяло авторски продукт и в нейното разработване не са използвани чужди публикации и разработки в нарушение на авторските им права.

Защитата на дисертационния труд ще се състои наг. отч. в Голямата заседателна зала на ЦХА на открито заседание на жури, сформирано със заповед на Директора на ИМСТЦХА-БАН №/.....г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се в Научно-техническата библиотека на ЦХА-Варна.

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност на проблема

През последните години се забелязва тенденция за увеличаване на дълбочината при добив на природни залежи на нефт и газ, поради изчерпването на тяхното количество в плитководните зони. Взимайки предвид този факт, целенасочено се развиват дейностите по проектиране, моделни изпитания и анализ на плаващи конструкции, способни да работят при свръхдълбочини и при тежки атмосферни условия в открито море и големи географски ширини. Натоварването при тези условия е доста голямо и поставя специални изисквания към позициониращата система, така че да се осигури удържането на платформата над точката на сондажа.

Макар че съществуват активни автоматизирани системи за позициониране, при експлоатация на добиващи платформи с дълговременно фиксирано положение по-икономично е приложението на пасивна удържаща система, съставена от котви и котвени връзки, най-често композитни в случаите на големи дълбочини. Проектирането на такива системи при големи дълбочини представлява голямо предизвикателство от гледна точка на численото моделиране, предвид нелинейността на реакциите, променливата еластичност и динамичните вълнови и ветрови натоварвания с висока интензивност. Изискваната висока точност на прогнозите, обусловена и от високата крайна цена на натурното съоръжение, може да бъде достигната само след провеждане на комплексни моделни изпитания в опитен басейн.

Директното моделиране на дълбоководни котвено-райсърни системи обаче е проблематично поради възникващото несъответствие на размерите на съществуващите експериментални съоръжения и изискванията към мащаба на физическото моделиране с цел избягване на мащабни ефекти. Общоприетите мащаби при провеждане на моделните изпитания за морски съоръжения варират в диапазон 1:40-1:80. Имайки предвид реалните дълбочини в мястото на сондиране и необходимото разстояние за разставяне на котвите по дъното, моделната постановка предполага използването на опитни басейни с дълбочина над 20 м и ширина над 50 м.

С непрекъснато нарастващият интерес към индустриалното приложение на морски технически съоръжения нараства необходимостта и съответно интензивността на научно-приложните изследвания на поведението на тези съоръжения в реални експлоатационни условия. За да се отговори на нуждите на морската добивна промишленост, трябва да се намерят способи за реализация на изследванията в условията на наличните експериментални лаборатории с общо предназначение. В частност това се отнася и за създаване на метод за адекватно изследване на усилията в дълбоководните пасивни котвени връзки на плаващи инженерни съоръжения в стандартни хидродинамични изпитателни басейни. Доколкото наличните във всяка лаборатория условия са различни, както по отношение на габаритите на басейните, така и според разполагаемата техника и софтуер, този метод трябва да бъде съобразен с конкретните дадености.

В горния смисъл, разработката цели разширяване на експерименталните възможности на опитния басейн на ЦХА при ИМСТЦХА-БАН за провеждане на моделни изследвания на дълбоководни пасивни котвени системи.

2. Цели и задачи на изследването

Цел на настоящата дисертация е създаване на метод за определяне на усилията в котвените връзки на дълбоководни котвени системи чрез моделни изпитания със скъсени по дълбочина модели, пригоден за приложения в условията на експерименталния комплекс на Центъра по хидро- и аеродинамика - Варна.

Изпълнението на поставената цел предполага решаването на следните задачи:

- Определяне на параметрите на котвената система, значимо повлияни от реалната дълбочина, и на принципите за моделиране
- Разработка на процедура за моделиране на котвената система чрез скъсяване по дълбочина
- Проектиране и внедряване на механичен актуатор за имитиране движението на точката на срязване на котвените връзки
- Разработка на 3-D компютърни модели на изследваните обекти
- Провеждане на систематичен експеримент
- Съпоставителен анализ за определяне коефициентите на съответствие между моделните и натурните стойности на усилията в котвените връзки

3. Обект и предмет на изследване

Обект на изследване в дисертационния труд е методиката и средствата за провеждане на моделни изпитания със скъсени модели на котвени системи и последващата екстраполация към натура. Изследването е извършено върху няколко мащабни модела на полупотопени плаващи платформи, предназначени за дълбоководно сондиране.

4. Методи на изследване

Изпълнените дейности по компютърно и физическо моделиране на дълбоководни котвени системи се базират на прилагане на методите на линеаризираната хидродинамична теория за движение на твърдо тяло с 6 степени на свобода при наличие на вълнение, уравненията за провисването и динамиката на материална нишка, законите за хидродинамично подобие, теорията на неопределеността при физически измервания и методите за анализ на временни редове.

5. Научна новост на изследването

Дисертационният труд следва модерните тенденции за взаимно допълване на подходи от числената и експерименталната хидродинамика, даващо възможност за разширяване на изследователските възможности и повишаване точността на прогнозите. Прилагането на хибриден подход при изследване на котвени системи е новост в практиката на опитните басейни и се осъществява за пръв път в България, като отчита конкретните условия на експерименталната лаборатория. Използваният при експериментите механичен актуатор е уникална разработка, а извода на зависимостта за неопределеността при измерване на усилията в котвените въжета с използване на вероятностното разпределение на Вейбъл е новост в световната практика.

6. Практическа ценност на изследването

Практическата ценност на изследването се състои в разработената методика за експериментално изследване на дълбоководни котвени системи в опитни басейни със стандартни размери, което разширява капацитета на експерименталното съоръжение. Систематично са изследвани и валидирани основните съставни елементи на методиката. Резултатите са намерили практическо приложение при изследванията на конкретни морски плаващи обекти и могат да бъдат използвани като стандартна процедура в експерименталната практика на хидродинамичните лаборатории.

7. Аprobация на изследването

Резултатите от теоретичните и експерименталните изследвания са докладвани на научни форуми. Направени са общо пет публикации, както следва:

- Една публикация на английски език, докладвана на Международна научна конференция по морски науки и технологии „Black Sea 2008”, Варна, 2008г.
- Една публикация на английски език, докладвана на Международна научна конференция по морски науки и технологии „Black Sea 2010”, Варна, 2010г., която е рецензирана
- Една публикация на български език, докладвана на Юбилейна научна сесия с международно участие „130 години Морско училище 1881-2011“, Варна, 2011г.
- Една презентация в Конкурс на ЦО-БАН за оригинално блиц представяне на научна разработка от млади учени и докторанти, София, 2011г.
- Една публикация на английски език, докладвана на Юбилеен Конгрес - Технически Университет, Варна, 2012г., която е рецензирана

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. В Глава 1 е анализирано съвременното състояние на методите за определяне на усилията във връзките на пасивните котвени системи.

Прегледа на използваните в океанското инженерство типове морски инженерни съоръжения показва, че тези предназначени за работа при големи водни дълбочини и използващи пасивни котвени системи за удържане са основно **полупотопените плаващи платформи** и конструкциите тип «спар», но доколкото полупотопената плаваща платформа е най-масово използваното съоръжение за дълбоководно сондиране, практическите изследвания в настоящия дисертационен труд са ориентирани към този тип конструкции.

В процеса на експлоатацията си плаващите съоръжения са постоянно изложени на външни натоварвания от вятър, течения и вълнение, които предизвикват отклонения от работната точка, застрашаващи процесите на сондиране и добив. При тези условия, предвид големите вложения и съответните изисквания за висока ефективност на добивния процес, става много важно наличието на специални системи за задържане на съоръжението в работно положение над мястото на сондажа и осигуряването на нормални работни условия. От ефективността и надеждността на системите за удържане (позициониране) до голяма степен зависи безопасността на цялото съоръжение. Важни параметри в това отношение са

величината на водоизместване на съоръжението, дълбочината на водата и интензивността на външните условия за целия жизнен цикъл.

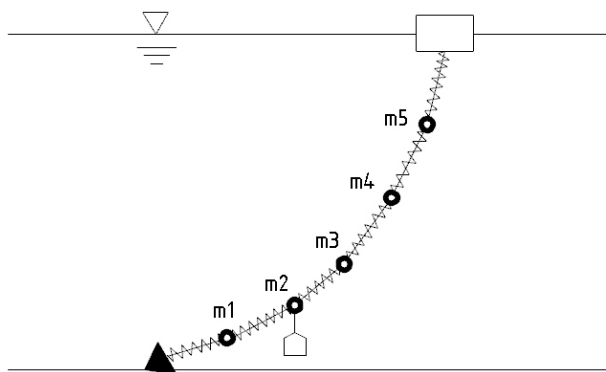
Системата за пасивно позициониране е съставена от определен брой котвени връзки (вериги, стоманени или синтетични въжета, или комбинации от тях), горните краища на които са прикрепени в специално определени точки (направляващи устройства - НУ) от конструкцията на съоръжението, а долните им краища са закотвени на морското дъно. Системата противодейства на хоризонталните силови въздействия от вятъра, вълните и теченията върху корпуса на съоръжението, така че да запазва определена позиция. В същото време системата трябва да бъде достатъчно еластична, за да разтовари опъновите усилия във връзките, което позволява на платформата да се клати под въздействието на вълните.

Усилията в котвените връзки участват при формирането на уравненията на движение на платформата. За решаването на тези уравнения в частност е необходимо да се знаят координатите на точките на окачване и закотвяне, дължината на котвената връзка и еластичните ѝ характеристики, както и разположението на котвените линии в план.

Извършеният преглед на съществуващите **теоретични формулировки** формира три възможни подхода – статичен, квазистатичен и динамичен – за пресмятане на усилията в котвените връзки.

Доколкото хоризонталните колебания на закотвеното съоръжение, следователно и на направляващото устройство, са с ниска честота, би могло да се приеме, че котвените връзки работят в квази-статичен режим, т.е., всяка моментна конфигурация да се разглежда в статична постановка. Това е приемливо в случаите на тежка котвена връзка, формирана от стоманена верига. Когато обаче относителното тегло на връзката не е голямо (например в случаите на синтетични участъци или поддържащи елементи, което обикновено се среща при дълбоководното закотвяне), тя променя значително моментната си форма и следователно се изменя стойността на опъновото усилие в направляващото устройство. Това налага разглеждане на задачата в **динамичен режим**, като определящи параметри са статичното усилие, амплитудите и честотата на колебание и характера на възстановяващата сила в котвената връзка.

