

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ДВНТИ ИМ. В.В.КУЙБЫШЕВА)

На правах рукописи



ЖУКОВ
Кирилл Анатольевич

**ДИНАМИКА ВЫРАСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ГИДРОБИОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

05.23.17 – строительная механика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток – 2005

Работа выполнена в Дальневосточном государственном
техническом университете (ДВПУ им.В.В.Куйбышева)

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

А.А. Стоценко

Научный консультант:

кандидат технических наук, доцент
Н.М. Мальков

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Габрюк В.И.
кандидат технических наук, доцент
Цуприк В.Г.

Ведущая организация:

ООО «НПО «ГИДРОТЕКС»

Защита состоится 18 ноября 2005 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета К 212.055.04 при Дальневосточном государственном техническом университете по адресу: 690014, Владивосток, пр. Красного Знамени, д.66, ауд.807.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале научно-технической библиотеки Дальневосточного государственного технического университета.

Просим Вас принять участие в защите и направить Ваш отзыв в двух экземплярах по адресу: 690014, г. Владивосток, пр.Красного Знамени, 66, диссертационный совет К 212.055.04. тел.(факс)

Автореферат разослан «15» октября 2005 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

 Гуляев В.Т.

2006-4
21808

2213638

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Мировой опыт показывает, что промышленным способом добычи морепродуктов могут быть полностью уничтожены и значительно подорваны природные запасы не только отдельных популяций, но и разрушены целые экологические системы. Поэтому естественное производство не может оставаться надежным источником продуктов в будущем.

В настоящее время выделяются три основных промышленных направления культивирования морских организмов:

- мелиорирование – или устройство искусственных рифов (наброска бетонных блоков, рыхлаение твердых пород, создание дополнительных субстратов для водорослей и моллюсков, убежищ для рыб и беспозвоночных и т.п.)
- заводское направление – дает возможность создать контролируемые условия в течение всего цикла выращивания.
- плантационное направление – позволяет выращивать объекты заданного вида до товарной продукции с минимальными затратами средств на их производство в естественной среде обитания морских организмов.

Гидробиотехнические сооружения (ГБТС) – морские гидротехнические сооружения, предназначенные для оснащения плантаций по выращиванию морских растений и животных в местах их естественного обитания.

С начала развития плантационного направления марикультуры в Приморском крае предпринимались попытки создания гидробиотехнических сооружений на основе эмпирического подхода (метода «проб и ошибок» и инженерной интуиции). Такой подход не может обеспечить гарантии устойчивой работы сооружений на весь период эксплуатации. Необеспеченность прочности ГБТС приводит к их разрушениям, что приносит огромные материальные и моральные потери и в значительной степени тормозит развитие отрасли в целом, т.к. процесс выращивания отдельных организмов до товарного вида занимает до трех лет.

Значительными преимуществами обладает расчетный подход, используемый в проектировании объектов строительства. Он позволяет гарантировать с заданной надежностью прочность сооружения в течение всего срока эксплуатации, определить оптимальные размеры сооружений с минимизацией материалоемкости и стоимости, установить изменения, которые необходимо внести в типовую конструкцию для эксплуатации в осваиваемом районе.

Разработка основ расчетного проектирования требует научных исследований по определенным направлениям, входящим в инженерную теорию гидробиотехнических сооружений:

- изучению проблем среды и воздействий (изучение условий эксплуатации сооружений, связанных с силовыми воздействиями и влиянием среды на прочность материалов);



- разработке методов перехода от воздействий к нагрузке: определение величины, характера распределения и изменения во времени внешних по отношению к сооружению сил;
- разработке методов определения напряжений, перемещений и деформаций сооружений в статической и динамической постановках;
- оценки прочности и надежности, определение допустимого уровня внутренних усилий и сроков службы сооружений;
- построению основ и принципов проектирования конкретных узлов и деталей несущих конструкций.

Одной из основанных проблем решаемых при расчете любого сооружения является определение действующих на него нагрузок. На ГБТС на всем протяжении их эксплуатации действуют различные нагрузки.

Наибольший вклад в нагрузку на ГБТС вносят волновые воздействия. Об этом говорят не только теоретические расчеты, но и то обстоятельство, что разрушение ГБТС происходит во время штормов. Волновая нагрузка, действующая на ГБТС, носит ярко выраженный динамический характер. Основное воздействие волн приходится в основном на выростные элементы, содержащие выращиваемые объекты, которые в свою очередь передают усилия на несущие конструкции ГБТС.

Целью диссертации является определение волновой нагрузки на гидробиотехнические сооружения (ГБТС) от выростных элементов.

Для этого были решены следующие задачи:

1. установлено влияние скоростной и инерционной составляющих волновой нагрузки на выростной элемент ГБТС;
2. разработан метод определения гидродинамического сопротивления морских организмов и их субстратов;
3. разработан метод определения усилий и перемещений в выростном элементе ГБТС при волновом воздействии;
4. произведено исследование предлагаемого метода на тестовых задачах с известным точным решением и сравнение результатов теоретических расчетов с данными натуральных экспериментов;
5. получены зависимости изменения усилий, возникающих в выростном элементе при волновом воздействии в достаточно большом диапазоне изменения параметров системы «среда-сооружение» и разработать основы построения поля волновой нагрузки на ГБТС с учетом выключающихся связей.

Научная новизна работы:

1. определено влияние инерционной и скоростной составляющей волновой нагрузки на возникающие усилия в элементах существенно подвижных систем;
2. предложена удельно-весовая характеристика гидродинамического сопротивления морских организмов при обтекании их потоком жидкости;

3. разработан численный метод приближенного решения системы дифференциальных уравнений движения существенно подвижной растяжимой нити при волновом воздействии с учетом выключения связей применительно к решению задачи динамики возрастного элемента;
4. создана методика построения поля волновой нагрузки на возрастной элемент для большого диапазона параметров системы «среда-сооружение».

Практическая ценность работы заключается в решении задач построения методики расчета и проектирования ГБТС и позволяет с помощью:

1. удельно-весовой характеристики сопротивления возрастного элемента оценить нагрузку на элементы ГБТС по проектной урожайности плантации;
2. основ построения поля нагрузок на ГБТС при волновом воздействии с учетом выключающихся связей, оценить величины и характер изменения усилий в элементах ГБТС.

Результаты работы использованы при проектировании плантаций для выращивания гребешка в бухте Перевозная Амурского залива Приморского края.

