

Матричная система удержания садкового модуля для промышленного выращивания рыбы

Канд. техн. наук, доцент
Е.А. Тихонов –
Петрозаводский
государственный
университет

@ tihonov@petsu.ru

Ключевые слова:

аквакультура; система удержания садкового модуля, моделирование динамических систем

Keywords:

aquaculture; cages holding system, dynamic systems modelling

MATRIX CAGES HOLDING SYSTEM FOR INDUSTRIAL FISH FARMING

Tihonov E.A., PhD, Associate Professor, Petrozavodsk State University, tihonov@petsu.ru

In the paper, the technical aspects of modeling the retention system of matrix-type cages for industrial fish farming in a pond is considered. To date, there is no developed calculation methodology that takes into account the layout features of each cage module. The layout of the modules can vary significantly: from 1 to 36 cages of various designs. The aim of the work is to substantiate the parameters of the holding ropes, the length of the pull chains and the required mass of anchors by calculating the tensile forces in the ropes and the reaction of the anchor supports when solving the dynamic task in an unsteady setting. To solve this problem, a dynamic system was developed considering wind, wave, and inertial loads acting on all elements of the system: cage, holding ropes, chains, anchors. The force acting on the surface of the cage from the wind is received. The values of tensile forces in the ropes, the reaction of the supports of the anchors in three planes are obtained. The lengths of the chains are identified, ensuring the absence of tearing forces acting on the anchors. The masses of anchors are calculated taking into account the Archimedean force, depending on the density of the anchors' material. The simulation lasted for 60 s. At 37 seconds of calculation, a resonant phenomenon was revealed: a significant increase in the breaking strength in the rope.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Республика Карелия производит около 25 тыс. т товарной форели [1]. При этом, Республика Карелия имеет огромный потенциал интенсивного наращивания объемов производства [2]. Ряд других регионов [3; 4] также наращивают

промышленное производство товарной форели. В целом, во многих странах уделяется особое внимание промышленному рыбоводству [5]. С ростом объемов производства рыбы все острее становятся вопросы технологического, технического и экологического плана, касающиеся полу-

чения безопасной продукции промышленного рыбоводства.

Широко распространена система удержания матричного типа [7]. Принцип данной системы базируется на использовании круглозвенных якорных цепей, соединяющих удерживающий канат и якорь, и размещение садков в ячейках, сформированных удерживающими канатами. При этом силы, действующие на садок передаются удерживающим канатам через промежуточные канаты, соединяющие садок с удерживающими канатами. Методика проектирования данной системы удержания является коммерческой тайной.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧА РАБОТЫ, МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Цель работы: разработка методики расчета нагрузок, действующих на систему удержания матричного типа от волн и ветра.

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

Для решения данной задачи была смоделирована система удержания садкового модуля из 4-х садков диаметром 30 метров. Общая компоновка системы представлена на рисунках 1 и 2.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Для достижения целей расчета необходимо выполнить следующие задачи:

- расчет ветровой нагрузки на садок;

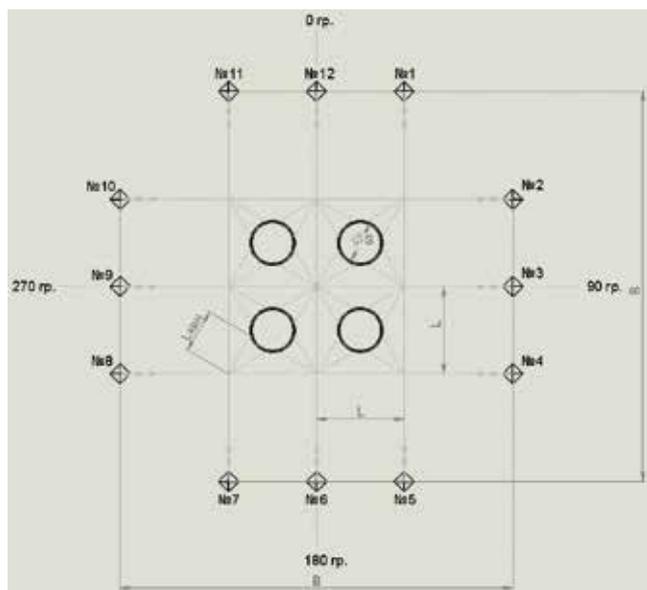


Рисунок 1. Система удержания садкового модуля, вид сверху
Figure 1. Hatchery module holding system, top view

