

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

Кафедра «Кораблестроение»

Направление 26.04.02 – «Кораблестроение, океанотехника и системотехника
объектов морской инфраструктуры»

Профиль – «Проектирование судовых корпусных
конструкций, систем и устройств»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Исследование гидродинамики преобразователей
энергии волн

Студент группы 5КСМ-1



А.О. Исавнин

Научный руководитель
кандидат тех.наук, доцент



С.Д. Чижиумов

Рецензент



Д.В. Прошукало

Кортун
Елена Борисовна

Проверено

26.06.2017 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент кафедры
«Кораблестроение» ФГБОУ ВО «Комсомольский-
на-Амуре государственный технический универси-
тет» Чижиумов С.Д.

Рецензент Д.В. Прошукало

Защита состоится 22 июня 2017 г. в 13 часов 00 мин. на заседании
Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских
диссертаций по направлению 180100 - «Кораблестроение и океанотехника» в
ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический
университет» по адресу: г. Комсомольск на Амуре, пр. Ленина, 27, ауд 222/3

Автореферат разослан _____ июня 2016 г.

Руководитель магистерской программы, зав.
кафедрой «Кораблестроение», д.т.н, проф.

Н.А.Тарануха

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Многие прибрежные поселки Дальневосточного региона не подключены к общей электросети. До 90% электроэнергии Камчатки, Сахалина и Курил производится на завозном топливе, где из-за больших транспортных расходов стоимость электроэнергии превышает среднемировой показатель в 5-6 раз. Кроме того, поставки топлива не всегда надежны и зависят от погоды и наличия транспорта.

Несмотря на наличие большого количества патентов волновых генераторов существует также много примеров неудачного опыта создания или недостаточно эффективной эксплуатации волновых электростанций. При изучении этих примеров видно, что причинами проблем являются как принципиально неудачные технические решения, так и недостаточно проработанные технологии извлечения энергии волн, отсутствие научной, проектной и нормативной базы.

По результатам обзорного анализа источников и предыдущих исследований можно заключить, что для условий прибрежного волнения эффективным типом преобразователя энергии волн являются устройство небольшой мощности с качающейся створкой (OWSC – Oscillating Wave Surge Converter). Однако исследований гидродинамики таких систем в различных условиях эксплуатации недостаточно. Отсутствуют также методики их проектирования.

Целью данной работы является. Разработка масштабной модели преобразователя энергии волн с качающейся створкой для дальнейшего создания реальной модели преобразователя энергии волн. Исследование гидродинамики преобразователей энергии морских волн.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- ✓ Научно-технический анализ (с обзором работ)
- ✓ Определение конструкции волнового преобразователя и устройства отбора мощности
- ✓ Построение и анализ компьютерной модели
- ✓ Создание опытовой модели
- ✓ Проведение экспериментальных исследований в опытовом бассейне
- ✓ Анализ полученных результатов

Объектом исследования является масштабная модель преобразователя энергии морских волн створчатого типа.

Методы исследований. Создание опытовой модели, проведение экспериментальных исследований в опытовом бассейне, анализ полученных результатов.

Научная новизна заключается в результатах экспериментов и расчётов гидродинамики преобразователя энергии волн, оценки эффективности преобразователя в зависимости от сопротивления устройства отбора мощности.

Достоверность результатов, полученных в работе определяется сопоставлением с результатами предыдущих исследований, сопоставлением данных расчётов и модельных экспериментов, представленных в работе.

Практическая ценность связана с решением актуальной научно-технической проблемы исследования гидродинамики преобразователей энергии морских волн

Личный вклад автора состоит в проведении обзорного анализа источников, участии в работах по изготовлению опытной масштабной

модели преобразователя энергии морских волн и в экспериментальных исследованиях гидродинамики преобразователя в опытовом бассейне КнАГТУ.

Предмет защиты.

На защиту выносятся:

- результаты компьютерного моделирования;
- зависимости эффективности преобразователя створчатого типа от сопротивления устройства отбора мощности, высоты створки, объёма плавучести и жёсткости упругих связей;
- устройство отбора мощности экспериментальной модели;
- результаты экспериментальных исследований.