За да се опише динамиката на гъвкавата линия, общоприето е непрекъснатата линия да се моделира като поредица от концентрирани маси, съединени посредством безтелесни пружини, както е показано на фиг.1, като по този начин всички действащи сили, разпределени по дължина на линията, се концентрират в краен брой точки от същата линия (това е известно като „метод на концентрираните маси“, или “lumped mass method”).



Фиг. 1 Замяна на непрекъснатата котвена линия със система концентрирани маси

Прилагайки уравненията за динамично равновесие към всяка от съставните маси, се получава система диференциални уравнения от Нютонов вид:

$$(|M_j| + |m_j(t)|) \cdot \ddot{x}_j(t) = F_j(t) \quad (1)$$

където:

$|M_j|$ - матрица на концентрираните маси

$|m_j(t)|$ - матрица на хидродинамичните (присъединени) маси

$x_j(t)$ - вектор на преместванията на точката (j)

$F_j(t)$ - вектор на външните сили

Външната сила, действаща във всеки възел (точка на концентрация), е съставена от следните компоненти:

$$F_j(t) = \Delta T_j(t) + F_D(t) + F_W(t) + F_S(t) \quad (2)$$

където:

$\Delta T_j(t)$ - приръст на опъновото усилие в сегмента (j) ÷ (j-1)

$F_D(t)$ - сила на хидродинамично съпротивление,
получена, например, съгласно формулата на Морисон

$F_W(t)$ - хидростатична сила (разлика между тегло и водоизместване)

$F_S(t)$ - сила на триене по дънния грунт

Системата (1) се решава до получаване на усилието в клюза (направляващо устройство) по метода на последователните приближения.

От своя страна, движение на тялото (платформата) на вълнение се описва най-общо чрез система диференциални уравнения във вида:

$$\sum_{i=1}^6 [(M_{ij} + A_{ij})\ddot{x}_i + B_{ij}\dot{x}_i + C_{ij}x_i] = F_j \quad (2)$$

където:

M_{ij} - маса на тялото и масови инерционни моменти

A_{ij} - хидродинамични присъединени маси при движение по направление (i) под действие на външна сила по направление (j)

B_{ij} - коефициенти на демпфиране при движение по направление (i) под действие на външна сила по направление (j)

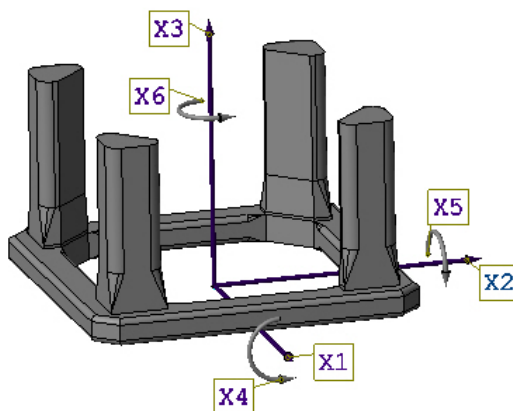
C_{ij} - възстановяващи сили при движение по направление (i) под действие на външна сила по направление (j)

x_i - направление на колебание, (i = 1 ÷ 6)

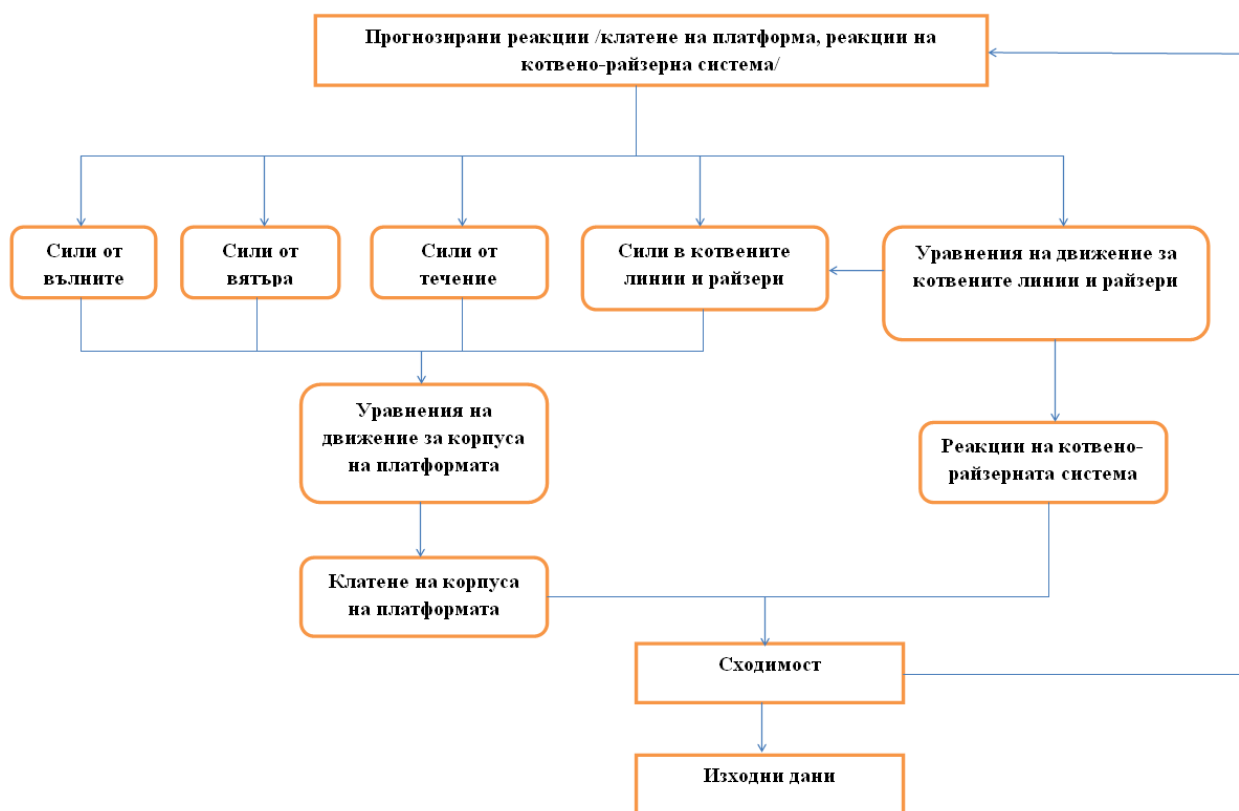
$F_j = F_{Wj} + F_{dj}$ - външна сила, съставена от главна част (наричана още сила на Фруд-Крилов) и дифракционна част

i, j (1 ÷ 6) - индекси, обозначаващи съответно направлението на колебание и направлението на действие на външните сили, както е илюстрирано на фиг. 2

При свързване на плаващото съоръжение с котвена система, ситуацията значително се променя, тъй като усилията в котвената връзка зависят от колебанията в точката на НУ, следователно от колебанията на съоръжението като цяло. Обратно, силите, предавани от котвените връзки, се добавят към външните сили, действащи върху тялото, и променят колебанията му. В този случай задачата за поведението на системата тяло-котвени връзки трябва да се преформулира с отчитане на взаимодействието им, както е показано на фиг. 3.



Фиг. 2 Дефиниране на степените на свобода



Фиг. 3 Комплексен анализ на взаимодействието на плаващото тяло с котвената му система

Принципно, уравненията на движение запазват структурата си съгласно у-ние (2), но се добавят нови членове, отчитащи влиянието на котвените връзки, а именно:

- Към масата на тялото се добавя масата на котвените връзки, M_c
- Към хидродинамичните коефициенти на присъединени маси и демпфиране на тялото се добавят и тези на котвените връзки, A_c и B_c
- Към възстановяващите (хидростатични) сили на тялото се добавят еластичните задържащи усилия в котвените връзки, T_c
- Силите от вятър и течение се добавят най-често като квази-статично натоварване, водещо до преразпределение на реакциите в котвените връзки

Това води до промяна на системата диференциални уравнения на колебанията на закотвено тяло във вида:

$$\sum_{i=1}^6 [(M_{ij} + M_{ic} + A_{ij} + A_{ic})\ddot{x}_i + (B_{ij} + B_{ic})\dot{x}_i + C_{ij}x_i + T(x_i)] = F_j \quad (3)$$

Според начина на определяне на силите на взаимодействие между плаващия корпус на съоръжението и котвените връзки, се прилагат различни методи на анализ, подобно на изолираната котвена връзка – статичен, квази-статичен или динамичен.

Параметрите, които могат да се променят при изчисления на натоварването в котвената връзка, са:

- броят и разположението на котвените връзки;
- съставът на връзката (верига, метално или синтетично въже);
- предварителното натягане в точката на окачване на котвените връзки;
- дължината и диаметъра на връзката (по сегменти).

Комплексният анализ позволява да бъдат изследвани някои аспекти, които имат важно значение за дълбоководните котвени системи, произтичащи от голямата дължина на котвените връзки и съответстващо голямото им тегло. Това са:

- динамиката на котвените линии, породена от скоростите и ускоренията на корпуса при клатене, в допълнение към квази-статичното натоварване в следствие на преместването;
- нискочестотното натоварване в котвените връзки, причинено от възстановяващите сили на всяка котвена линия;
- демпфирането на котвената система при нискочестотно движение;
- директното натоварване от течението върху котвените връзки, което има значително въздействие, особено върху средното изместване на корпуса.

Реализацията на така формулираната задача в случай на дълбоководно закотвяне среща определени трудности, по следните причини:

- Недостатъчното ниво на изучаване на всички фактори, влияещи върху поведението на плаващото съоръжение в реални морски условия
- Сложността на морскобазираните индустриални системи като форма, състав и характер на взаимодействие между компонентите
- Сложността на аналитичните методи за хидродинамична оценка и необходимостта те да бъдат опростявани (линеаризирани) за достигане до числено решение, което поражда неточности и възможност за пренебрегване на важни взаимодействия

В същото време, относително високата цена на морските съоръжения, и в частност тези използвани за добив на нефт и газ от големи дълбочини, предполага стремеж към възможно най-надеждна оценка на проектните характеристики и осигуряване на максимална ефективност в експлоатация. Това налага провеждането на моделни изпитания като гаранция за висока точност и достоверност на прогнозите.