В представленной работе рассматриваются технические аспекты моделирования системы удержания садков матричного типа для промышленного выращивания рыбы в водоеме. На сегодняшний момент не существует разработанной методики расчета, которая бы учитывала компоновочные особенности каждого садкового модуля. Компоновка модулей может значительно отличаться: от 1 до 36 садков различных конструкций. Целью работы является: обоснование параметров удерживающих канатов, длины оттяжных цепей и требуемой массы якорей, посредством расчета растягивающих усилий в канатах, и реакции опор якорей при решении динамической задачи в нестационарной постановке. Для решения данной задачи была разработана динамическая система, учитывающая ветровые, волновые и инерционные нагрузки, действующие на все элементы системы: садок, удерживающие канаты, цепи, якоря. Получено усилие, действующее на надводную часть садка от ветра. Получены величины разрывных усилий в канатах, реакции опор якорей в трех плоскостях. Подобраны длины цепей, обеспечивающие отсутствие отрывающих сил, действующих на якоря. Рассчитаны массы якорей, с учетом действия Архимедовой силы, зависящей от плотности материала якоря. Длительность моделирования составила 60 секунд. В течение этого времени выявлено одно резонансное явление: значительное увеличение разрывного усилия в канате на 37 секунде расчета.

- расчет комплексного динамического воздействия волна/ветер на садковый модуль;
- определение максимального осевого усилия в удерживающих канатах;
- определение необходимой массы якорей с учетом динамической отрывающей силы.

Расчет ветровой нагрузки осуществляется в три 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

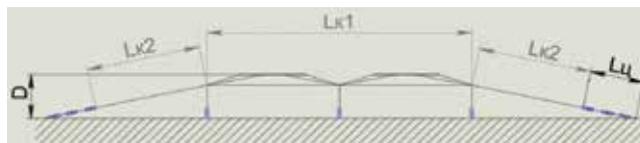


Рисунок 2. Система удержания садкового модуля, вид сбоку
Figure 2. Hatchery module retention system, side view

Flow Simulation и Simulation. Для расчета используем упрощенную модель садка с хомутиками, обеспечивающими требуемую парусность (рис. 3).

Результат продувки садка представлен на рисунке 4.

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 (рис. 5).

По результатам расчета принимаем ветровую нагрузку для дальнейших расчетов равную 7700 Н.

Для моделирования динамического воздействия ветер/волна используем систему ANSYS MECHANICAL. Применим нестационарный тип анализа. Для построения расчетной модели используем упрощенную модель садков: поверхность в виде кольца с сечением, обеспечивающим гибкость, соответствующую гибкости садка из двух труб диаметром 250 мм SDR26 (толщина стенки – 9,6 мм) с точками крепления канатов (рис. 6).

Для моделирования канатов используем балочный элемент link180. Общий вид системы представлен на рисунке 7.

Перемещения садков по вертикали определяются формой водной поверхности. Фор-

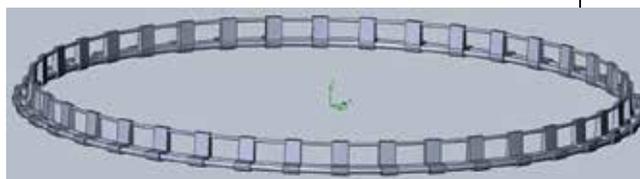


Рисунок 3. Модель садка для определения ветровой нагрузки
Figure 3. Hatchery model for determining wind load

