

ской инфраструктуры (балки, сборные колонны и т.д.) и для производства возобновляемой энергии (например, комбинированные ветровые турбины).

Таким образом, благодаря своим выдающимся свойствам и превосходным качествам по сравнению с традиционными материалами, волокнистые полимерные композиты считаются материалами будущего в строительстве мостов и тоннелей.

Список использованных источников

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*, 2012. – С. 7-17.
2. Чурсова Л.В., Ким А.М., Панина Н.Н., Швецов Е.П. Наномодифицированное эпоксидное связующее для строительной индустрии // *Авиационные материалы и технологии*, 2013. – С. 40-47.
3. Луговой А.Н., Савин В.Ф. О стандартах подходов к оценке характеристик стержней из волокнистых полимерных композиционных материалов // *Стройпрофиль*, 2011. – С. 30-32.

УДК 639.3.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УДЕРЖАНИЯ САДКОВОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБЫ

Тихонов Е.А.

Аннотация. В настоящее время промышленное выращивание рыбы в садках развивается в Республике Карелия, в Псковской области, а также в других регионах и странах. С увеличением объемов производства рыбы возрастает актуальность технологических, технических и биологических проблем получения экологически безопасной продукции рыбного хозяйства. В представленной работе рассматриваются технические аспекты совершенствования конструкции садкового модуля для промышленного выращивания рыбы.

Цель работы: уменьшение затрат на систему фиксации положения кластера садков.

Задача, которую необходимо решить для достижения данной цели заключается в разработке новой системы фиксации садков с учетом их взаимодействия в кластере.

Для решения данной задачи использован патентный поиск и анализ сильных и слабых сторон известных технических решений садков и их систем.

Разработана система удержания садкового модуля, в которой не подразумевается использование круглозвенных цепей, а натяжение системы обеспечивается балансирами. Кроме того, учет вертикальной составляющей при расчете реакции опоры якоря позволило более точно рассчитать необходимую массу якорей с учетом уменьшения силы трения и архимедовой силы.

Ключевые слова: аквакультура; система удержания садкового модуля, моделирование динамических систем.

Введение. В настоящее время промышленное выращивание рыбы в садках развивается в Республике Карелия [1], в Псковской области [2], а также в других регионах [3, 4] и странах [5, 6]. С увеличением объемов производства рыбы возрастает актуальность технологических, технических и биологических проблем получения экологически безопасной продукции рыбного хозяйства [1, 8].

В представленной работе рассматриваются технические аспекты совершенствования конструкции системы удержания садков для промышленного выращивания рыбы. В данной области, как правило применяется так называемая «Норвежская система удержания» [10]. Основной особенностью данной системы является применение круглозвенных якорных цепей, соединяющих удерживающий канат и якорь. При работе системы удержания часть цепи лежит на дне, а часть висит в толще воды, тем самым, с одной стороны, обеспечивая натяжения всей системы канатов и исключая вертикальную составляющую силы действующей на якорь.

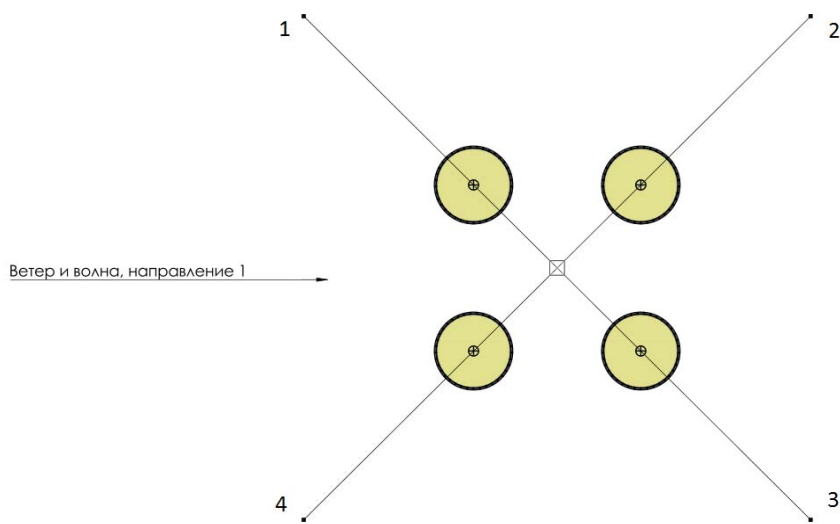
К недостаткам данной системы можно отнести неоправданно большое количество канатов и грузов. Так же стоимость 1 метра круглозвенной цепи очень высока.