Достоверность полученных результатов определяется высоким качественным и количественным соответствием выдвинутых гипотез и результатов численных экспериментов данным натурных экспериментов в большом волновом лотке Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е.Веденеева (ВНИИГ, Днепродзержинское отделение) с большим диапазоном продуцируемых волн зыби;

На защиту выносятся:

1. Способ определения волновой нагрузки на возрастные элементы ГБТС с помощью удельно-весовой характеристик, позволяющей определять гидродинамическое сопротивление возрастного элемента в зависимости от типа организмов и их массы;
2. Приближенный численный метод решения дифференциальных уравнений основанный на комбинации аналитического метода Пикара-Линделефа и формул численного интегрирования (трапеций, Симпсона);
3. Основы формирования поля нагрузки от волнового воздействия для ГБТС с учетом выключения гибких связей возрастных элементов.

Апробация работы:

Результаты исследований были доложены: на ежегодных научно-технических конференциях «Вологдинские чтения» (ДВГТУ, Владивосток 2002, 2003, 2004 г.г.); на семинаре бакалавров, магистров и аспирантов при кафедре «Теории сооружений» (СИ ДВГТУ, Владивосток 2002-2004 г.г.); на 6-ом симпозиуме Азиатско-Тихоокеанского региона по механике шельфовых сооружений ISOPE PACOMS-2004, секция «Стихия, строительство, безопасность» (Владивосток, 2004 г.); на ежегодной Российской школе по проблемам науки и технологий (Миасс, 2003, 2004 г.г.).

Публикации:

По материалам диссертации опубликовано: десять печатных работ.

Структура и объем работы:

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и списка литературы. Содержание изложено на 110 страницах текста и включает 14 таблиц, 54 иллюстраций, 5 приложений и 89 наименований отечественных и зарубежных первоисточников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность выполнения данной работы, определена цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе приведен обзор существующих конструкций гидробиотехнических сооружений с точки зрения их назначения, особенностей расчета и проектирования.

В обзоре приведены сведения о мировом опыте культивирования, отраженном в литературных источниках, отчетах о зарубежных командировках специалистов в КНДР, КНР, США, Францию и Японию, а также в патентных материалах.

Из обзора конструкций ГБТС видно, что применение тех или иных конструктивных решений должно обуславливаться биотехнологическими, экологическими и природоохранными требованиями, а так же гидрометеорологическими характеристиками мест размещения плантаций, требованиями механизации и удобства обслуживания, условиями и методами производства работ по изготовлению их и монтажу.

ГБТС в связи с их назначением должны содержать элементы, выполняющие функции содержания культивируемых объектов в процессе их роста, развития и функции удержания культур в определенном районе и заданном горизонте. Конструктивно выполнение этих функций обеспечивается:

- выростными элементами, которые служат для непосредственного содержания культивируемых объектов.
- несущим каркасом, включающим собственно несущие конструкции (к ним непосредственно крепятся выростные элементы) и системы удержания
- системой горизонтального удержания, которая включает якоря, анкеры и другие устройства, прикрепляющие сооружение к земле
- системой вертикального удержания, которая содержит плавучести, стойки и другие устройства, позволяющие сохранять и, по мере надобности, изменять заданный горизонт в процессе выращивания

7В природе большинство моллюсков обитают на дне. Однако выращивание их в толще воды имеет следующие преимущества: полное использование толщи воды, постоянная циркуляция воды около моллюсков, предохранение их от хищников. Для выращивания морских организмов в толще воды применяются выростные элементы.

Вторая глава посвящена анализу нагрузок волнового воздействия на выростные элементы ГБТС. Можно выделить три основных вида нагрузок, действующих на протяжении всего срока эксплуатации:

- нагрузки, вызываемые гравитацией и выталкивающим (Архимедовым) действием воды на морские организмы и элементы самого сооружения;
- технологические нагрузки – от технологического оборудования, складироваемых материалов, технологических операций по уходу за плантациями;
- нагрузки от климатических воздействий – волновые, ветровые, ледовые, температурные, от течений и других природных явлений.

Волновые нагрузки и нагрузки от переменного в пространстве течения зависят от формы и положения сооружения, которое оно занимает под внешним воздействием. Трудности расчета обусловлены необходимостью построения такой процедуры вычислений, которая позволит найти соответствие между нагрузкой и положением сооружения. Поэтому задачи определения нагрузки, усилий и перемещений (координат) неразделимы и должны для существенноподвижных (нелинейных) систем решаться последовательными приближениями.

Для описания волнового воздействия среды на выростной элемент принята теория потенциального движения жидкости в волне М.П. Кожевникова, согласно которой вязкостью жидкости можно пренебречь. Рассматриваются регулярные плоскопараллельные волны.

Волновая нагрузка на тело, помещенное в волну, определяется гидродинамическим сопротивлением, характеризующим сопротивление тела движению среды.

Для определения гидродинамического сопротивления выростного элемента, помещенного в волну, принята формула Лаппо-Морисона, в общем виде:

$$R = c_u \cdot u^2 + c_w \cdot w; \quad (1)$$

где: u и w – относительная скорость и ускорение движения частиц жидкости и тела;

c_w (c_u) – коэффициенты присоединенной массы (инерции) и лобового сопротивления.

Правая часть выражения (1) представлена суммой двух составляющих гидродинамического сопротивления – скоростной и инерционной соответственно.

Для оценки степени влияния скоростной и инерционной составляющих нагрузки в формуле Лаппо-Морисона при волновом воздействии на выростной элемент коллективом кафедры Теории сооружений ДВГТУ под руководством А.А. Стоценко были поставлены специальные эксперименты в большом волновом лотке Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.