Апробация работы:

Участие в конференциях:

1. Исавнин А.О., Чижиумов С.Д. Моделирование движения створки устройства для преобразования энергии морских волн // материалы XVI международной молодежной научно – технической конференции «БУДУЩЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ НАУКИ» / Нижний Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017.
2. Исавнин А.О., Чижиумов С.Д. Моделирование гидродинамики преобразователя энергии волн // материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / г. Комсомольск-на-Амуре, ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2017.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследования, ставятся цели и задачи, определяются предмет, объект исследования, научная новизна и практическая ценность.

В первой главе был проведен обзор литературных источников, интернет источников, а также представлены патенты преобразователей энергии морских волн. В первой главе кратко описывается история возникновения технических устройств для преобразования энергии морских волн. Описываются различные виды преобразователей энергии морских волн, принципы их работы, преимущества и недостатки. Также представлены уже запатентованные устройства преобразователей, и их описание.

По результатам обзорного анализа источников можно заключить, что для условий прибрежного волнения эффективным типом преобразователя энергии волн являются устройство небольшой мощности с качающейся створкой (OWSC – Oscillating Wave Surge Converter).



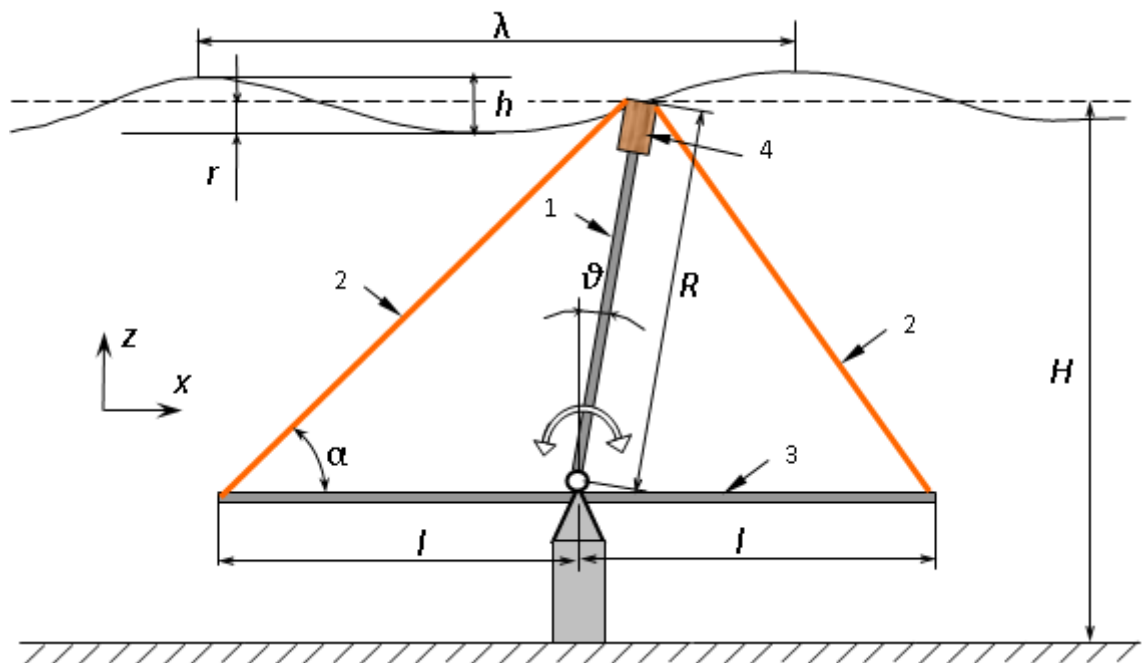
Рисунок 1 - Преобразователь энергии волн с качающейся створкой

Во второй главе описаны математические модели на основе обыкновенного дифференциального уравнения и на основе метода конечных объемов.