В настоящата работа са анализирани **принципите, методите и средствата за провеждане на изпитания с физически модели** на закотвените плаващи съоръжения.

Процедурата по изследване на закотвеното съоръжение принципно се състои от следните етапи:

- Производство на физически модел на платформата в приемлив мащаб
- Разработка на модел на всяка котвена връзка и райсер
- Инсталиране на модела и котвената система в басейна
- Генериране на външните въздействия (вълнение, течение, вятър) в моделни условия
- Измерване на реакциите на платформата, включително напреженията в котвените въжета и хоризонталните измествания (офсети)

При провеждане на моделни изпитания на закотвени съоръжения в опитен басейн трябва да бъдат взети под внимание следните параметри:

- законите за подобие;
- условията на изпитания (течение, вятър, период, височината и посока на вълните);
- размерите (мащаб) на модела;
- размерите на басейна;
- коректното моделиране на котвените връзки;
- метод за закотвяне в моделни условия;
- продължителност на изпитанията, брой на повторенията за достоверност;
- точността на различното измервателно оборудване;
- сбора и обработката на резултатите.

За да се пренесат данните от моделни изпитания към натура, при моделирането е необходимо да се спазва законът на механично подобие, изискващ геометрично, кинематично и динамично подобие на модела и натурния обект. Пред вид вълновата природа на силите, предопределящи клатенето, се спазва условието на подобие между силите на тежестта и инерционните сили, което се изразява в равенство на числото на Фруд $Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$ за модела и платформата. В случай на работа с тънки елементи, като колони, въжета, райсери и др., се въвежда условието за съответствие на отношението между съпротивителните и инерционните сили при колебателно движение, изразявано чрез числото на Кьолеган-Карпентър $KC = \frac{VT}{D}$, където с T е означен периодът на колебание, а с D – диаметърът на тънкия елемент. В случаите, когато еластичната деформация на съоръжението или негов елемент играе определяща роля при формиране на реакцията, е необходимо да се реализира моделна еластичност, съответстваща на натурната съгласно закона на Коши $(EI)_n = \lambda^5 (EI)_m$, където с E е означен модула на еластичност, а с I – инерционния момент на напречното сечение на елемента.

При известни характеристики на течността в басейна и натурни условия, с помощта на горните критерии могат да се получат съотношенията между моделните и натурните величини.

При **моделирането на обекти с малък диаметър** и голяма дължина (котвени връзки, райсери, кабели, тендори и т.н.) в лабораторни условия, трябва да се мащабират реалните им размери (дължина, диаметър). Това се постига чрез комбиниране на различни материали (вериги, жици, синтетични въжета), въвеждане на тежести, пружини и т.н. Еластичността на връзката е важна характеристика, която трябва да се мащабира с подходящ материал.

Една от важните характеристики на веригата е теглото ѝ на единица дължина. Материалите и размерите на модела на веригата трябва да се изберат така, че да се постигне коректно теглото в мащаб.

Геометрията на връзката (линията на провисване) се мащабира трудно, поради трудността за моделиране на разпределението на теглото и напречните размери, което въвежда неточност в симулирането на хидродинамичното демпфиране на връзката, движението ѝ, както и въздействието от вълните и теченията в повърхностните слоеве на течността.

При мащабиране на елемент с малък диаметър се изхожда от неговата дължина $L_n = \lambda L_m$ и тегло $w_n = \lambda^3 w_m$. В допълнение, се определя модулът на еластичност за модела, а именно, $E_n = \lambda E_m$. Тези три условия правят трудно моделирането на напречния размер (диаметър) при използване на един материал, затова обикновено се използва комбинация от материали. Друг често използван подход е разпределението на масите в концентрирани точки, свързани с участъци с подходящ диаметър и еластичност.

Изпълнението на тези мерки трябва да осигури точното моделиране на хоризонталната еластичност на котвената система в диапазона на очакваните измествания, както и вертикалните и хоризонтални компоненти на предварителното (статично) натягане.

Изследванията на котвените системи на съоръжения, работещи на дълбочина не повече от 700 - 800 м, е достатъчно утвърдена процедура, включваща и моделните изпитания в диапазон на приемливите мащаби от 1:40 до 1:80. Проблемите възникват, когато става дума за дълбоководна позиционираща система (за дълбочини от 1000 - 1500 м и повече). По принцип размерите на съществуващите опитни басейни не позволяват да се провеждат изпитания в достатъчно голям мащаб, тъй като дълбочината на повечето басейни в изследователските центрове варира от 5 до 10 м и в случай на изследване на дълбоководни системи тези размери не осигуряват необходимите условия за моделни изпитания на пълна дълбочина. За пример можем да разгледаме дълбоководния басейн на ЦХА, с дълбочина на водата 6.5 м. При мащаб на модел на платформа от 1:70, който осигурява добро хидродинамично моделиране и допустимо влияние на мащабните ефекти, за да се моделира експлоатационна дълбочина от 1400 м ще е необходима дълбочина на водата в басейна от 20 м, което е невъзможно. Същите разсъждения са валидни и за необходимите дължини на разставяне на котвите, които в модел могат да достигнат 40 - 50 м. Подобно е положението във всички експериментални съоръжения с общо предназначение, а дори и специализираните океански басейни не разполагат с такива дълбочини. Понастоящем не съществува (и не е планирано построяване на) моделен басейн, в който могат да се

проведат изпитания на дълбоководни съоръжения в традиционен мащаб и с пълна дължина на котвено-райсерната система.

За решаването на този проблем в последно време са се сформирали няколко направления:

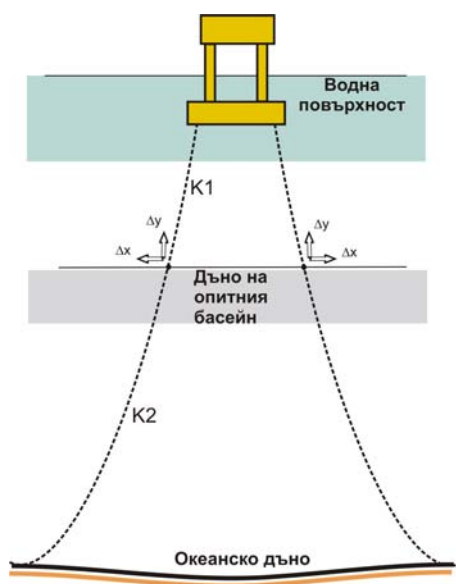
- моделиране в супер малък мащаб;
- използване на дълбоководен кладенец;
- натурни изпитания в открити акватории;
- използване на скъсени модели.

Анализът на тези подходи показва, че най-подходящ за реализация и най-достоверен е този с използване на **скъсени по дълбочина модели**.

Скъсяването на дължината на котвената система се осъществява чрез срязване на линиите на нивото на дъното на басейна, както е илюстрирано на фиг. 4. Директното използване на такава скъсена система обаче променя еластичността на цялата система, която трябва да бъде компенсирана по някакъв начин.

Трудността на моделиране и настройка на скъсените котвени системи в басейна произтича от следните причини:

- Еластичността на котвената система често е нелинейна
- Предварителното натягане и ъгъла на подход на котвената линия към корпуса могат да се запазят, но формата на провисване, както и ъгъла на наклон на линията и опъна в точката на срязване не могат да се моделират
- Промените на ъгъла при направляващото устройство, когато платформата се клати на вълнение, също не могат да се възпроизведат.



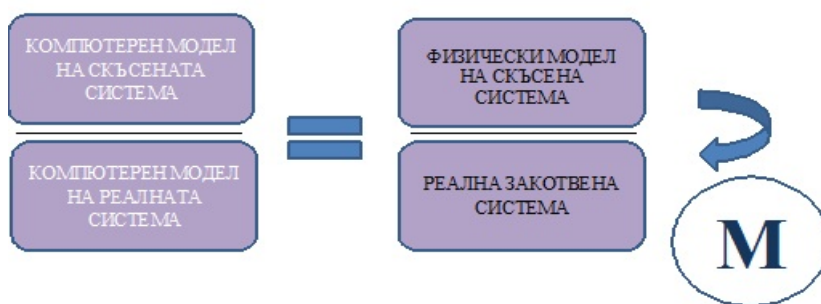
Фиг. 4 Скъсяване на котвената система

Съществуват няколко подхода за **компенсация на ефекта на скъсяване**, основани на използването на специални механизми – **актуатори** с разнообразна конструкция, като различните експериментални лаборатории са реализирали индивидуален подход при проектирането им в зависимост от конкретните параметри и технологичните възможности на експерименталното съоръжение (опитния басейн), наличната измервателна апаратура, както и от типа на изследваната конструкция. Във всички случаи са възможни отклонения

от точността вследствие несъвършенствата на механичната конструкция. Това предполага търсенето на някакъв **еквивалентен** подход, обединяващ моделните изпитания на скъсен физически модел със **съпътстващ калибриращ числен анализ**.

Същността на хибридният подход е комбинация от моделни изпитания и компютърна симулация.

Скъсената система представлява квази-статичен еквивалент на пълната система, при който динамиката на тънките елементи (елементи с малък диаметър) и резултиращото демпфиране на цялата система (корпуса заедно с котвените и райсьърните връзки) няма да бъдат коректно възпроизведени. Пълното физическо съответствие между скъсения и реалния модели на закотвящата система се постига чрез последващ калибриращ числен анализ, сравняващ съотношението на двата вида модели, наричан още „хибриден анализ“. Основното предположение при този метод е, че съотношението на двата физически модела (скъсен и реален) е равно на съотношението на съответните числени модели, както е показано на Фиг. 5:



Фиг. 5 Основополагащ принцип при прилагане на хибридният метод

Практическата реализация на хибридният метод включва следните фази:

- Проектиране и изработка на физически „скъсен“ модел на системата „плаваща платформа – котвени и райсьърни връзки“, с коректно моделиране на теглата, общата хоризонтална еластичност, общата хоризонтална и вертикална възстановяващи сили на котвените линии и райсьъри, и с приблизително, но приемливо ниво на демпфиране и на начално натягане в котвените връзки (коректното моделиране на теглото и еластичността осигурява моделиране на собствените периоди на колебание);
- Провеждане на моделни динамични изпитания на вълнение за определяне на параметрите на колебанията на платформата и усилията в котвените връзки на „скъсения“ модел;
- Създаване на числени модели на „скъсена“ („модел на модела“) и реална котвени системи, пресмятане на колебанията на платформата и усилията във връзките за моделната и реалната системи;
- Определяне на „хибриден“ коефициент на съответствие между параметрите на двата числени модела;
- Екстраполация на резултатите от моделните изпитания към натура с използване на коефициентите на съответствие.