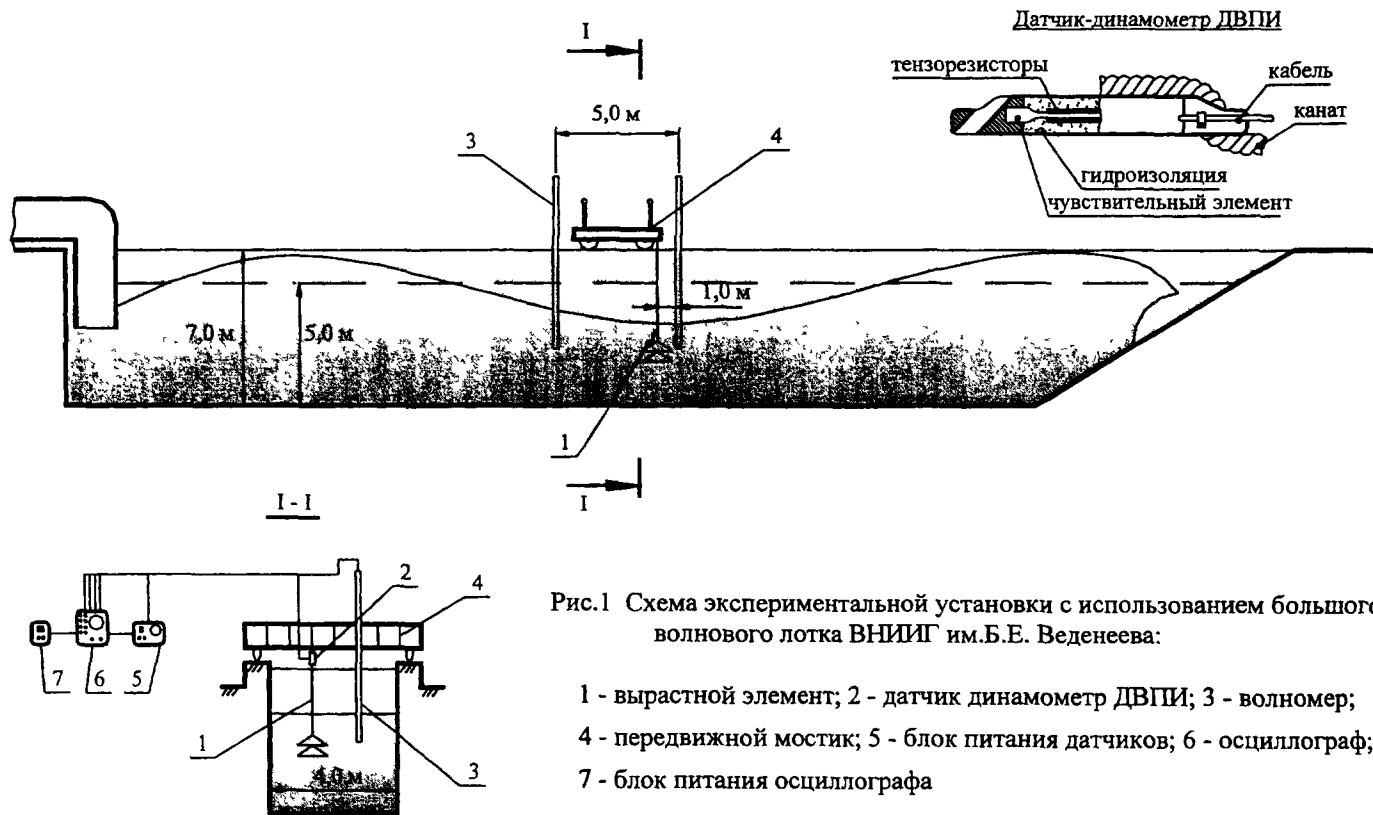


Рис.1 Схема экспериментальной установки с использованием большого волнового лотка ВНИИГ им.Б.Е. Веденеева:

- 1 - выростной элемент; 2 - датчик динамометр ДВПИ; 3 - волномер;
- 4 - передвижной мостик; 5 - блок питания датчиков; 6 - осциллограф;
- 7 - блок питания осциллографа

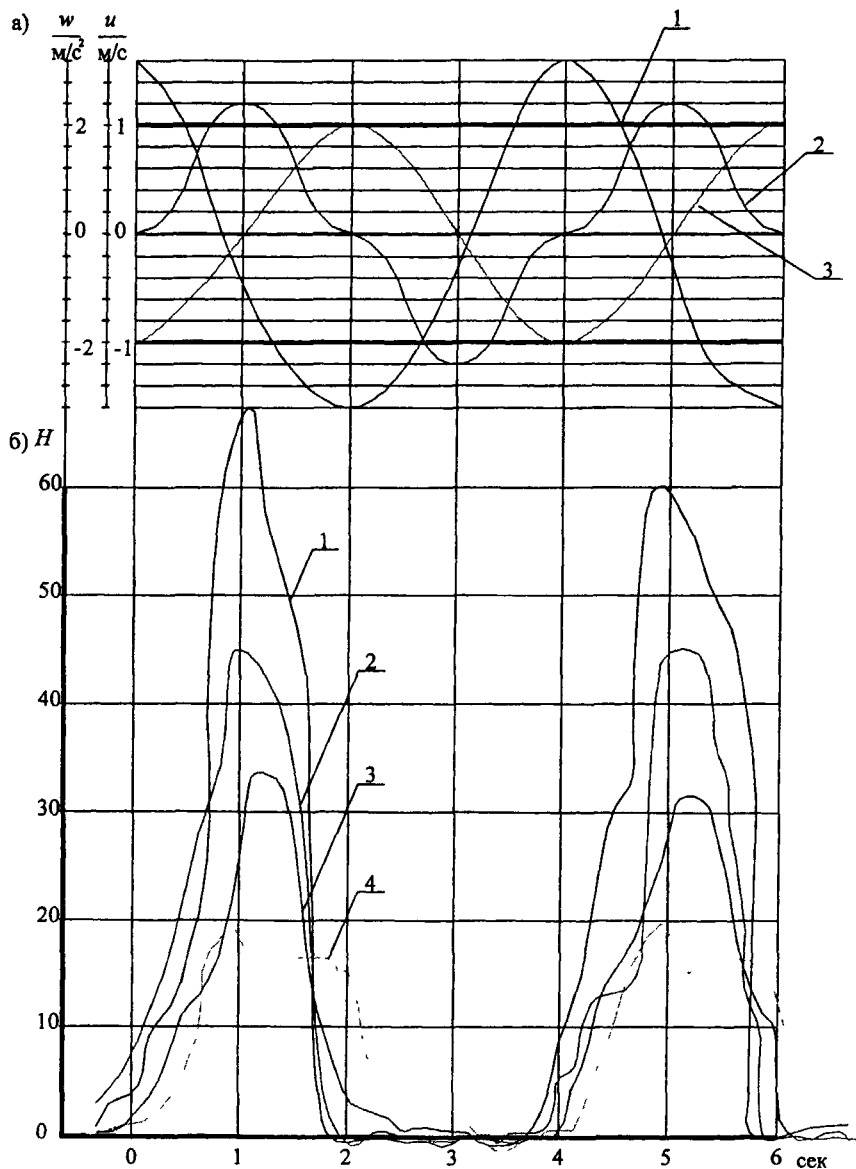


Рис. 2 Фрагменты осциллограмм усилий в связи:

а) – характеристики волн: 1 – показатели волномера; 2 и 3 – вертикальные скорости и ускорения, вычисленные по СНиП;

б) – усилия в связи: 1, 2, 3, 4 – крепления к неподвижной точке, садок на глубине 1, 2, 3, 4 м.