Приближённо аналитическая модель гармонических колебаний створки описывается нелинейным дифференциальным уравнением:

$$(I_{yy} + i_{yy})\ddot{\theta} + (B_{yy} + b_{yy})\dot{\theta} + \left(m_b g R_b - m_p g \frac{R}{2}\right) \cdot \sin \theta + k_e \theta = \int_z p_w z dz, \quad (1)$$

где I_{yy} – погонный момент инерции пластины относительно шарнира, i_{yy} – присоединённый момент инерции жидкости (на единицу длины пластины); B_{yy} – коэффициент демпфирования устройства отбора мощности; b_{yy} – коэффициент волнового демпфирования; m_b и m_p – погонная масса поплавка и пластины; R_b – расстояние от центра тяжести поплавка до оси; k_e – коэффициент жёсткости резинок, приведенный к единице длины пластины; p_w – волновое давление.



- 1- шарнирно закрепленная пластина; 2- резиновые нити; 3- неподвижные стержни; 4- поплавок

Рисунок 2 – Модель преобразователя энергии волн

Приближённая модель учитывает гидродинамические силы на основе понятий присоединённых масс и коэффициентов демпфирования.

Факторами, ограничивающими применение линейной модели, являются:

- существенные нелинейные эффекты при больших амплитудах

колебаний, включающие геометрическую нелинейность и физические нелинейности (обусловленные несколькими причинами: большими деформациями упругих связей, вихревыми эффектами, перехлёстыванием вершин волн через пластину, переменной площадью смоченной поверхности пластины при прохождении впадин волн);

- сложности анализа колебаний на нерегулярном волнении, так как процесс колебаний фактически является неустановившимся (достоверность результатов спектрально-вероятностного анализа колебаний на волнах значительной амплитуды снижается, а кроме того, имеется проблема определения волнового спектра);

- отклонения реальной формы волн от гармонической (профиль и его изменение по фронту волны), особенно в прибрежной зоне.

Несмотря на это, данная модель может быть полезна при качественном анализе волнового преобразователя, в частности, на этапе предварительного подбора размеров и жёсткостных параметров системы из условий выхода на резонансные режимы работы и высокие показатели эффективности.

Метод конечных объемов основан на численном моделировании общих уравнений динамики жидкости (уравнений неразрывности и Навье-Стокса, в том числе с учётом реального профиля волн, турбулентных явлений и других особенностей).

Уравнение непрерывности (уравнение сохранения движения):

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (2)$$

где V_F – конечный объем жидкости (объем ячейки расчётной сетки),

A_x – площадь грани конечного объема;

ρ – плотность жидкости;

R_{DIF} – турбулентная составляющая;

R_{SOR} – массовый источник.

Уравнения Навье - Стокса в трех координатных направлениях:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y uv}{xV_F} &= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \end{aligned} \quad (2)$$

где (G_x, G_y, G_z) - ускорения тела;

(f_x, f_y, f_z) - ускорения вязких сил.

Пример компьютерной модели, реализующей метод конечных объёмов, представлен на рисунке 3.

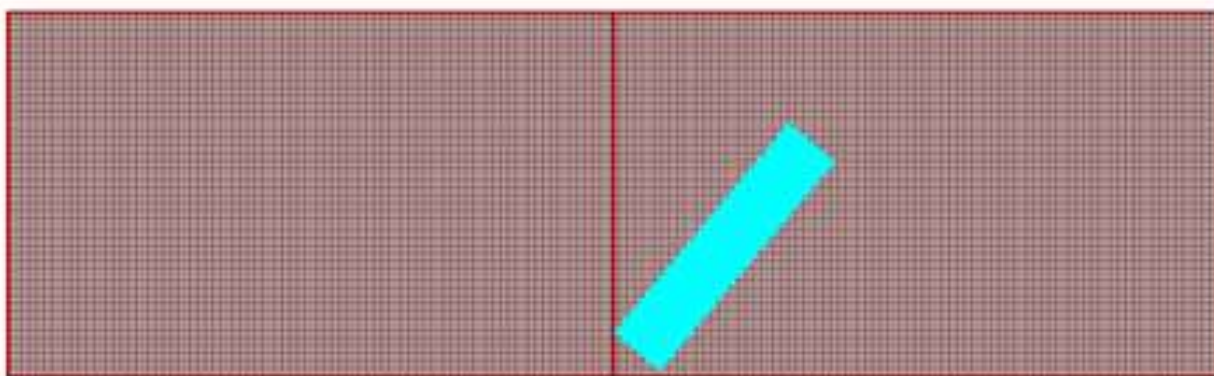


Рисунок 3 - Компьютерная модель

В третьей главе представлена методика построения компьютерной модели, а также компьютерный анализ гидродинамики модели на основе численного моделирования.