За реализацията на метода е необходимо наличието на три фактора, а именно:


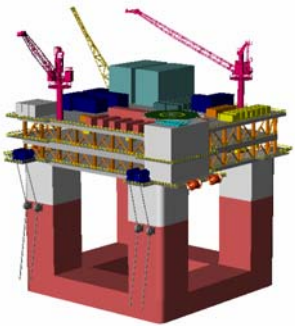
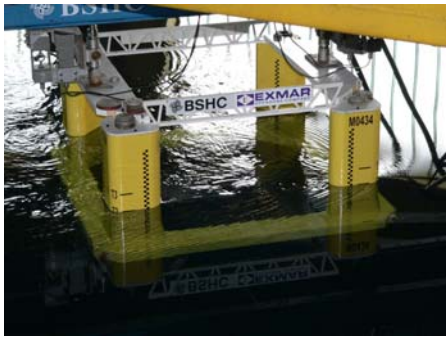
- **Достатъчна дълбочина на опитния басейн**, даваща съответно възможност точката на срязване да е на достатъчна дълбочина, за да могат хоризонталните измествания и еластичност, както и входящите ъгли на котвената линия към направляващото устройство, да се моделират с приемлива точност. Това ограничава приложимостта на метода единствено в дълбоководния басейн на ЦХА.
- Наличие на възможности за **изработка на механичната конструкция** на придънния актуатор
- Наличие на **специализиран софтуер** за създаване на числените модели на реалната и скъсената котвени системи. Анализът на съществуващите софтуерни продукти показва, че те са близки както по области на приложение, така и по обхванатите видове анализ и прилаганите теоретични методи, което е предопределено от предписанията на авторитетни контролни и класификационни организации. Доколкото в ЦХА са налични двата софтуерни продукта MORA и ROMEO, те са избрани за реализиране на дейностите по изграждане на **компютърните модели на котвените системи** в рамките на настоящата работа.

От извършеното в Глава I проучване на съвременното състояние на проблемите по изследването на дълбоководни пасивни котвени системи чрез използване на скъсени по дълбочина модели, могат да се изведат следните **тенденции на развитие**:

- Поради практическата невъзможност за моделиране на котвените системи по пълна дълбочина, е необходимо разработването на хибриден подход за изследване, комбиниращ резултати от числени модели и експериментални изследвания със скъсени физически модели
- Поради разликите във физическите параметри, експерименталното оборудване и разполагаемия специализиран софтуер в различните изследователски лаборатории, разработвания хибриден метод трябва да е съобразен с наличните условия в конкретното експериментално съоръжение
- Общите принципи, на които трябва да отговаря разработвания подход, са:
 - да е наличен механизъм, позволяващ да се симулира динамиката на скъсения модел в съответствие с реакциите на натурната пълна котвената система като цяло и динамиката на точката на скъсяване в частност
 - механизмът (т.н. актуатор) може да има различна конструкция, но трябва да осигурява съответната еластичност на котвените еквивалентни връзки, подходящо ниво на демпфиране и инерция, както и коректни значения на входящите и изходящите ъгли на котвената линия
 - да е наличен подходящ специализиран софтуер за изграждане на двата числени модела – пълен и скъсен

2. В Глава 2 е описано експерименталното изследване на поведението на скъсена пасивна котвена система на вълнение като основна част при прилагането на хибридният метод.

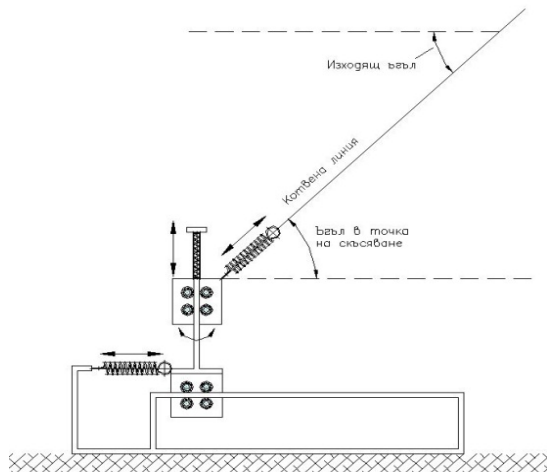
Изследванията при разработката на дисертационния труд са проведени с физически модели на три полупотопени плаващи платформи от експерименталната програма на Центъра по хидро-и аеродинамика, както следва:

Обект	Общ вид	Модел
<p>Полупотопена сондажна платформа ППП1</p>		
<p>Полупотопена платформа за дълбоководно сондиране ППП2</p>		
<p>Полупотопена платформа за дълбоководно сондиране ППП3</p>		

Фиг. 6 Общ вид на изследваните обекти

За закотвянето на моделите в басейна са използвани скъсени по дължина пасивни котвени системи. Движението на точките на срязване е симулирано с използване на **придънен пружинен механизъм - актуатор**, проектиран и изработен в ЦХА, така че да се осигури съответствието между еластичността на връзките и хоризонталните измествания.

Работната схема на проектирания актуатор за изследване на първите два обекта е показана на фиг. 7:

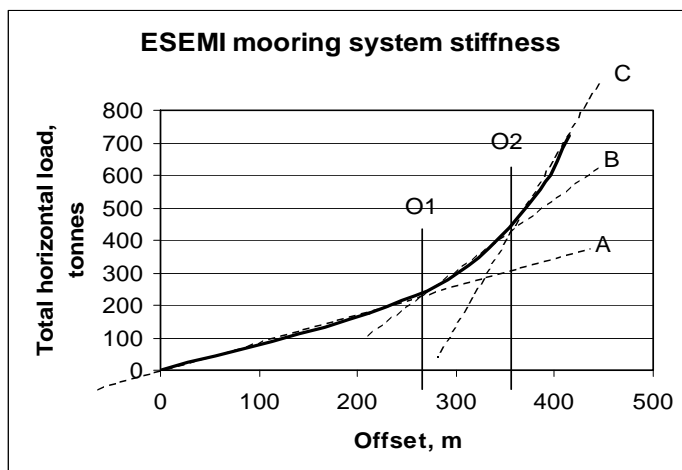


Фиг. 7 Принцип на действие на механичния пружинен актуатор

При него еластичността се моделира с помощта на комплект от три пружини с различен коефициент на коравина и дължина, а хоризонталните измествания се имитират чрез преместване на каретките по плъзгачите. При инсталирането му на дъното на басейна актуаторът се ориентира по направление на котвените линии. За детайлно моделиране на структурата на котвената система, която съдържа 12 котвени връзки, групирани по 3 около всеки ъгъл на платформата, са изработени 4 комплекта от по три актуатора в общ корпус.

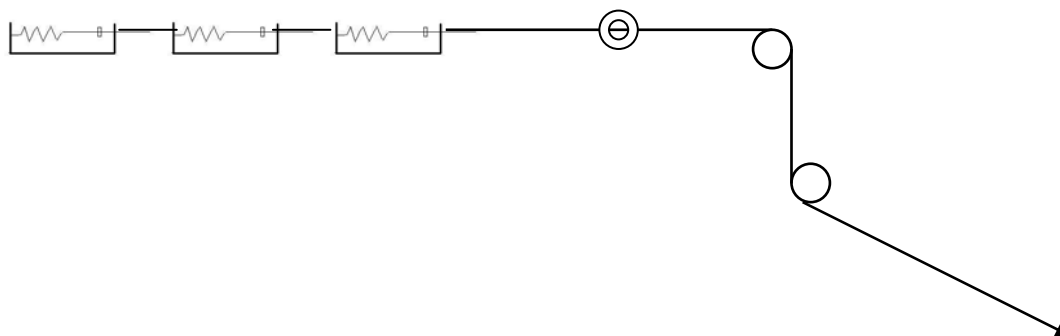
За изпитанията на обект ПППЗ е разработен подобрен вариант с използване само на две пружини и една хоризонтална каретка, като вертикалните колебания се поемат от наклонената пружина.

Коравината на котвената система като цяло се дефинира като обща сила, необходима за отклонение на платформата на единица разстояние. В общия случай тя е нелинейна, което е следствие на голямата дълбочина и съответно дължина и състав на въжетата, и не може да се моделира само с една пружина. За целта кривата се разбива на части – 2 или 3, или повече, според конкретния случай:



Фиг. 8 Сегментиране на коравинната крива

Това означава, че за примера на фиг. 8, при разтяганя до т. О1 системата трябва да има коравина по линия А, от О1 до О2 – по линия В и от т. О2 нагоре – по линия С. Това е изпълнено чрез поставяне на ограничители на разтягането на всяка съставна пружина, както е показано на фиг. 9, сработващи последователно в зависимост от коравината им.



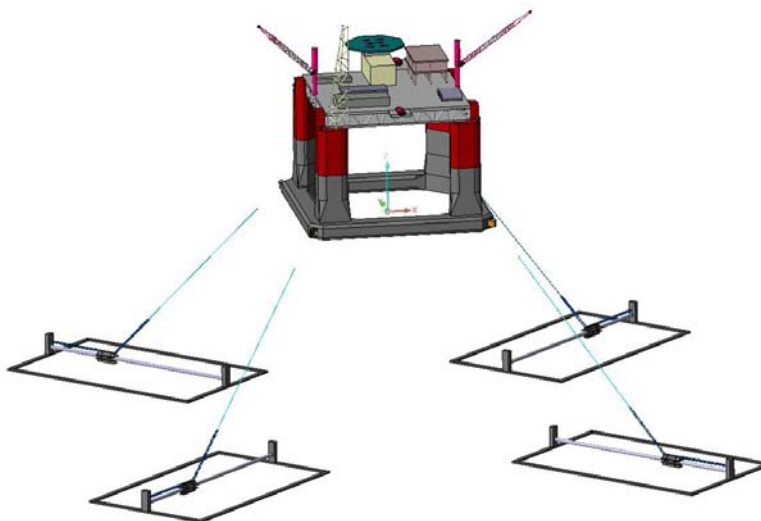
Фиг. 9 Моделиране на нелинейността на реакцията в котвената връзка

Реалните котвени връзки на разглежданите обекти се състоят от няколко елемента - верига към котвата, стоманено въже, синтетично въже и пак верига към НУ. Всеки от тях има различен ефективен модул на еластичността ЕА. Еквивалентната коравина е определена на базата на коравините на съставните елементи по специален алгоритъм, определящ еластичните свойства на компонентите в подвижния механизъм на актуатора.