Опыты проводились с пустыми садками и с садками, заполненными специальными вкладышами, имитирующих моллюсков. На рис.2 представлен фрагмент осциллограммы изменения усилий и соответствующих по времени вертикальных скоростей u и ускорений w в волне.

По результатам проведенных экспериментов установлено:

- усилие в связи появляется и существует на заднем склоне волны, то есть в тот момент, когда вертикальная скорость направлена вниз и вызываемое ею давление растягивает нить;
- на участке с максимальным ускорением не наблюдается сколь угодно значительного (соизмеримого со скоростным) изменения давления – датчиками зарегистрированы изменения давления, соизмеримые с величиной шумов;
- результаты опытных данных, приводят к выводу, что максимальные усилия в связи определяются и обуславливаются скоростным (лобовым) сопротивлением. Вклад же инерционной составляющей не значителен по сравнению со скоростной составляющей и может не учитываться. С учетом этих результатов формула Лаппо-Морисона примет вид:

$$R = c_u \cdot u^2 \quad (2)$$

Однако существуют определенные сложности в использовании коэффициента лобового сопротивления c_u при определении гидродинамического сопротивления морских организмов.

Использование в расчетах традиционной характеристики площади проекции морского организма приводит к большим разбросам исходных данных и неопределенности, связанным с трудностями оценки их геометрических параметров и прогнозирования их в проектируемом сооружении, поскольку в процессе роста морских организмов эти параметры зависят от многих факторов (климатических, ухода, биологических и т.д.).

На кафедре Теории сооружений ДВГТУ А.А. Стоценко и Б.И. Пронкиным был предложен метод определения гидродинамического сопротивления, основанный на буксировке исследуемого объекта поплавком (лидером), в котором движущую силу, равную силе гидродинамического сопротивления, создает подъемная сила всплывающего тела с объемной массой, меньшей, чем объемная масса среды. Схема испытательной установки представлена на рис.3.

Используемый способ накладывает следующие требования к устройству для его осуществления. Во-первых, лидер должен иметь постоянную форму при изменении его подъемной силы в широких пределах. Во-вторых, лидер не должен вносить существенных возмущений в поток, обтекающий исследуемое тело, которое следует за лидером.

Для решения первой задачи был выбран лидер в форме веретенообразного удобообтекаемого тела со стабилизаторами. Лидер имеет внутри полость, которая может заполняться свинцовыми вкладышами, количество которых подбирается в зависимости от необходимой

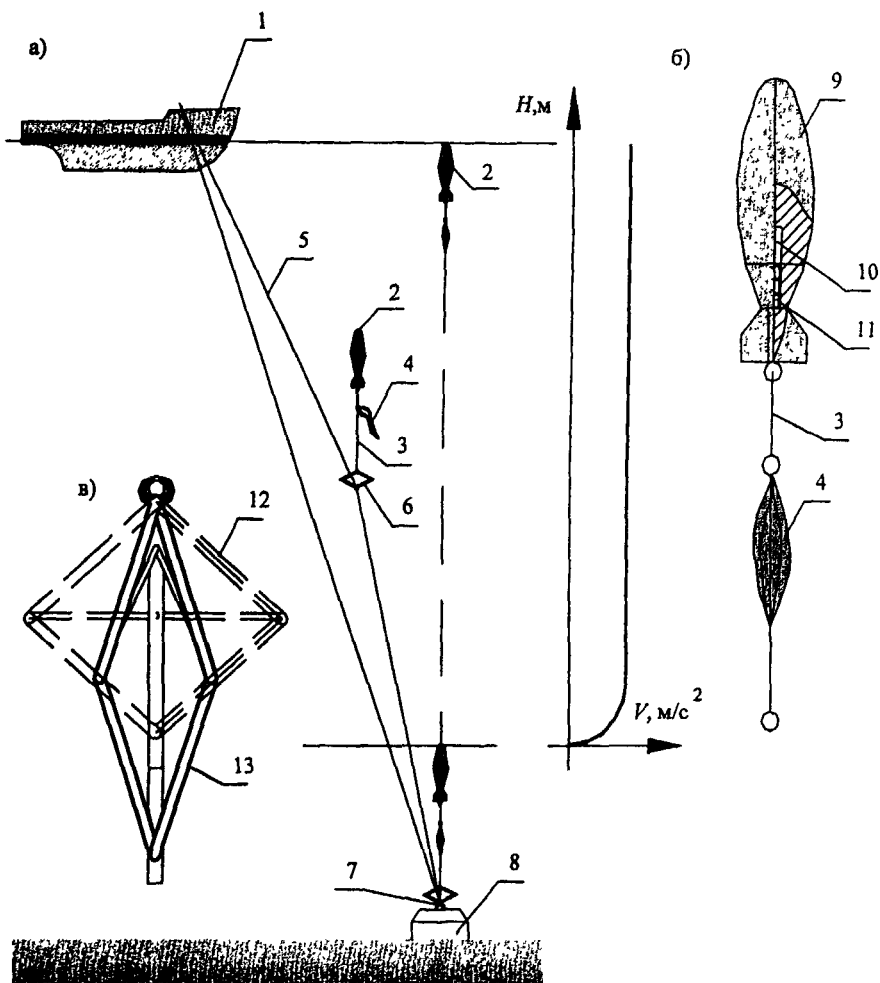


Рис.3 Схема проведения испытаний методом вертикальной буксировки:
 а) - схема испытательной установки; б) – устройство лидера;
 в) – устройство инициатора старта;
 1 – плавсредство; 2 – лидер; 3 – связь; 4 – объект; 5 - стартовая нить;
 6 - инициатор старта; 7 - блок с упором; 8 – якорь; 9 - оболочка лидера;
 10 – полость; 11 – вкладыши; 12 - положение во время погружения;
 13 - положение при старте.

грузоподъемности лидера – подъемной силы.

Для решения второй задачи с помощью дополнительных экспериментов с шарами, в качестве исследуемых объектов, гидродинамические характеристики которых известны, было определено расстояние, на котором влияние лидера на исследуемый объект незначительно.