В результате проведения тестовых расчетов получены приближенные значения периодов свободных колебаний. Отмечается, что на колебания влияют волны, отраженные от стенок бассейна. Кроме того, большое волновое демпфирование и вихри (см. рисунок 4) приводят к быстрому затуханию колебаний.

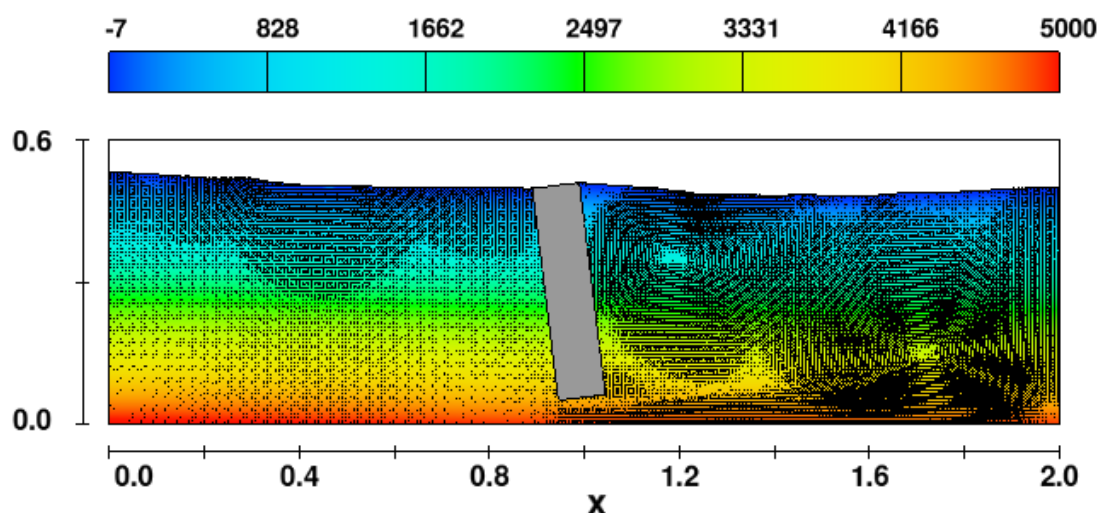


Рисунок 4 – Створка в начальном положении

По приближённой модели (основанной на решении обыкновенного дифференциального уравнения) выполнены систематические расчёты с целью определения зависимости к.п.д. от полезного сопротивления, высоты створки, объёма плавучести и жёсткости упругих связей. Расчёты выполнены для модели с размерами: $R = 2,1$ м; $l = 2$ м; $L = 5,0$ м.

На рисунке 5 представлены полученные расчётом зависимости к.п.д. преобразователя от периода волн и полезного сопротивления при высоте волн 0,5 м (расчёты к.п.д. были выполнены также для высот волн 0,25 м и 1,0 м). Здесь же показаны результаты с уменьшенной высотой створки.

На рисунке 6 показано влияние объёма плавучести и жёсткости эластичных связей на к.п.д. преобразователя при полезном сопротивлении $B_{yy} = 4$ кН·с/рад.