В процеса на изпитанията на обекта ПППЗ беше изследвана възможността за обединяване на близки по позиция връзки, с цел опростяване на опитната постановка.

Моделните изпитания на трите изследвани обекта са извършени в аналогична постановка, с плаващ модел на платформата, балансиран статично и динамично за постигане на пълно съответствие с натурните му масово-инерционни характеристики и закотвен чрез скъсена котвена система към разположени на дъното механични пружинни актуатори, както е показано на фиг. 10.

Специално внимание беше обърнато на моделирането на котвената система. Положението на актуаторите в план беше определено по геометрични построения на точката на скъсяване с отчитане на свободното провисване на линията, така че ъглите на подход на линията към направляващо устройство да са точно моделирани. Точно беше моделирано теглото на всяка котвена връзка и предварителния опън, за да се запази баланса на теглата.



Фиг. 10 Схема на скъсената котвена система

Изпитанията се проведоха в широк диапазон на вълнови параметри, като се измерваха колебанията на модела на платформата и усилията в котвените връзки.

Записаните временни редове бяха обработвани с използване на хармоничен, спектрален и статистически анализ, като амплитудите на опъновите сили в котвените връзки бяха допълнително подложени на Вейбъл-анализ за получаване на най-вероятния максимум, във вида:

$$x_{MPM} = \theta + \alpha \cdot \sqrt{\beta \cdot \ln\left(\frac{1}{N}\right)} \quad (4)$$

където:

α - мащабен параметър в три-параметричното вероятностно разпределение на Вейбъл,

β - параметър на формата на разпределение,

θ - позиционен параметър,

N – брой на максимумите в извадката.

Специално внимание беше отделено на оценката на неопределеността при измерванията, доколкото измерването е повлияно от редица неблагоприятни фактори, като неточности при генериране на вълнението, въвеждането на честотни ограничения („cut-off frequencies”) при спектралния анализ, работа на измерителната апаратура в динамичен режим, хистерезиса при еластичните колебания на котвената връзка и др. Общата стандартна неопределеност се определя по формулата за разпространение на грешките. В частност, за параметрите на клатене са получени оценки от вида

$$u_c(z') = \left[\left(\frac{1}{\zeta_A} \right)^2 u^2(z) + \left(-\frac{z}{2\zeta_A^2} \right)^2 u^2(\zeta_A) \right]^{1/2} \quad (5)$$

където, z и ζ_A са амплитудите на съответното клатене и на вълната, а $u(z)$ и $u(\zeta_A)$ са респективно общата стандартна неопределеност на измерените амплитуди на клатене и вълнение, включващи неопределеностите тип А и тип В на източниците на грешки.

Получените оценки за неопределеността при измерване на клатенето са:

За вертикално клатене: 3.25% Z_{max}

За килево/бордово клатене: 4.13% θ_{max}

Аналогично, с оглед използваната зависимост (4) за определяне на най-вероятния максимум на опъновите сили във връзката, получаваме оценка за комбинираната неопределеност:

$$U_c(x_{MPM}) = \left[U^2(\theta) + \sqrt{\beta \cdot \ln\left(\frac{1}{N}\right)} \cdot U^2(\alpha) + \left(\frac{N}{\beta \cdot \sqrt{\beta \cdot \ln\left(\frac{1}{N}\right)^{\beta-1}}} \right) \cdot U^2(N) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Оценката на неопределеността на крайните резултати от измерванията на силите в котвените връзки, с натрупване на грешките от измерване, тариране и оцифряване, показва стойности от порядъка на 10.3% F_{lmax}

Общото заключение от направената оценка на неопределеностите при изпитания на модели на котвени системи е, че измерванията са извършени с допустима в рамките на динамичния моделен експеримент точност.

3. В Глава 3 са обобщени извършените в рамките на дисертационния труд **изчисления и сравнителни оценки на пълния и скъсеня модели на плаващото съоръжение.**

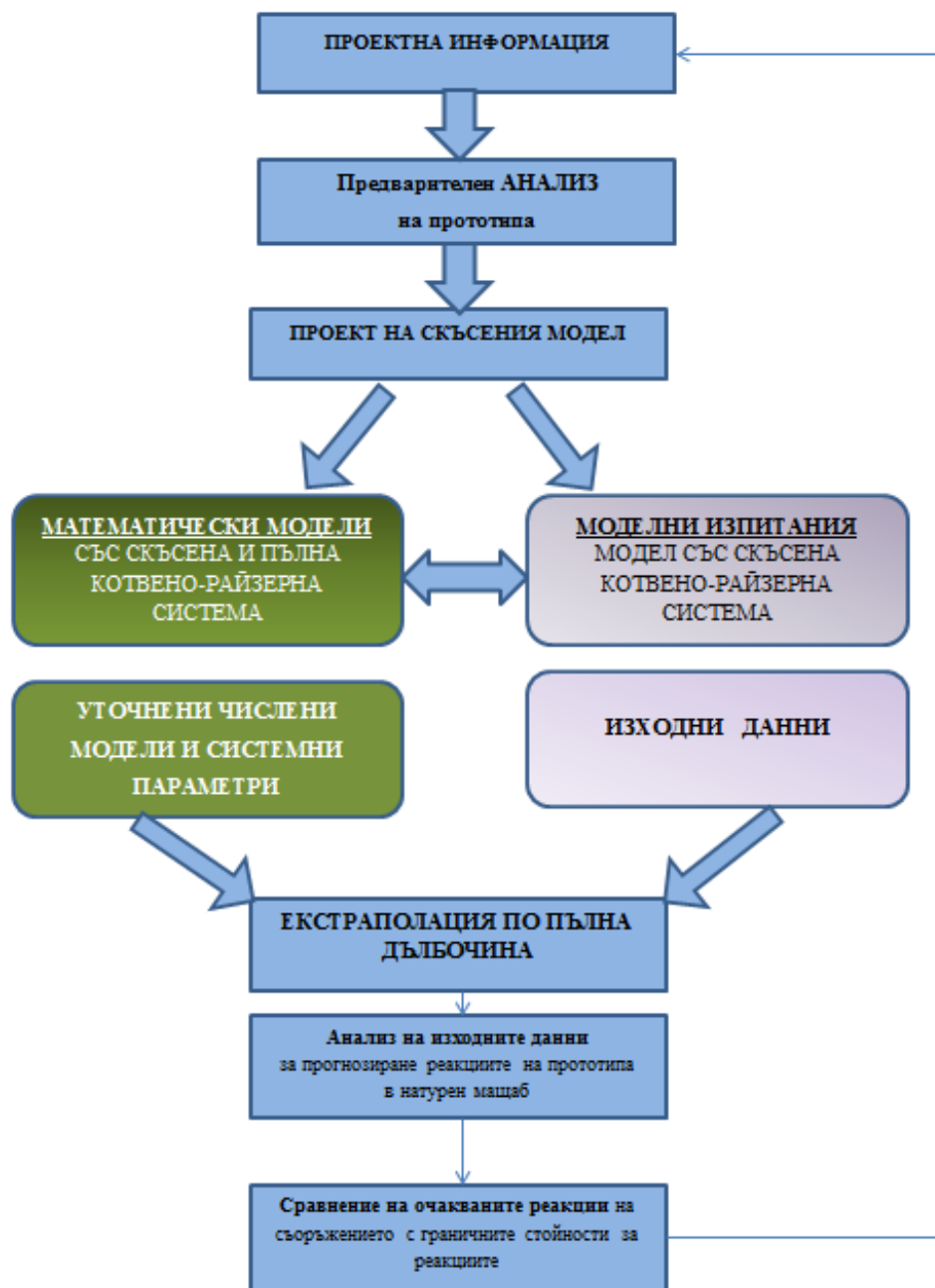
За създаване на възможност за провеждане на моделни изпитания на закотвени морски плаващи съоръжения със скъсени по дълбочина пасивни котвени системи в условията на ЦХА е избран **комбиниран («хибриден») метод**, включващ както механичното моделиране на движението в точката на скъсяване на котвената връзка, така и допълнителна калибровка чрез съпоставяне на числени модели. При това, стремежът е да се моделира физически движението на съоръжението в хоризонталната равнина (хоризонталните измествания) и хоризонталната коравина на котвената система, а «хибридната» корекция да отчете единствено разликите вследствие непълното моделиране на демпфирането на елементите, съставлящи котвената система (котвени връзки, райсьри и др.), т.е., ударението се поставя върху **физическото моделиране**. Това е възможно в условията на ЦХА, защото експерименталният дълбоководен басейн разполага с достатъчно дълбочина, за да се моделира съществена част от дължината на котвената линия.