С помощью описанного метода на протяжении ряда лет в 1982-1986 гг. сотрудниками кафедры Теории сооружений ДВГТУ было исследовано гидродинамическое сопротивление отдельных слоевищ, пучков слоевищ ламинарии, садков для выращивания гребешков, мидиями, устрицами и другими морскими организмами.

На основании данных проведенных экспериментов была произведена обработка их результатов с целью определения зависимости гидродинамического сопротивления от весовой характеристики морских организмов.

По результатам обработки данных экспериментов были сделаны следующие выводы:

- использование в расчетах традиционной характеристики объекта – отношения сопротивления к площади боковой поверхности ($R_{уд}$) – приводит к большим разбросам исходных данных и неопределенностям, связанным с трудностями оценки площади поверхности слоевища по данным измерений геометрических параметров и прогнозирования ее в проектируемом сооружении;
- отношение силы сопротивления к весу водорослей является более устойчивой характеристикой;
- отношение силы сопротивления к весу морских организмов является для возрастных элементов с мидиями, устрицами и другими морскими организмами устойчивой величиной;
- гидродинамическое сопротивление объектов с морскими организмами может быть выражено зависимостью:

$$R = k_0 \cdot u^2 \cdot m \cdot g \quad (3)$$

где k_0 – коэффициент удельно-весового сопротивления, зависящий от выращиваемого объекта, вида субстрата и садков.

На рис. 4 – 9 представлены графики зависимости величины $R/m \cdot g$ от скорости буксировки слоевищ ламинарии, садков с гребешком, устричных и мидийных коллекторов.

Удельно-весовая характеристика сопротивления возрастного элемента весьма удобна в проектировании плантаций ГБТС для выращивания морепродуктов, т.к. нагрузка на сооружение может определяться проектной урожайностью плантаций.

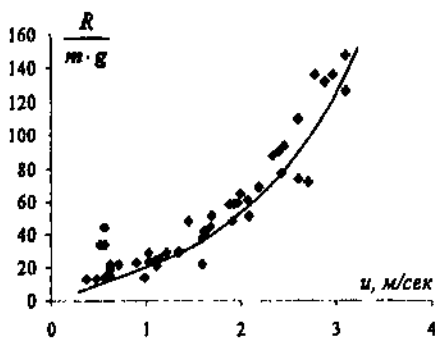


Рис.4 Удельно-весовая характеристика сопротивления ламинарии японской.

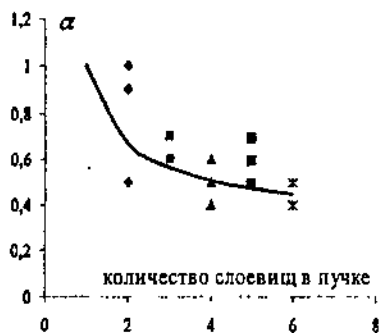


Рис.5 Сопротивление ламинарии японской в зависимости от количества слоев в пучке

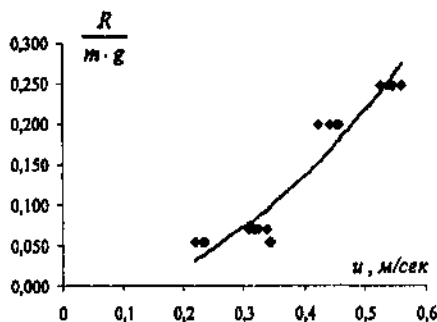


Рис.6 Удельно-весовая характеристика пирамидальных садков

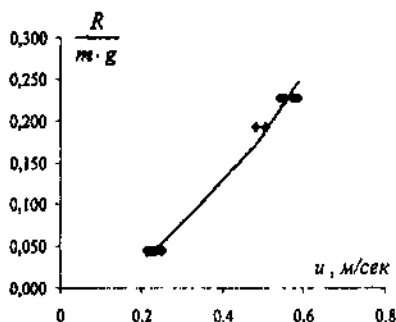


Рис.7 Удельно-весовая характеристика конусных садков

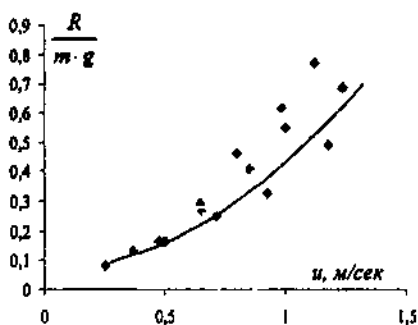


Рис.8 Удельно-весовая характеристика устричных коллекторов

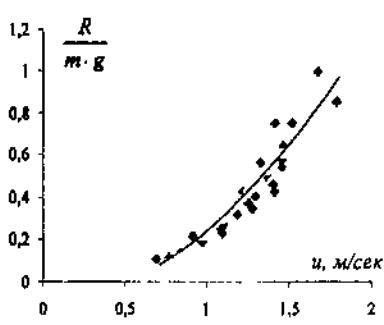


Рис.9 Удельно-весовая характеристика мидийных коллекторов

В третьей главе приведена постановка задачи динамики выращенного элемента ГБТС и разработка метода ее решения.

Работа гидробиотехнических сооружений (ГБТС) проходит в подвижной среде и анализ их работы при движении может уточнить их

напряженно-деформированное состояние, в частности, получить ответы на вопросы о характере изменения усилий при относительном движении среды и объекта, о возможности резонансных явлений и другие.

В качестве расчетной схемы выростного элемента ГБТС принята модель, в которой выростной элемент представлен в качестве гибкой нити с расположенными на ней точечными и распределенными массами. Концы нити могут быть закреплены на подвижных или неподвижных опорах в зависимости от жесткости несущего каркаса. В постановке задачи расчета выростного элемента не должны вводиться традиционные упрощения, связанные с малостью перемещений, пологостью нити и др. При моделировании воздействия среды использована теория потенциальных волн, с регулярными плоскопараллельными волнами. Расчетная схема участка нити представлена на рис.10.