Цель и задача работы, методика решения. Цель работы: уменьшение затрат на систему удержания садкового модуля за счет снижения требуемого количества канатов и отказ от использования круглозвенных цепей.

Задача, которую необходимо решить для достижения данной цели заключается в разработке динамической расчетной модели системы удержания садкового модуля которая будет учитывать ветровую и волновую нагрузки на модуль, а также обеспечит натяжение системы и учет вертикальной составляющей реакции опоры якоря.

Для решения данной задачи применялся численный метод моделирования динамических систем. Данный метод показал свою эффективность и хорошую адекватность получаемых результатов [7].

Для решения данной задачи была смоделирована система удержания садкового модуля из 4-х садков диаметром 25 м. Общая компоновка системы представлена на рисунке 1.



Далее, необходимо выполнить следующие этапы расчета:

1. определить исходные данные для расчета;
2. расчет ветровой нагрузки на один садок;
3. расчет комплексного динамического воздействия волна/ветер на садковый модуль;
4. определение максимального осевого усилия в удерживающих канатах;
5. определение необходимой массы якоря с учетом динамической отрывающей силы.

В качестве исходных данные примем следующее:

1. скорость ветра: 20 м/с;
2. параметры волны:
 - а. высота: 1,88 м;
 - б. длина: 20,7 м;
 - в. период: 3,64 с;
3. течение: 0,15 м/с (пренебрегаем);
4. усилие на балансирах: 1000 Н (см. рис. 3.3).

Расчет ветровой нагрузки осуществляется в два этапа:

1. определение эпюры скоростей потока воздуха, проходящего через садок;
2. определение суммарного гидравлического давления на элементы конструкции садка;
3. определение реакции опоры места крепления садка.

Для решения поставленных задач используем систему численного моделирования Flow Simulation и Simulation. Для расчета используем упрощенную модель садка с хомутами, обеспечивающими требуемую парусность (см. рисунок 2).

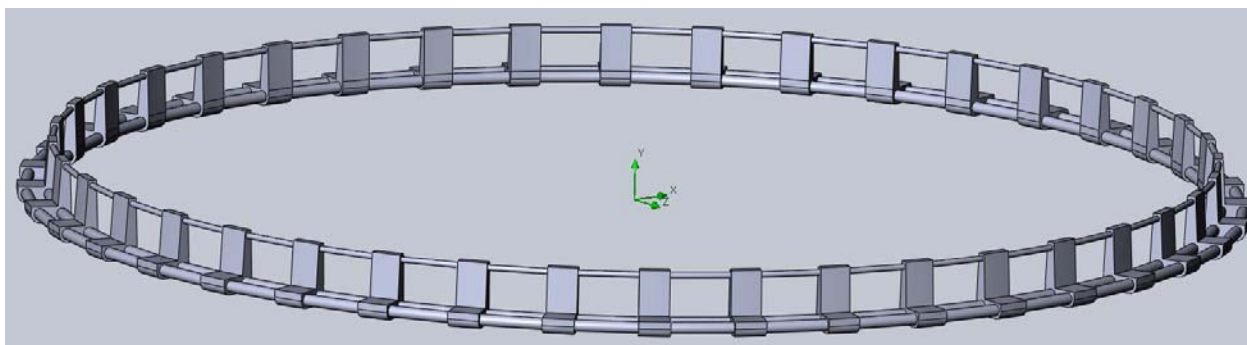


Рисунок 2 – Модель садка для определения ветровой нагрузки

Результат продувки садка представлен на рисунке 3.