Процедурата е изградена в няколко последователни стъпки, както следва:

- Избор на подходящ мащаб и определяне параметрите на физическия модел на скъсената котвена система
- Изчисляване на еквивалентната еластичност на скъсената система
- Изработка на физически модел на скъсената котвена система
- Изработка на комплект придънни механични актуатори
- Съставяне на 3-D компютърен модел на закотвеното съоръжение с оригинална и със скъсена котвени системи
- Изчисляване на характеристиките на клатене на свободноплаващото съоръжение
- Изчисляване на движенията на закотвеното съоръжение с оригинална и със скъсена котвени системи
- Провеждане на моделни изпитания със скъсена система и механичен актуатор
- Сравнителен „хибриден“ анализ за получаване на съответствие, от една страна, между резултатите от моделни и изчислителни оценки на силите в котвените връзки на скъсената система, и от друга страна – между изчислителните оценки на пълната и скъсената системи, извеждане на коефициенти на съответствие
- Екстраполация на резултатите по пълна дълбочина

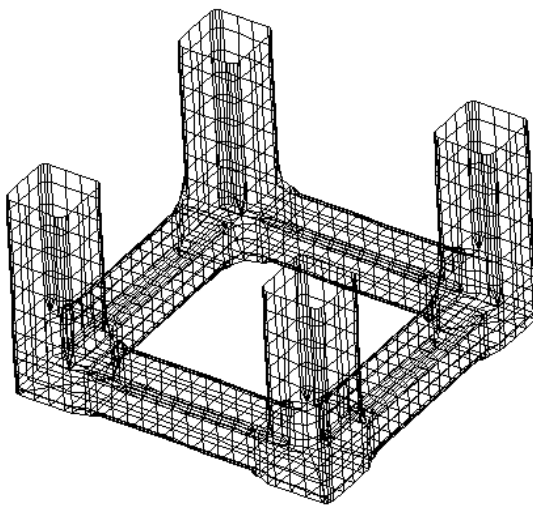
В рамките на предварителния анализ е извършено изчисляване на динамичните характеристики на свободно плаващите съоръжения.

Изчисленията на поведението на обектите на вълнение е извършено с помощта на специализирания софтуер MORA®. Програмният пакет е базиран на линеаризирана тримерна хидродинамична потенциална теория с отчитане на дифракционните и радиационните (излъчващи) ефекти, развита в честотната област. За отчитане на вихрообразуването около острите ръбове на подводните елементи на корпуса се въвеждат допълнителни «Морисоновски» елементи с нулева маса, но генериращи демпфиращи сили.

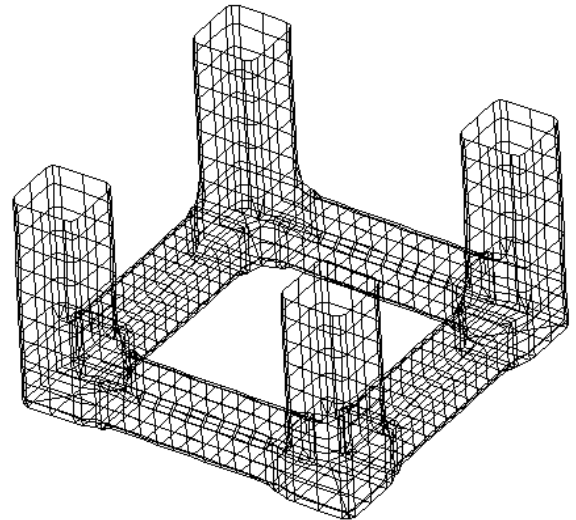


Фиг. 11 Схема на приложение на хибриден подход за изследване на пасивни дълбоководни котвени системи в ЦХА

Основен проблем при прилагането на софтуера е изграждането на панелния модел. Трудностите идват както от сложната форма на подводната част на корпуса, така и заради необходимостта да се оцени ефективния размер и брой на използваните панели. Извършена е оценка на влиянието на гъстотата на мрежата върху точността на резултатите, като са разработени два паралелни модела на един от изследваните обекти с различен брой панели и резултатите сравнени.



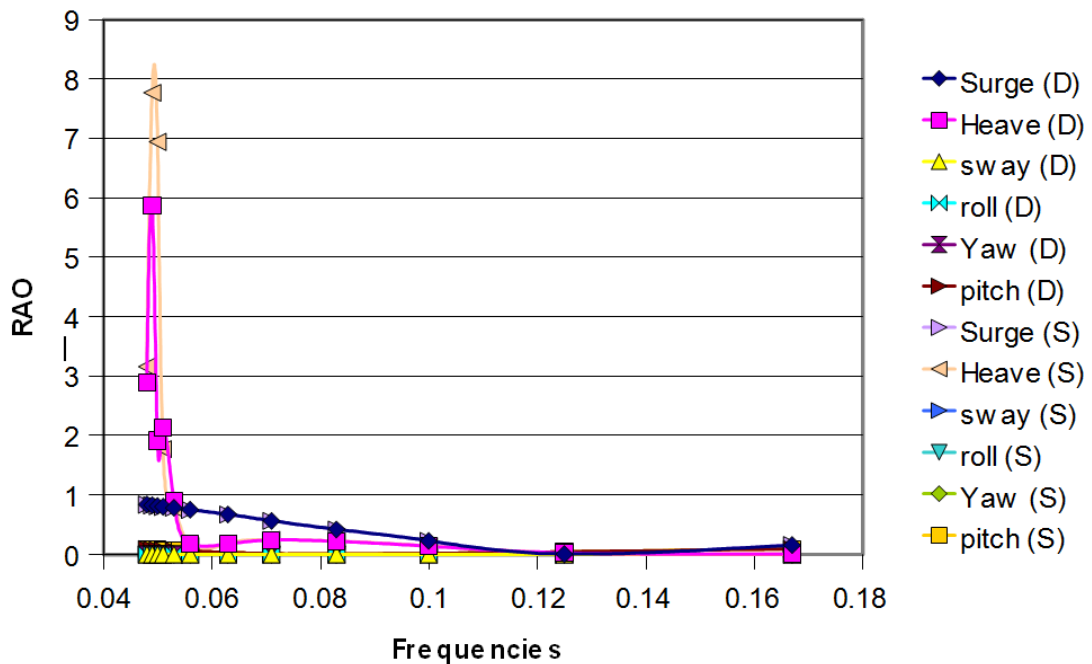
2688 панела



1768 панела

Фиг. 12 Панелни модели на платформата ППП2 с различна гъстота на мрежата

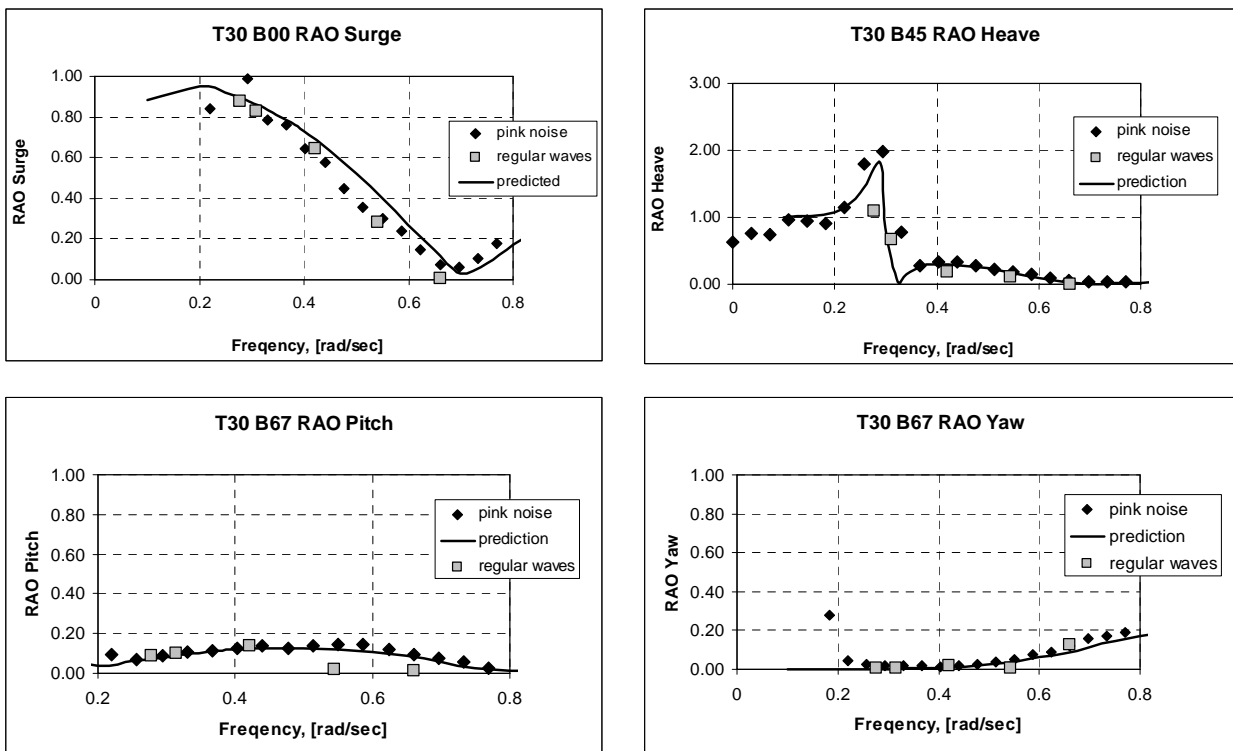
Резултатите от сравнителните изчисления за предавателните функции на клатене са показани на фиг. 13.



Фиг. 13 Диаграми на предавателните функции на клатене, изчислени за детайлния (D) и опростения (S) модели на обект ППП2

Вижда се, че единственото различие се появява в зоната на резонанс на вертикалното клатене, което обаче е в тесен честотен диапазон, освен това е известно, че вертикалното клатене не влияе значително върху параметрите на котвената система. Горното сравнение показва, че за моделиране на реакциите на закотвено съоръжение могат да се използват модели с по-едра мрежа, което намалява значително изчислителното време.

За оценка на точността на изчисленията беше извършено сравнение с получени в ЦХА експериментални резултати, примерно илюстрирано на фиг. 14. Демонстрирано е много добро съвпадение, което доказва приложимостта на избрания софтуер за числено моделиране на поведението на плаващите обекти на вълнение.



Фиг. 14 Сравнение между характеристиките на клатене на обект ПППЗ, получени по различни методи

Основната идея на предлагания хибриден метод е при наличие на изходни данни от моделни изпитания със скъсен модел на котвената система да се получат резултати за реалния закотвен обект. Тъй като поради скъсяването динамиката на котвените линии се променя, за да се намерят екстраполационните зависимости е необходимо да се построят два компютърни модела - на скъсената котвената система в реален мащаб и на зададената реална (прототипна) система.

Моделирането на двата типа котвени системи и изчисленията на усилията в котвените връзки на двата модела – пълен и скъсен – при различни вълнови режими беше извършено с помощта на специализирания софтуер ROMEO® и с използване на резултатите от изчисленията на свободните колебания на плаващото съоръжение.