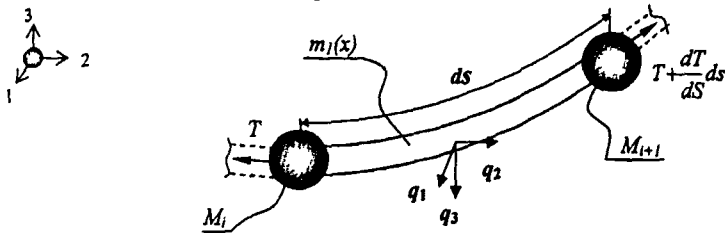


Рис. 10 Схема участка нити, с обозначениями приложенных к нему нагрузок и усилий

Равновесное состояние пространственного элемента нити, с учетом растяжимости нити по закону Гука, описывается системой уравнений с тремя уравнениями равновесия (проекциями на координатные оси) и условием неразрывности нити.

$$\begin{cases} \frac{d}{(1+T/EF)ds} \left(\frac{T}{1+T/EF} \frac{dx_j}{ds} \right) = q_j \\ \sum_{j=1}^3 \left(\frac{dx_j}{(1+T/EF)ds} \right)^2 = 1 \end{cases} \quad j=1,2,3 \quad (4)$$

где T – усилие в участке нити; EF – жесткость нити; ds – длина участка нити; dT/ds – единичное приращение усилия; i – порядковый номер участка и точки нити; j – направление координатных осей; q – нагрузка на элемент нити.

Дополненные начальными и граничными условиями данные уравнения представляют условия равновесия одиночной нити под действием статической нагрузки q .

Согласно концепции сил, принятой в строительной механике, нагрузкой на выростной элемент являются реакции в связях между точкой крепления выращиваемого объекта (среда) и гибкой нитью (сооружение). Реакция в связи выростного элемента определяется величиной гидродинамического сопротивления R с обратным знаком.

Таким образом, для определения волновой нагрузки q на элемент нити принята формула гидродинамического сопротивления Лаппо-Морисона, включающая в себя инерционную и скоростную составляющую (лобовое сопротивление). В отличие от статической постановки нагрузка в формуле Лаппо-Морисона принята переменной во времени. Получена система дифференциальных уравнений движения нити при волновом воздействии:

$$\begin{cases} x_{i-1j} \frac{T_i}{\lambda_i} - x_{ij} \left(\frac{T_i}{\lambda_i} + \frac{T_{i+1}}{\lambda_{i+1}} \right) + x_{i+1j} \frac{T_{i+1}}{\lambda_{i+1}} = c_{ul} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^3 (\dot{x}_{ik} - \bar{u}_{ik})^2} \cdot (\dot{x}_y - u_y) + c_{wl} \cdot (\dot{x}_y - \bar{w}_y) \\ T_i = EF_i \left[\frac{1}{l_i} \sqrt{\sum_{k=1}^3 (x_{ik} - x_{i-1k})^2} - 1 \right] \quad \text{при } l_i < \lambda \quad \text{где } \lambda_i = l_i \left(1 + \frac{T_i}{EF_i} \right) \\ T_i = 0 \quad \text{при } l_i \geq \lambda \end{cases} \quad (5)$$

Существующие аналитические методы решения узкого круга дифференциальных уравнений первого порядка применимы для ограниченного числа дифференциальных уравнений и не могут рассматриваться как универсальные.

Приближенные методы решения задачи Коши делятся на три группы: приближенно-аналитические, графические и численные.

Наиболее «привлекательным» с точки зрения составления алгоритмов программных средств, для решения дифференциальных уравнений, являются численные методы. Предлагаемый метод решения задачи Коши системы дифференциальных уравнений получен объединением приближенно-аналитического метода Пикара-Линделефа и приближенных методов вычисления интегралов (формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона). Полученный метод является численным, т.к. в результате интегрирования вместо зависимости, как для исходного приближенно-аналитического метода, получаются совокупность приближенных значений искомого решения $y = f(x)$. Сущность метода заключается в приближенном решении интеграла в интегральном уравнении Пикара:

$$y_{i+1} = y_i + \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, y_i) dx \quad (6)$$

Предлагаемый метод имеет ряд преимуществ, так известна сходимость метода Пикара-Линделефа при $i \rightarrow \infty$. Кроме того метод имеет относительно небольшое количество вычислений на каждом шаге.

Применительно к уравнению движения выростного элемента метод является гибким к нахождению решения дифференциального уравнения неразрешенного относительно y .

Для выбора формулы приближенного решения интеграла, были исследованы зависимости накопления локальных ошибок метода при решении тестовых задач. Результаты вычислений показали, что:

- использование формулы трапеций дает возможность построения более простого в реализации алгоритма решения задачи;
- изменение шага интегрирования в пять раз, по отношению к формуле Симпсона, дает методу с использованием формулы трапеций схожую с формулой Симпсона точность вычислений.

Выбор шага интегрирования и количества итераций на каждом шаге сложная и неоднозначная задача для каждого конкретного случая, зависящая от множества факторов: геометрических размеров элементов, внешних воздействий (нагрузки), конструктивных особенностей сооружений и др.

Для решения этой задачи было использовано явление «внутренней сходимости» изучаемого фактора. Была исследована сходимость метода при изменении шага интегрирования и количества итераций. На основании анализа сходимости метода сделаны следующие выводы:

- величина шага интегрирования может определяться заданной точностью вычисления значения $y = f(x)$;
- оптимальное соотношение между величинами шага интегрирования и количеством итераций может привести сокращению количества вычислений и как следствие к экономии машинного времени при сохранении заданной точности вычислений.

В четвертой главе для проверки теоретической модели, а так же допущений, использованных в постановке задачи динамического расчета существенно-подвижных систем, были проведены численные эксперименты с предлагаемым методом на задачах с известным точным решением. В качестве контрольных задач были решены задачи колебаний одно- и двух массовых систем.

В задаче №1 получены уравнения движения для массы, расположенной по середине нити, закрепленной по обоим концам, при сообщении массе в начальный момент времени импульса, направленного вдоль оси нити.

В задаче № 2 получены уравнения движения двух масс, расположенных на нити закрепленной одним концом, при сообщении одной из масс в начальный момент времени импульса, направленного вдоль оси нити.

Полученные результаты хорошо согласуются с точным решением.

С целью проверки соответствия теоретической модели, используемой при получении системы уравнений движения существенно-подвижных нитей, была решена плоская задача расчета вырастного элемента (Задача №3). В качестве опорных экспериментов приняты натурные эксперименты для морского гребешка, описанные в 3 главе. Инерционная составляющая движения частиц жидкости при решении задачи не учитывалась. Для выражения волновой нагрузки была принята упрощенная формула Лаппо-Морисона.

Были решены две задачи о вырастном элементе:

- плоская задача при отсутствии связи (нити) с выростным элементом для моделирования свободного движения тела помещенного в волну;
- плоская задача при наличии связи для моделирования движения тела в волне связанного с неподвижным каркасом гибкой нитью.