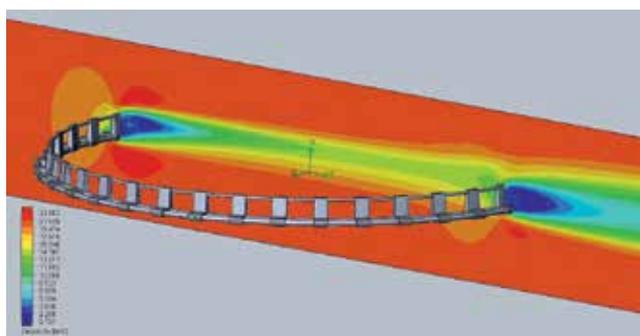


Рисунок 4. Поле распределений скоростей потоков воздуха
Figure 4. Field of air velocity distribution

ма водной поверхности представлена в виде гармонической функции с параметрами, за-

Таблица 1. Исходные данные для расчета / **Table 1.** The raw data for the calculation

№	Параметр	Значение
Внешние нагрузки		
1	Скорость ветра, м/с	22
3	Направление ветра, град. (см. рисунок 1)	0
4	Высота волны, м	2,5
5	Скорость волны, м/с	4
6	Длина волны, м	34
7	Направление волны, град. (см. рисунок 1)	0
Параметры садка		
1	Внутренний диаметр садка (S), м	30
2	Диаметр труб, мм	250
3	Расстояние между трубами, мм	500
4	Диаметр леера, мм	110
5	Высота леера, мм	1000
Параметры системы удержания (см. рис. 1)		
1	Габариты системы (В), м	275
2	Сторона матрицы (L), м	61,5
3	Длина внутреннего каната (Lквн), м	31
4	Длина цепи (Lц), м	25
5	Длина основного каната (Lк2+Lк1+Lк2)	53+61,5+53
6	Масса 1 метра цепи, кг	44
7	Материал якорей	гранит
Параметры расчета		
1	Время моделирования, сек	60
2	Коэффициент запаса прочности канатов	1,5

Таблица 2. Максимальные усилия на центральном и соседних канатах / **Table 2.** Maximum forces on the central and adjacent ropes

Канат	Растягивающее усилие (Н)	Соотношение (%)
Левый	46923	65,8
Центральный	71293	100
Правый	46513	65,2

Таблица 3. Максимальные значения реакций опор по декартовым координатам и результирующей / **Table 3.** The maximum values of reaction of the supports in Cartesian coordinates and the resulting one

№ опоры	По оси X, Н	По оси Z, Н	В горизонтальной плоскости, $\vec{X}+\vec{Y}$, Н
1	38442	1484,8	41219,3
2	1818,6	32708	36904
3	1126,1	43964	57825,5
4	1002,8	32431	32969,5
5	4387,6	1083,8	4753,4
6	14191	776,4	11585,3
7	12002	2160,9	12129,9
8	1446,7	12021	12117
9	1715,9	27774	13461
10	1673,2	12046	12161,8
11	47533	2666,9	47607,8
12	44009	2289,3	44737,6

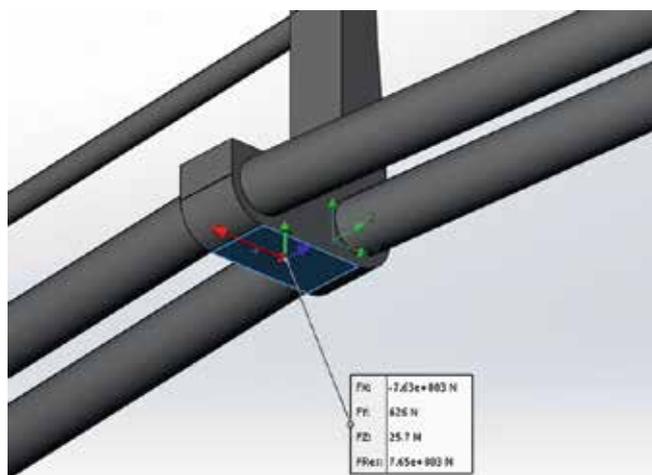


Рисунок 5. Реакция опоры места крепления каната к садку

Figure 5. Reaction of the support of the rope attachment site

данными в таблице 1. В соответствии с реальными условиями эксплуатации, модель модуля ограничена 12 якорными точками (см. рис. 1).