Основен критерий за съответствие на двата модела е съвпадението на хоризонталните измествания при еквивалентни външни условия, което е постигнато чрез калибриране на параметрите на скъсената система. Така калибрираните модели са подложени на динамичен анализ в честотната област, който дава стойностите за усилията в най-натоварените котвени връзки.

В момент на покой, когато външните сили не въздействат върху конструкцията на платформата, линейното усилие в горната част на връзката (в направляващото устройство)

зависи само от теглото на връзката и зададеното начално натягане T_0 (pre-tension), което е проектна величина, зависеща от режима на работа на съоръжението.

В реални условия на експлоатация върху съоръжението действат сили от вятър, течения и вълнение. При положение, че сме постигнали статично и квази-статично съответствие между двата модела, разликата в динамичен режим (клатене на вълнение) ще се появи вследствие различните хидродинамични сили, действащи в случай на скъсена и на пълна котвена система.

За да получим търсените екстраполационни зависимости, изхождаме от предположението за съответствие на изчислителните и физическите модели на двете системи – пълната и скъсената, съгласно възприетата процедура.

„Хибридният“ коефициент на пропорционалност на натоварванията може да бъде представен по 2 начина:

1 вариант – Като отношение на разликата между максималното и началното значения на напрежението за пълната система ΔT_{fs} и това за скъсена ΔT_{tr} ($\Delta T = T_{max} - T_0$):

$$\Delta T = \Delta T_{fs} / \Delta T_{tr}$$

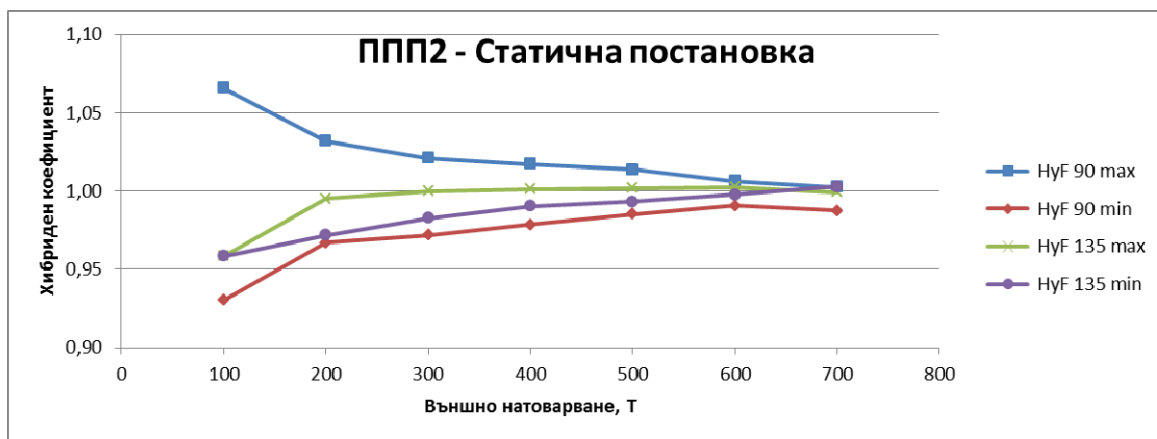
2 вариант – T/T - Като отношение на напреженията в линиите на пълната система T_{fs} към това за скъсената T_{tr} :

$$T/T = T_{fs} / T_{tr}$$

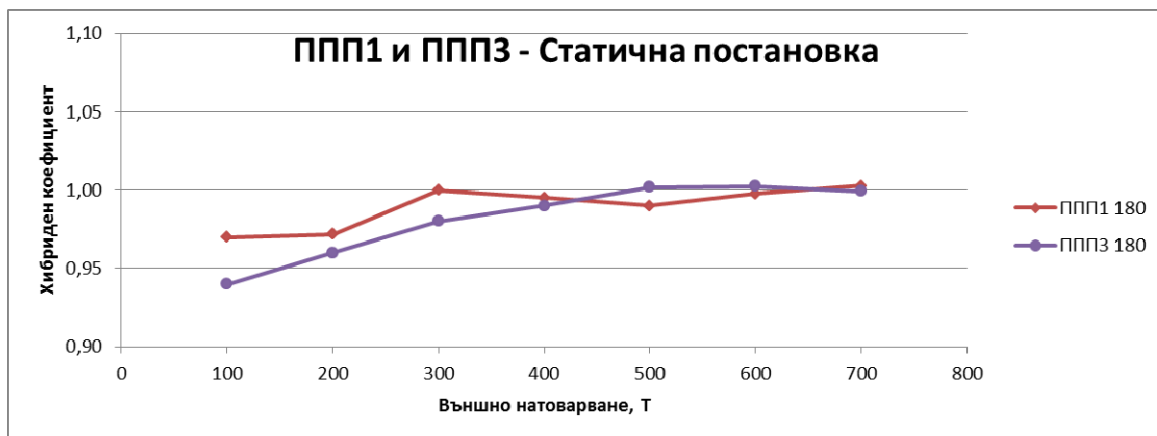
Резултатите от изчисленията за двата варианта на хибридният коефициент при различни видове натоварване показва, че за по-лесно и по-ефективно прилагане може да се приеме първия вариант, даващ съответствието между относителните нараствания на усилието във връзките - ΔT , тъй като неговото значение се оказва относително постоянно и варира около 0.9 за динамични усилия в голям диапазон вълнови натоварвания.

Зависимостта на коефициентите на съответствие от интензивността на комплексното външно натоварване е изследвана в широк диапазон на изменение на неговите стойности.

Определянето на коефициента на съответствие за случай на статично натоварване показва, че стойността му в този случай се доближава до единица, което е физически обосновано и може да служи като критерий на достоверност на моделирането.



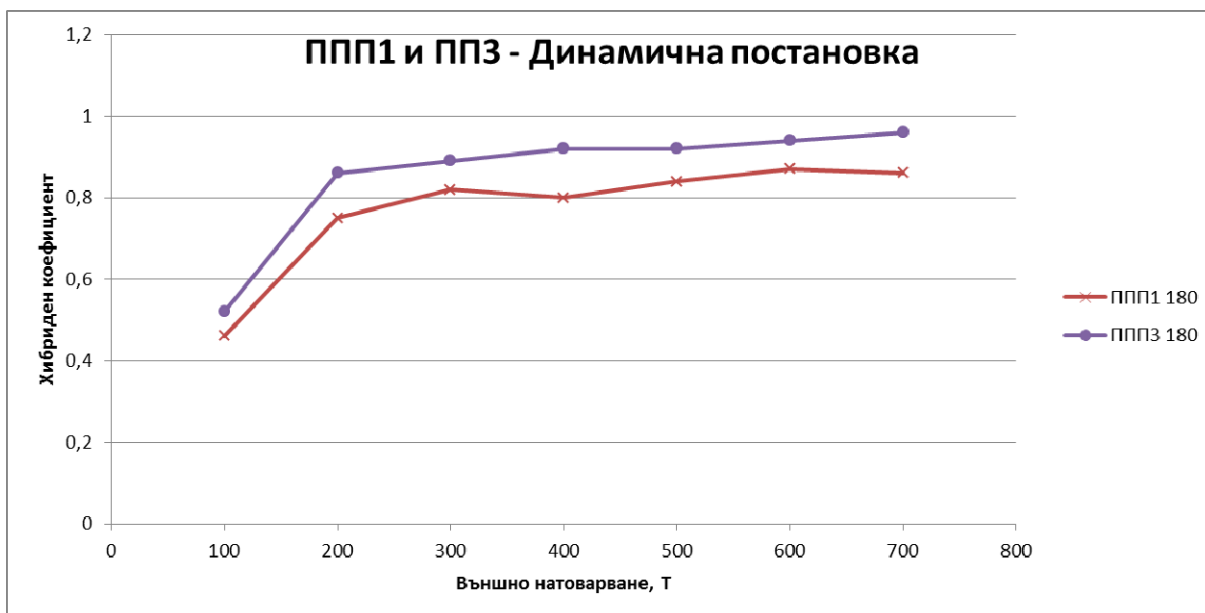
Фиг. 15 Коефициент на съответствие в статична постановка за обект ППП2



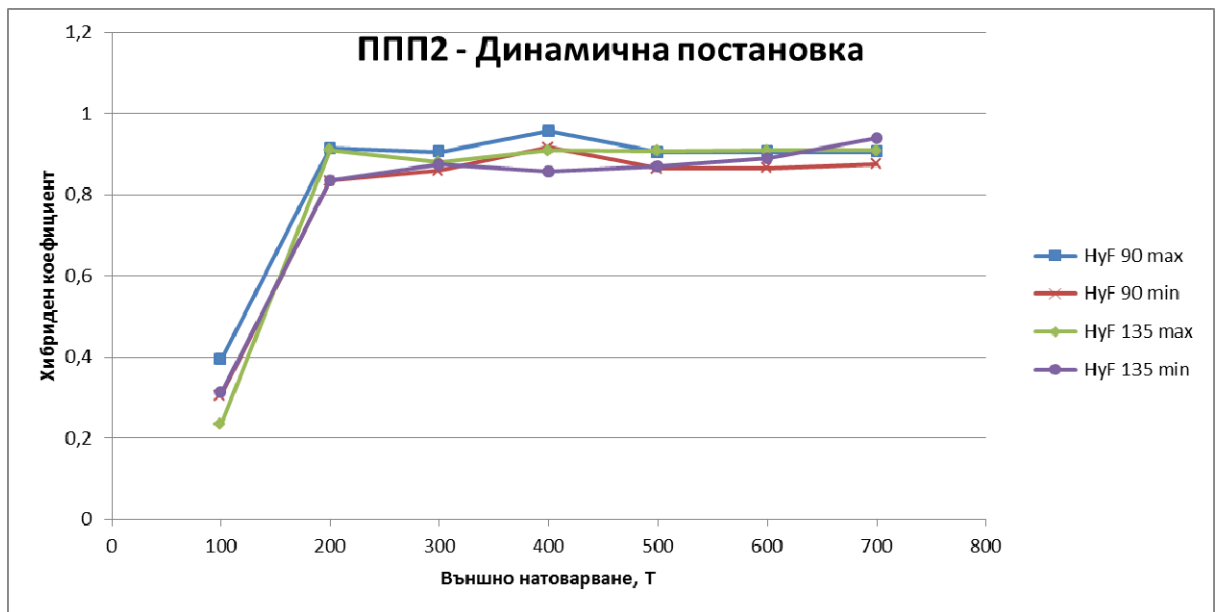
Фиг. 16 Коефициент на съответствие в статична постановка за обекти ППП1 и ППП3

От приведените примерни резултати се вижда, че и при трите обекта на изследване стойностите на статичния коефициент клонят към единица с увеличаване на външното натоварване. Това е обяснимо с факта, че при по-малки натоварвания разликите (нарастванията) на усилията са малки и това води до отклонения в стойностите на коефициентите.