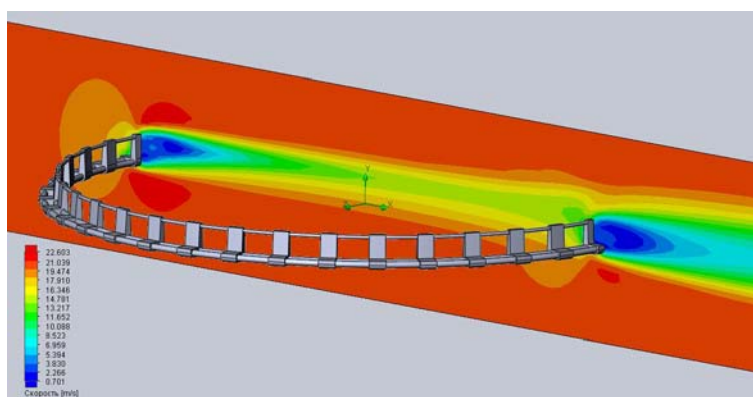


Рисунок 3 – Распределение скоростей потока воздуха в диаметральной плоскости садка

Данная ветровая нагрузка приводит к деформациям садка. Форма садка становится эллиптической в пределах упругих деформаций элементов конструкции садка. Определим усилие, действующее на садок, от ветровой нагрузки путем определения реакции опоры места крепления каната к садку (см. рисунок 4).

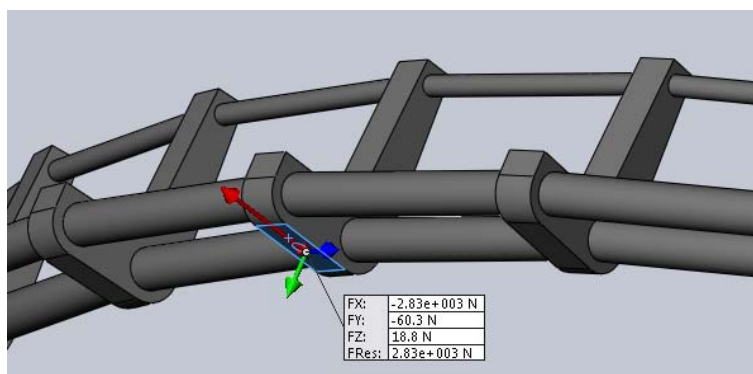


Рисунок 4 – Реакция опоры места крепления каната к садку

По результатам расчета принимаем ветровую нагрузку для дальнейших расчетов равную 2830 Н.

Для определения динамического воздействия ветра и волны используем систему ANSYS MECHANICAL. Применим нестационарный тип анализа. Для построения расчетной модели используем упрощенную модель садков. Для моделирования канатов используем балочный элемент link180. Общий вид системы представлен на рисунке 5.

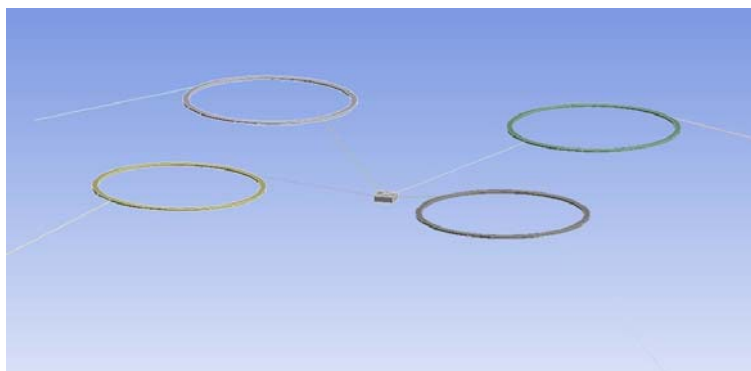


Рисунок 5 – Общий вид расчетной модели садкового модуля

Перемещения садков по вертикали определяются формой водной поверхности. В соответствии с параметрами волны, волновая функция соответствует высоте, длине и периоду волны.

В соответствии с реальными условиями эксплуатации модель ограничена 4 якорными точками. На балансир в центре действует сила, равная 1000Н. Ветровая нагрузка прикладывается к каждому садку (см. рис. 6 и 7).