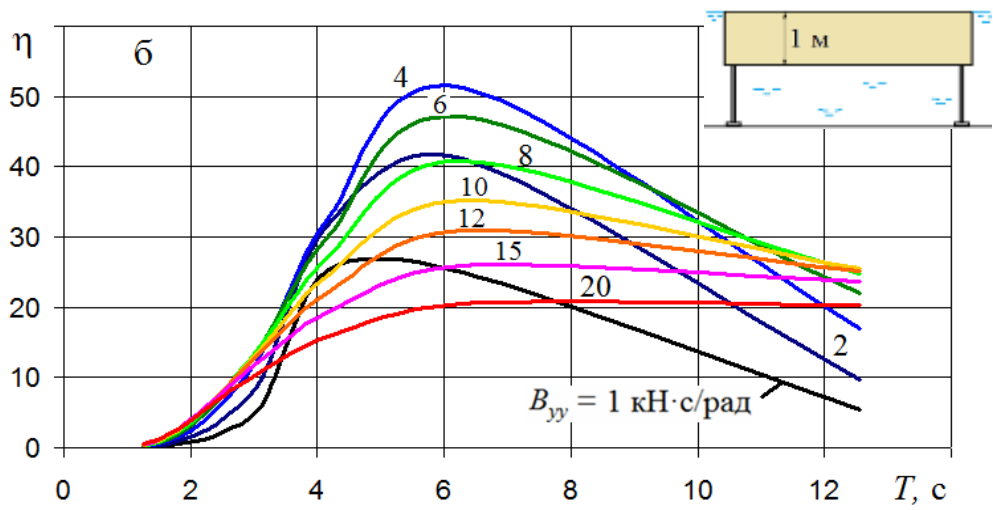
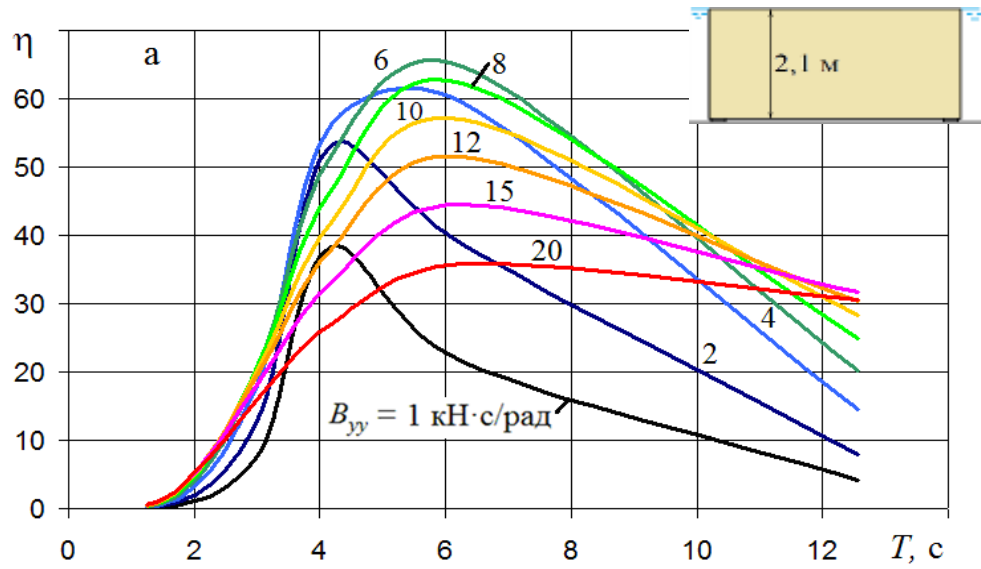


Рисунок 5 - К.п.д. преобразователя энергии волн
 а – высота створки = 2,1 м; б – высота створки = 1,0 м.