Изменението на динамичният коефициент на съответствие с увеличаване на външното натоварване е показано на фиг. 17 и 18. Казаното по-горе по отношение на статичния коефициент е в сила и за динамичния – във всички изследвани случаи стойностите на коефициента са нестабилни при по-слабо натоварване и се устремяват към една устойчива величина от около 0.9 с нарастване на натоварването:



Фиг. 17 Графично представяне на динамичния коефициент на съответствие за обекти ППП1 и ППП3 в зависимост от интензивността на външното натоварване

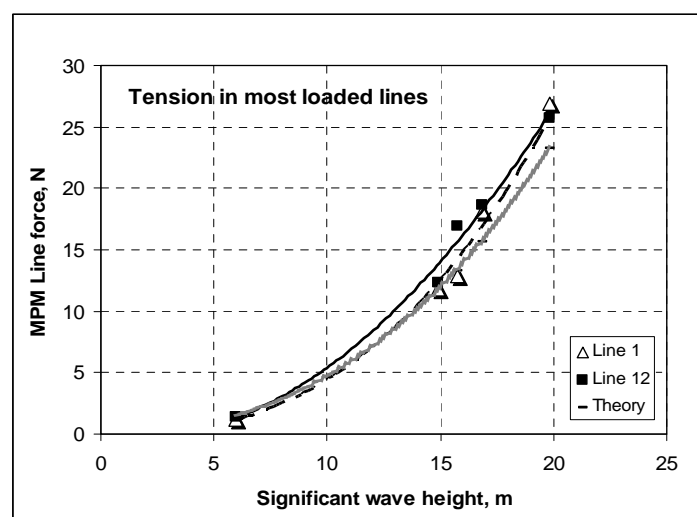


Фиг. 18 Динамичен коефициент на съответствие при различни курсови ъгли

Получените резултати потвърждават заключението, че коефициентът на съответствие е по-стабилен и почти константен за случай на натоварена връзка и варира в по-големи граници за ненаатоварени връзки.

Сравнението на резултатите при различни курсови ъгли подсказва, че няма забележимо влияние на курсовия ъгъл, което е логично предвид на това, че най-натоварената котвена връзка винаги е ориентирана против посоката на действие на външните сили.

В заключение, на фиг. 19 е демонстрирано сравнение на резултати за усилията в най-натоварената котвенна връзка, получени чрез директни изчисления по пълна система и чрез екстраполация на моделни резултати, получени със скъсена система, което показва много добротото съответствие между прогнозите.



Фиг. 19 Сравнение на резултатите от моделни изпитания и от численото моделиране

Общи изводи по получените резултати

В дисертационния труд е отразено създаването на хибриден метод за провеждане на моделни изпитания на дълбоководни котвени системи с използване на скъсени по дълбочина модели и последваща екстраполация до реална система на база на сравнително числено моделиране.

Показана е възможността за реализация на метода в конкретните условия на Центъра по хидро- и аеродинамика – Варна и с използване на наличния специализиран софтуер, което разширява номенклатурата на моделните изпитания и дава допълнителни възможности на хидродинамичните лаборатории с общо предназначение.

Разработените числени модели на пълна и скъсена котвени системи са валидирани по отношение на съответствие на статичните натоварвания и динамичните хоризонтални офсети. Еквивалентността на хоризонталните измествания потвърждава коректността на избора на механичните характеристики на придънния актуатор, проектиран за целите на приложение на разработвания хибриден метод.

Методът е апробиран върху три различни проекта на полупотопени плаващи сондажни платформи, като и в трите случая са получени устойчиви значения на хибридни екстраполационен коефициент, отчитащ липсващото демпфиране на скъсената част на котвено-райсърната система.

Получените резултати показват достоверността на разработения метод и приложимостта му в практиката на експерименталната хидродинамика.

III. ПРИНОСИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Научно-приложни приноси:

1. Разработен е хибриден метод за теоретично-експериментално изследване на усилията в котвените връзки на дълбоководни котвени системи, използващ скъсени по дължина модели и пригоден към параметрите и оборудването на експерименталното съоръжение
2. Разработено е механично устройство – актуатор за компенсирание на «отрязаните» участъци на котвените връзки и методика за определяне на еластичността на съставните му пружини
3. Изследвано е влиянието на размера на панелите, описващи формата на корпуса на плаващото съоръжение, върху точността на прогнозиране на динамичните му характеристики при вълнение
4. Формулирани са хибридни коефициенти, отразяващи съответствието между характеристиките на пълната и скъсената котвени системи
5. Получени са формули за оценка на неопределеността при моделни изпитания за измерване на усилията в котвените връзки с използване на три-параметрично вероятностно разпределение на Вейбъл

Приложни приноси:

1. Разработени са тримерни числени модели на полупотопени плаващи платформи с изцяло развити и изкуствено скъсени котвени системи и са извършени систематични изчисления на характеристиките им на клатене и усилията в котвените въжета
2. Проведени са систематични моделни изпитания върху физически модели на плаващите съоръжения, позиционирани чрез скъсени котвени системи
3. Приложен е Вейбъл-анализ за определяне на най-вероятните максимални стойности на усилията в котвените въжета
4. Изследвано е влиянието на параметрите на изследваните конфигурации върху коефициентите на съответствие и е показан устойчивият им характер
5. Получени са данни за неопределеността при подготовка, провеждане и анализ на моделните изпитания на закотвени плаващи съоръжения.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. "Model testing of deepwater mooring system" O.Videnova, R.Kishev, 9-th International Conference on Marine Science and Technologies, Black Sea 2008, Varna, 5-7.10.2008
2. "Hybrid Approach for prediction of deep water moored semi-submersible behaviour in waves" O.Videnova, 10-th International Conference on Marine Science and Technologies, Black Sea 2010, Varna, 7-9.10.2010
3. „Изследване на пасивни котвени системи за големи дълбочини“ , О. Виденова, Юбилейна научна сесия с международно участие „ 130 години Морско училище 1881-2011“ , Варна, 18-19 май 2011г.
4. “ Изследване на позициониращи дълбоководни системи“ , Конкурс за Оригинално блиц представяне на научна разработка от млади учени и докторанти“, София, ноември 2011
5. “Hybrid Method for evaluation of mooring line tension at deep water passive mooring of floating drilling platforms”, R.Kishev, O.Videnova, Юбилеен Конгрес - Технически Университет, Варна, 5-7.10.2012

РЕЗЮМЕ ДИССЕРТАЦИИ **для присуждения образовательной и научной степени „Доктор”**

ТЕМА: Гибридный метод для определения натяжений в якорных тросах глубоководных систем позиционирования с использованием результатов экспериментов с укороченными моделями

Аспирант: Олена Викторовна Виденова

При проведении модельных испытаний пассивных систем глубоководного заякорения буровых платформ возникают серьезные трудности, связанные с ограниченной глубиной экспериментального бассейна и с проблемами использования небольших масштабов. Для преодоления этого недостатка возникает необходимость применения специфичных подходов.

В данной диссертации указывается наиболее подходящее применение техники проведения модельных испытаний с укороченной системой с последующей экстраполяцией данных при анализе поведения якорных систем, которая разработана и успешно применяется в Болгарском Центре по гидро- и аэродинамике.

Этот подход основан на предположении эквивалентности между расчетными и экспериментальными оценками поведения якорной системы, которое может быть достигнуто путем введения «гибридных» коэффициентов соответствия, дающих зависимость между соответствующими параметрами укороченной и полной систем. Для обеспечения равнозначных горизонтальных смещений при проведении модельных испытаний был использован специально разработанный механический актуатор (механизм) пружинного типа, расположенный на дне бассейна. Параллельно были разработаны компьютерные модели обеих систем (укороченной и полной) и были выполнены расчеты параметров поведения заякоренного объекта. Результаты расчетов и экспериментов были окончательно объединены и обработаны, чтобы оценить гибридные коэффициенты.

Разработанный метод был применен при исследовании трех различных полупогружных плавучих сооружений, предназначенных для глубоководного бурения. Обширные результаты были получены о поведении гибридных коэффициентов в статическом и динамическом режимах и были рекомендованы соответствующие значения для использования в экстраполяции данных модельных испытаний.

ABSTRACT OF THE DOCTORAL THESIS
for awarding educational and scientific degree of PhD

Thesis theme: Hybrid method for evaluation of tensions in deepwater mooring lines utilizing experimental results for trunkated models

PhD Student: Olena Victorivna Videnova

Model testing of passive deepwater mooring systems faces serious restrictions related to limited tank depth and small scale problems. Specific approaches are needed to overcome this inadequacy.

In this PhD thesis, a truncation model test technique most appropriate for application in mooring analysis and model data extrapolation to full scale at BSHC model testing premises is formulated and successfully applied in mooring analysis of offshore facilities.

The approach is based on the assumption of equivalence between numerical and experimental estimates of mooring system behaviour, which can be attained by introduction of “hybrid” coefficients giving relations between correspondent truncated and full length mooring systems. To ensure compatibility of horizontal offsets, specially designed bottom spring actuator has been utilized in structuring the truncated model mooring system. In parallel, numerical models of both systems have been developed and systematic calculations on moored structure behaviour have been implemented. Results from calculations and experiment have been finally combined to assess the hybrid coefficients.

The approach has been tested on three various semi-submersible floating structures intended for deep water drilling. Extensive results have been obtained about hybrid coefficients in static and dynamic regimes and corresponding values for use in extrapolation of model tests data have been recommended.