В результате решения задач получены следующие результаты:

- при отсутствии связи тело совершает круговые движения, описывая петлеобразную траекторию. Это объясняется тем, что в волне частицы жидкости совершают движение по круговым орбитам с переносом частиц жидкости в сторону движения волны «волновой поток», который в свою очередь увлекает за собой тело, помещенное в волну. Этот результат, полученный приближенным способом, хорошо согласуется с теорией о потенциальных волнах.
- при наличии связи траектория частиц сохраняет петлеобразную форму, однако эта траектория приобретает смещение к свободной поверхности водоема. Движению, описанному в первой задаче, препятствует связь (нить), удерживающая тело на расстоянии радиуса растянутой нити. При дальнейшем движении тело занимает равновесное положение, совершая движения по замкнутой траектории у поверхности водоема.

Полученные решения модельных задач хорошо согласуются с теорией потенциальных волн, что дает основание считать теоретическую модель и использованные в ней предпосылки верными.

В пятой главе описана методика построения поля волновой нагрузки, в основе которой лежат следующие допущения:

Первое допущение связано с влиянием сооружения на кинематику волнового движения жидкости и течения. Традиционное для сквозных конструкций и сооружений допущение, состоящее в том, что присутствие сооружения в среде мало влияет на параметры движения частиц жидкости, и этим влиянием в расчетах можно пренебречь. Это допущение позволяет построить поле нагрузки по параметрам скоростей и ускорений в среде без сооружения.

Второе допущение вносит упрощение в определение волновой нагрузки. Допущение о том, что при воздействии воли и течений основной вклад в нагрузку на гибкие сооружения вносит скоростная составляющая. Таким образом, поле нагрузки может быть построено по пространственному полю скоростей.

Третье допущение вносит упрощение в определение гидродинамических характеристик выростных объектов. Допущение состоит в том, что объект характеризует его масса и удельно-весовая характеристика, которая характеризует величину сопротивления оказываемого морским организмом движению водной среды.

Скорость относительно движения жидкости и объекта, а так же масса организмов зависят от координат и времени. По данным об изменении массы морских организмов можно сделать вывод о том, что их масса увеличивается

чрезвычайно медленно, т.е. в каждый заданный момент времени ее можно считать постоянной. Из вышесказанного следует *четвертое допущение* о том, что квазистатическое поле нагрузки в заданный промежуток времени (в пределах месяца) определяется *полем квадрата скоростей движения частиц жидкости*. Величины скоростей определяют величины сил, а их направления – направления вектора скорости.

В квазистатическом поле нагрузок, в котором сооружение занимает равновесное положение одновременно с изменением параметров движения среды, выключающиеся связи вносят изменения в него, накладывая «тени» на часть пространства, в котором оно формируется. Этот эффект зафиксирован в результатах натуральных экспериментов, а также получен теоретически в задачах главы 4.

Появление импульса в связи и отсутствие его в ней и характеризует нахождение связи в «светлой» или «теневого» области.

Таким образом, «теневого» областью или «тенью» называется область поля нагрузки, в которой в данный момент времени не возникает усилий в связи выращенного элемента с каркасом, если эту связь в нее в данный момент поместить.

Анализ «затененных областей» поля нагрузки и определение параметров изменения реакций в связях между несущим каркасом сооружения и выращенных элементов в «светлых областях» позволят уточнить загрузку ГТС нагрузкой при волновом воздействии. Чтобы сформировать поле нагрузки необходимо знать величину усилия, момент включения и выключения связи и положение этого импульса относительно профиля волны в широком диапазоне изменений переменных входящих в систему уравнений движения выращенного элемента.

Для этой цели система уравнений движения нити под волновой нагрузкой была приведена к более простому виду, где усилия и координаты зависят от трех параметров α, ξ, ρ и параметра относительного времени τ .

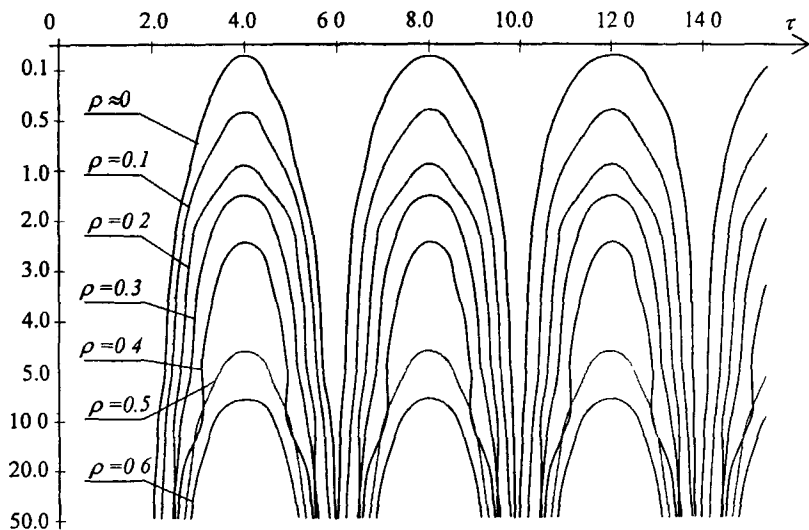
$$\begin{aligned} T_i &= \frac{EF}{l \cdot \omega} \cdot u_0 \cdot \eta_i(\alpha, \xi, \rho, \tau) \\ x_i &= \frac{u_0}{\omega} \cdot \chi_i(\alpha, \xi, \rho, \tau) \end{aligned} \quad (7)$$

где u_0 – скорость частиц жидкости; ω – круговая частота волнения; ρ – весовая характеристика; $\chi_i = x_i \cdot \frac{\omega}{u_0}$; $\tau = t \cdot \omega$; $\xi = l \cdot \omega / u_0$; $v_j = u_j \cdot \omega / u_0$.

Величины η_i и χ_i получают численным решением дифференциальных уравнений. В параметр v_j входят дополнительно параметры, характеризующие внешнее воздействие и положение выращенного элемента относительно профиля волны.