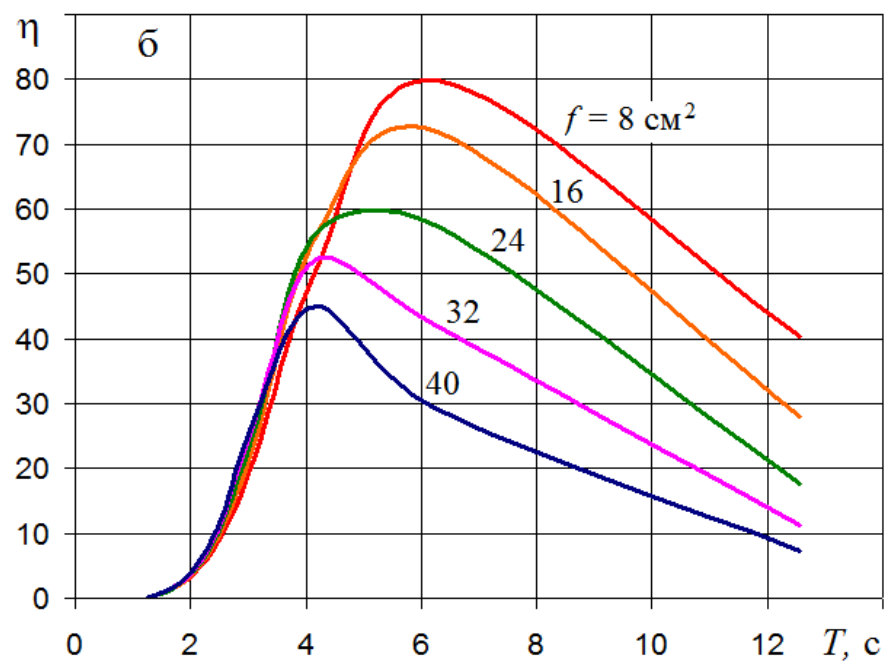
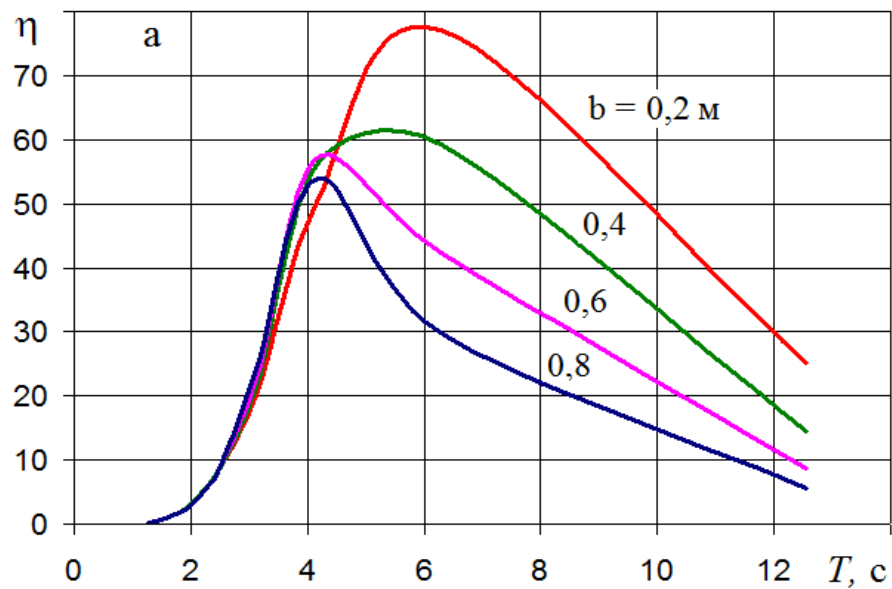


Рисунок б - К.п.д. преобразователя энергии волн при $B_{yy} = 4 \text{ кН}\cdot\text{с/рад}$:

а – без упругих связей, с плавучестью шириной b ;

б – без плавучести, с упругими связями площадью сечения f .

В четвертой главе описана подготовка моделей к проведению экспериментов, критерии подобия, проведение экспериментальных исследований в опытовом бассейне, корректировка конструкции модели, результаты экспериментов и их анализ.

Для экспериментальных исследований была изготовлена модель преобразователя (рисунок 7).



Рисунок 7– Экспериментальная модель преобразователя

Были проведены первичные испытания модели преобразователя в малом бассейне, в ходе которых были выявлены недостатки модели. Насос работал, но напор воды был слабым. Также обнаружился дефект шлангов, а именно то, что шланги в некоторых местах пропускали воздух, что частично послужило причиной недостаточной эффективности насоса. Обнаружилось, что насосы закреплены недостаточно плотно, что приводило к тому, что в ходе качания створки они часто заламывались при выходе поршня с наклоном штока к оси насоса. Также обнаружилось, что конструкция была закреплена недостаточно крепко.