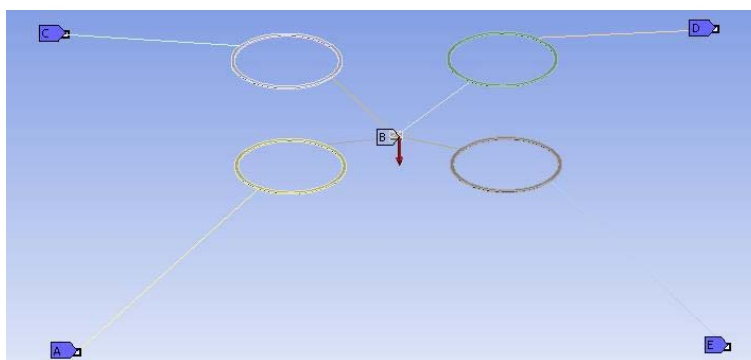


Рисунок 6 – Сила тяжести балансира

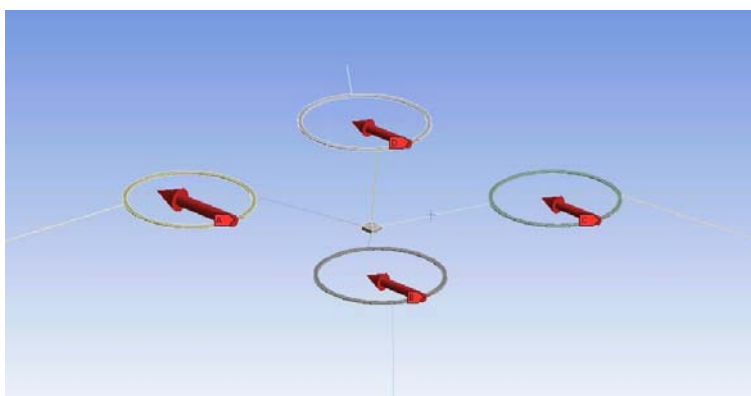


Рисунок 7 – Приложение ветровой нагрузки

Направление движения волн совпадает с вектором приложения ветровой нагрузки.

В целом на систему действует ускорение, равное 4000 мм/с^2 . Данное ускорение имитирует силу тяжести для канатов, погруженных в воду.

Длительность моделирования системы составит 50 с, минимальный шаг по времени расчета составит 0,01с.

Результаты. По результатам расчета получены графики изменения осевого усилия всех канатов. График изменения осевого усилия наиболее нагруженного каната представлен на рисунке 8.

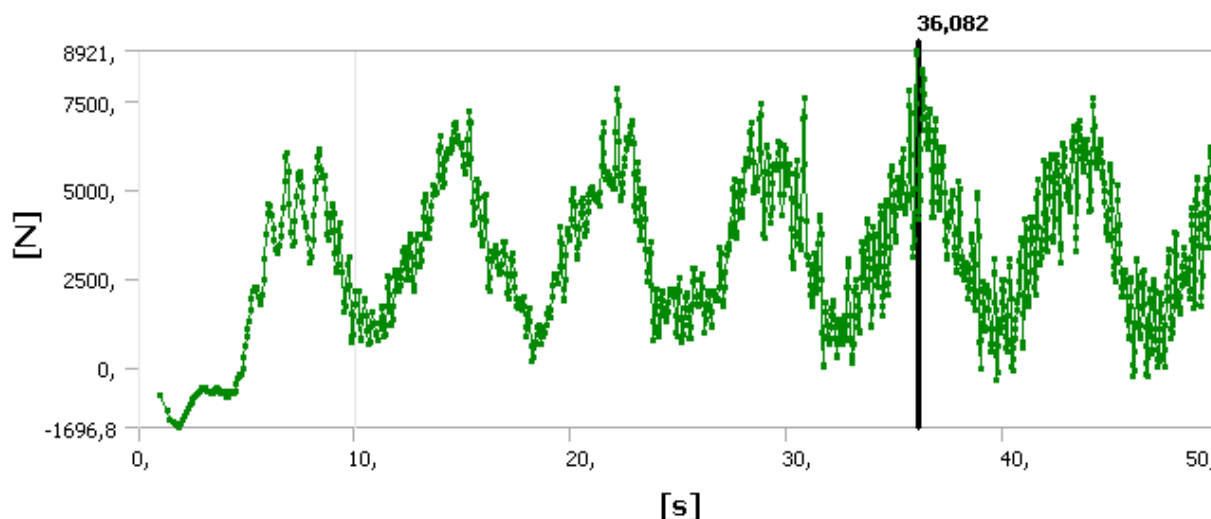


Рисунок 8 – График изменения осевого усилия наиболее нагруженного каната

Максимальное усилие, равное 8921 Н, возникает на 36 секунде моделирования. Это обусловлено цикличностью волновой и инерциальных нагрузок системы. В данный момент времени наблюдается наибольший резонанс колебаний. Теперь, согласно рассчитанному максимальному усилию, можно подобрать канат.

Для определения требуемой массы якорей необходимо учесть комплексный фактор Z/XY . Комплексный фактор Z/XY учитывает величину вертикальной составляющей реакции опоры якоря. В таблице 1 представлены значения усилий, действующих на якоря (опоры) с самым нагруженным канатом, по осям координат.