На основании проведенных выше формул и допущений были сформулированы принципы формирования поля волновой нагрузки на выращенные элементы ГТС:

- поле волновой нагрузки определяется пространственным полем квадрата скоростей движения частиц жидкости;
- при помещении гибкого выростного элемента в поле волновой нагрузки в связях выростного элемента возникают усилия обусловленные сопротивлением выростного элемента движению частиц в волне;
- усилия в связях выростного элемента при волновом воздействии носят импульсный периодический характер;
- кривая изменения импульса во времени хорошо аппроксимируется частью синусоиды, параболой, а в отдельных инженерных расчетах может быть заменена и прямоугольником;
- для характеристики момента включения и выключения связи, т.е. начала теневой области и ее конца, могут служить графики зависимости изменения положения точек, в которых функция $\eta(\alpha, \xi, \rho, \tau)$, характеризующая импульс во времени, равна нулю (рис.11);
- с увеличением значения коэффициента ρ , т.е. веса груза выростного элемента, появляются области, в которых связи никогда не выключаются;
- с целью определения характеристики волновой нагрузки на выростной элемент: начало и конец действия импульса, его форма и величина, моменты «включения-выключения» связей, может быть построена схема, полученная наложением графиков изменения значения функции $\eta(\alpha, \xi, \rho, \tau)$ и моментов «включения-выключения» связей (рис.12).



а Рис.11 График изменения положения и формы «теновой» и «светлой» областей во времени при различных значениях коэффициента α

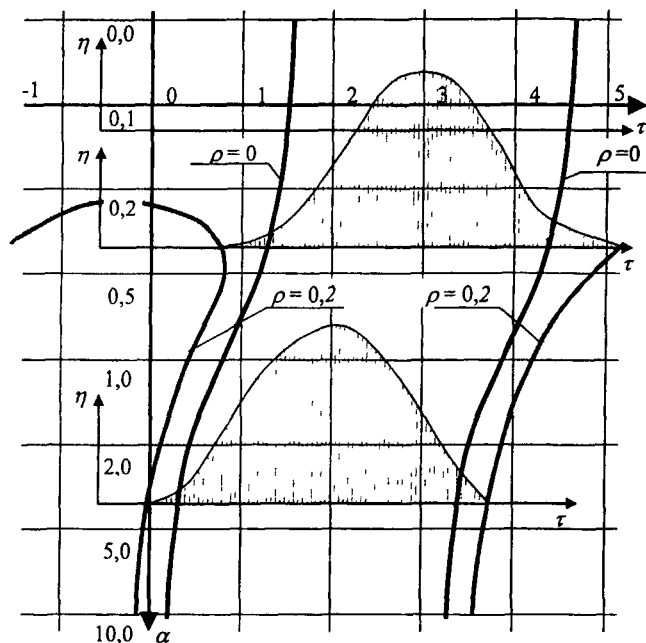


Рис.12 Схема определения начала, конца и формы импульса в связи возрастного элемента и несущего каркаса

В заключении перечислены результаты работы решения задачи по определению волновой нагрузки на гидробиотехнические сооружения:

- Установлена на основе натурных экспериментов в большом волновом лотке преобладающая скоростная составляющая волновой нагрузки на возрастной элемент;
- Выявлена удельно-весовая характеристика для исследованных возрастных элементов в зависимости от типа организмов и их массы, которая позволяет определять сопротивление по характеристикам роста и развития организмов, т.е. проектной урожайностью;
- Выполнена постановка задачи расчета возрастного элемента с неподвижной точкой крепления к несущему каркасу;
- Предложен и исследован приближенный численный метод решения дифференциальных уравнений основанный на комбинации аналитического метода Пикара-Линделефа и формул численного интегрирования (трапеций, Симпсона);
- Разработаны основы формирования поля нагрузки от волнового воздействия для ГБТС с учетом выключения гибких связей возрастных элементов.

Направлениями для дальнейших исследований являются:

- Решение задачи динамического расчета возрастного элемента с учетом перемещения точки крепления возрастного элемента к несущему каркасу;

- Построение основ загрузки несущего каркаса и систем горизонтального и вертикального удержания ГБСТ от нагрузок волнового воздействия с учетом выключающихся связей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Жуков К.А. Методика определения сопротивления движению выростных элементов гидробиотехнических сооружений в воде. // Научная конференция «Вологдинские чтения». Архитектура и строительство/ Материалы конференции. – Владивосток: ДВГТУ, 2002. – С.45.
2. Жуков К.А., Стоценко А.А. Волновые нагрузки на гидробиотехнические сооружения.//Тезисы докладов XXIII Российской школы по проблемам науки и технологий.– Миасс: МСНТ, 2003.- С.20.
3. Zhukov K.A, Stotsenko A.A. Influence of drag and inertia coefficients of hydrodynamic resistance on growing elements of hydrobiotechnical construction.//Fifth International Young Scholars' Forum of the Asia-Pacific Region Countries/Congress materials. Part II. – Vladivostok: FESTU, 2003. – P. 295.
4. Жуков К.А. Постановка задачи динамического расчета выростных элементов гидробиотехнических сооружений.// Научная конференция «Вологдинские чтения». Архитектура и строительство/ Материалы конференции. – Владивосток: ДВГТУ, 2003. – С.108.
5. Жуков К.А., Стоценко А.А. Постановка задачи расчета выростного элемента гидробиотехнических сооружений.// Тезисы докладов XXIV Российской школы по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П. Макеева. – Миасс: МСНТ, 2004.- С.58.
6. Жуков К.А. Исследования метода решения дифференциальных уравнений Пикара-Линделефа применительно к расчету выростных элементов гидробиотехнических сооружений.// Научная конференция «Вологдинские чтения». Архитектура и строительство/ Материалы конференции. – Владивосток: ДВГТУ, 2004. – С.26.
7. Жуков К.А. Метод Пикара-Линделефа при решении систем дифференциальных уравнений первого порядка.// Труды ДВГТУ; вып.140 – Владивосток: ДВГТУ, 2005. – С.191-193.
8. Жуков К.А. Основы формирования поля волновой нагрузки на выростные элементы гидробиотехнических сооружений (ГБТС).// Труды ДВГТУ; вып.140 – Владивосток: ДВГТУ, 2005. – С.193-196.
9. Жуков К.А. Динамический расчет гибкого выростного элемента ГБТС с использованием метода Пикара-Линделефа при волновой нагрузке.// Труды ДВГТУ; вып.140 – Владивосток: ДВГТУ, 2005. – С.196-200.

10. Жуков К.А. Использование приближенного метода Пикара-Линделефа при решении динамических задач.// Труды ДВГТУ; вып.140 – Владивосток: ДВГТУ, 2005. – С.200-203.

Подписано в печать 11.10.05 Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ 135.

Типография издательства ДВГТУ, 690950, Владивосток, Пушкинская, 10

№ 19318

РНБ Русский фонд

2006-4

21808