Рисунок 8 - Первичные испытания модели в малом бассейне

После устранения неполадок, была произведена тарировка модели, а после экспериментальные исследования в опытовом бассейне КнАГТУ.

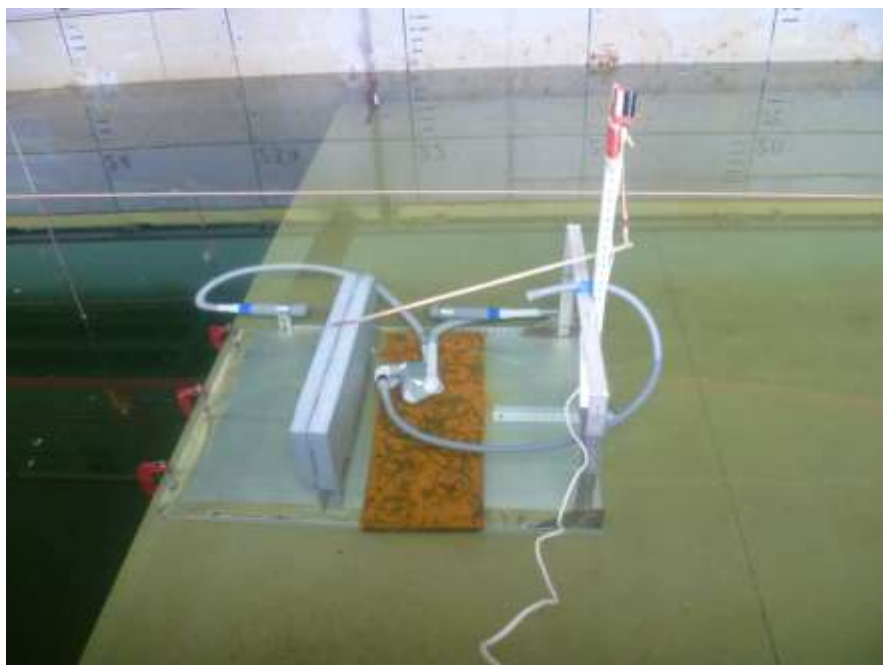


Рисунок 9 – Экспериментальные исследования на волнении в опытовом бассейне КнАГТУ

В результате проведенных испытаний были получены отклонения створки в разные промежутки времени, при разной частоте волнения. На основе этих экспериментов были построены соответствующие графики. На рисунке 10, 11 приведены результаты исследований при высоте волны 7 см.

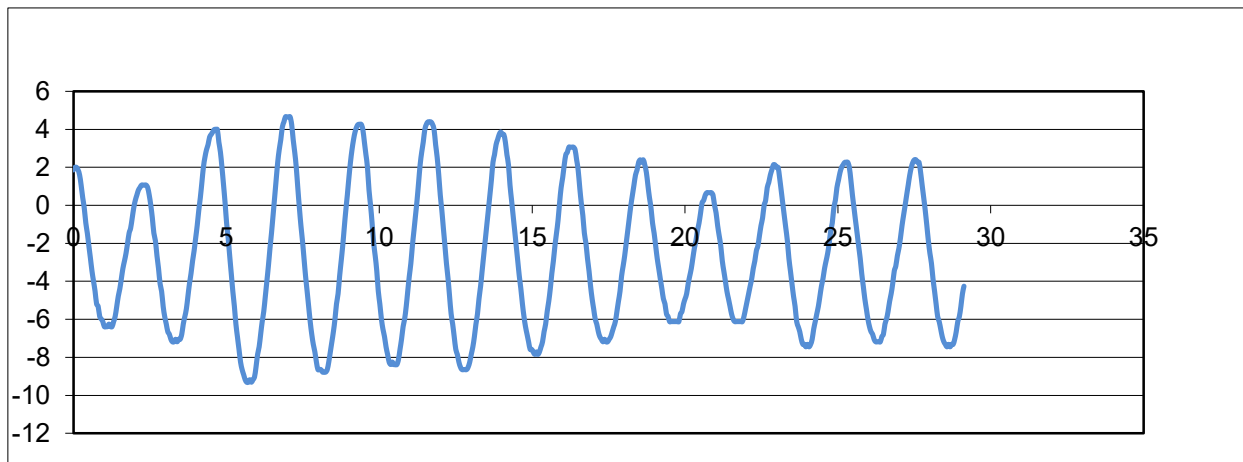


Рисунок 10 – График зависимости времени от угла отклонения на пологой волне (частота волны $\approx 0,43$ Гц)