Таблица 1 – Максимальные значения реакций опор по декартовым координатам

№ опоры	По оси X, Н	По оси Y, Н	По оси Z, Н	В горизонтальной плоскости, $\vec{X} + \vec{Y}$, Н
1	5142	4737	1673	6991
2	2997	2714	1081	4043
3	1817	1836	775	2583
4	5657	5924	2238	8191

Далее, определим необходимую силу тяжести для каждого якоря. Силу тяжести груза определим через минимально необходимую силу трения. Коэффициент трения якоря о дно (удерживающая сила) примем как для гравитационного якоря, без зацепов и лап $f=1,01$ [10].

Тогда, минимальная составляющая сила тяжести якоря в воде составит:

$$N = \frac{(\vec{X} + \vec{Y})}{f} + N_z$$

где N_z – сила реакции опоры якоря по оси Z.

Сведем в таблицу 2. результаты расчета минимальной требуемой силы тяжести якорей в воде.

Таблица 2 – Значения минимальной требуемой силы тяжести якорей в воде

№ груза	Минимальной требуемой силы тяжести грузов
1	8663
2	5124
3	3357
4	10429

Данная сила тяжести действует в воде. Для расчета необходимой массы якорей необходимо скомпенсировать архимедову силу. Для этого примем плотность материала якоря (гранит) равную 2500 кг/м³.

Выполним итерационный расчет масс якорей с подбором требуемого объема якорей. Результаты расчета сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Итерационный расчет массы якорей

Объем груза (принимаем), куб.м	Архимедова сила, Н	Минимальная сила тяжести якоря на суше, Н	Масса якоря, кг	Объем якоря (расчетный), куб.м
0,59	5786	14449	1473	0,59
0,35	3432	8556	872	0,35
0,22	2158	5515	562	0,22
0,71	6963	17392	1773	0,71

Заключение. Моделирование предложенной системы удержания садкового модуля показало перспективность применения балансиров и отказ от использования круглозвенных цепей. Это стало возможным благодаря выделению из расчетных реакций опор якорей вертикальной составляющей. Предложенная система позволяет уменьшить требуемое количество канатов и сопутствующего такелажного обеспечения.

Список использованных источников

1. Кузнецова Е.В. Особенности болезней лососевых рыб при садковом выращивании // Международный вестник ветеринарии. – 2016. – № 4. – С. 18-21.
2. Монахов И.А., Купинский С.Б. Выращивание товарной форели в садках на примере рыбноводного хозяйства Псковской области // В сборнике: Континентальная аквакультура: ответ вызовам времени. – 2016. – С. 233-235.
3. Судакова Н.В., Кушникова Л.Б., Ануарбеков С.М., Евсеева А.А., Жаркенов Д.К. Особенности садкового выращивания пеляди (*Coregonus peled*) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в горных водоёмах восточного Казахстана // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 4 (18). – С. 21-27.
4. Хандожко Г.А., Васильев А.А. Результаты производственной апробации выращивания стерляди // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 2. – С. 45-46.
5. Жаркенов Д.К., Неваленный А.Н., Исбеков К.Б., Асылбекова С.Ж., Садыкулов Т.С., Ануарбеков С.М., Бадрызлова Н.С. Технология выращивания форели на Таинтинском водохранилище в Восточно-Казахстанской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 85-94.
6. Хандожко Г.А., Васильев А.А. Результаты производственной апробации выращивания стерляди // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 2. – С. 45-46.
7. Горина М. А., Горин А. В., Козырев Д. Л. Моделирование динамических систем // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 31. – С. 726–730. – URL: режим доступа: <http://e-koncept.ru/2017/970160.htm>.
8. Aqualine strenght counts.: режим доступа <http://www.aqualine.no/en/products/>
9. Грудницкий Г.В., Грудницкий С.Г., Егоров С.И., Мамуров Р.Р. Морские нефтегазовые точечные причалы. – М.: Издательство «Энерджи пресс», 2011. – 368 с.
10. Садок для промышленного выращивания рыбы с системой подъема сетной камеры. Патент RU 160 857. Опубликовано: 10.04.2016. – Бюл. № 10.
11. Campbell River Netloft.: режим доступа: <http://crnetloft.ca/>