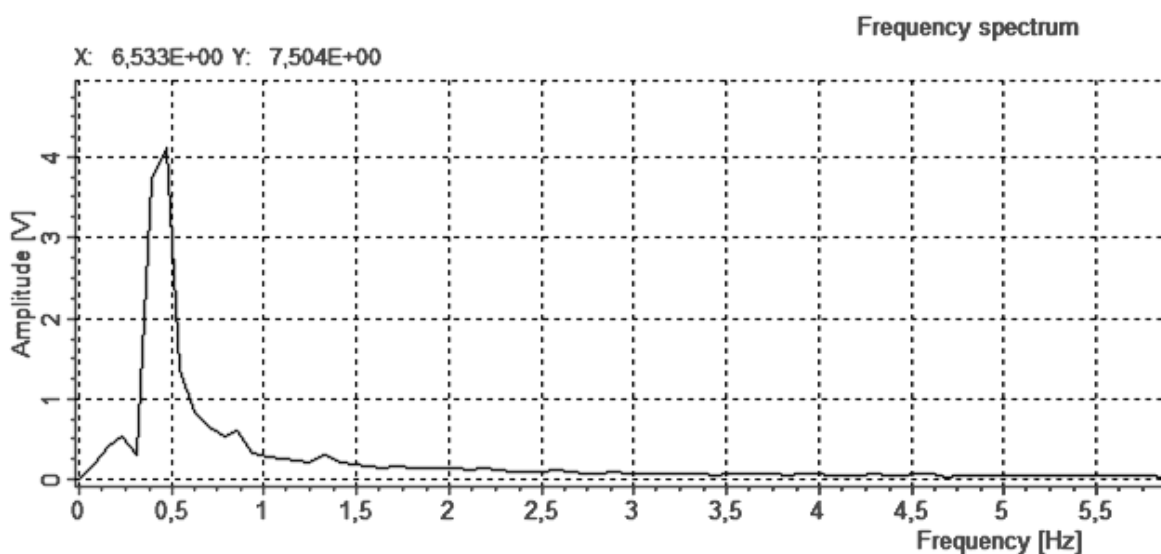


Рисунок 11 – Частотный спектр

Было проведено более 10 опытов при различных частотах волн и объемах поплавок. В результате сопоставления результатов с данными ранее проведенных исследований установлено, что с увеличением размеров преобразователя увеличивается период волн, обеспечивающий его работу в оптимальном режиме. Однако диапазон частот волн, создаваемых волнопродуктором, ограничен. Вследствие этого работа модели

преобразователя на коротких волнах оказалась малоэффективной. Для опытов с более крупной моделью необходимо создание более длинных волн.

Продолжительность работы преобразователя на прогрессивных волнах ограничена вследствие ограниченной длины бассейна и недостаточной эффективностью волногасителей для длинных волн. При работе примерно более одной минуты (в зависимости от длины волн) отражённые волны формировали систему стоячих волн, при которой колебания створки существенно уменьшались. Кроме того, на начальном (разгонном) этапе работы волнопродуктора частота формируемых волн увеличивается и стабилизируется только через 20 – 30 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты экспериментов показали пути дальнейшего совершенствования модели. После устранения выявленных проблем возможно создание эффективной опытной установки и её корректное сопоставление с результатами расчётов.

Выполненная работа имеет следующие основные результаты:

- определена конструкция волнового преобразователя;
- построена компьютерная модель;
- получены результаты расчетов;
- выполнена оценка эффективности преобразователя в зависимости от сопротивления устройства отбора мощности и высоты створки;
- создана опытная модель;
- проведены экспериментальные исследования;
- выполнен анализ полученных результатов;