Рассчитанная ветровая нагрузка прикладывается к упрощенной модели садков (рис. 8).

Направление движения волн совпадает с вектором приложения ветровой нагрузки (см. п. 1). В целом на систему действует ускорение, равное 9800 мм/с². Данное ускорение имитирует силу тяжести для цепей, погруженных в воду (см. рис. 4, б). Моделирова-

ние системы будет происходить в течение 60 секунд с постепенным наращиванием амплитуды колебаний и действующих сил. Устоявшийся режим установится с 10 секунды. Минимальный шаг по времени расчета 1•10⁻⁶ секунды.

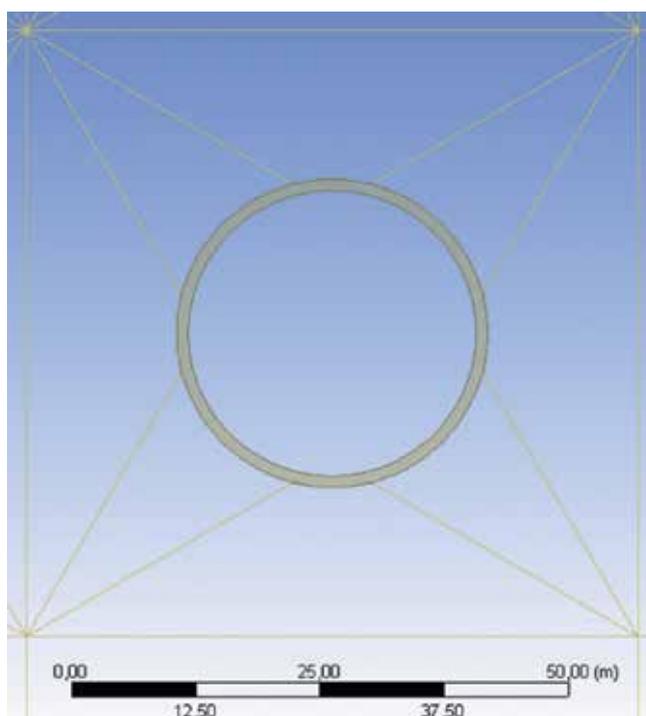


Рисунок 6. Расчетная модель садка

Figure 6. The calculated model of the hatchery

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам расчета получены графики изменения осевого усилия всех канатов. График изменения осевого усилия наиболее нагруженного каната представлен на рисунке 9.

Максимальное усилие, равное 71293 Н, возникает на 44 секунде моделирования. Это обусловлено цикличностью волновой и инерциальных нагрузок системы. В данный момент времени наблюдается наибольший резонанс колебаний. Самые нагруженные канаты расположены со стороны действия ветра и волны (0° – см. рис. 1). Максимальные усилия на центральном и соседних канатах представлены в таблице 2.

Далее, проанализируем вертикальную составляющую реакции опор якорей. Данный анализ необходим для определения необходимой длины цепей. Далее представлена диаграмма вертикальной составляющей реакции опор одного из якорей (рис. 10).

Анализ показывает, что отрицательные значения вертикальной составляющей реакции опоры якорей, после 10 секунды моделирования, отсутствуют. Это говорит о том, что цепи, соединяющие якоря с канатами, всегда частично лежат на дне. Это является важным условием правильной работы якорей.

На рисунке 11 представлена диаграмма горизонтальных составляющих реакции опор якоря.

Как видно из диаграммы, одна составляющая горизонтальной реакции опоры превалирует. Однако, при расчете результирующей, малая составляющая будет учитываться. Далее в таблицу 3 занесем максимальные значения реакций опор по декартовым координатам и расчет результирующей.

Для обеспечения неподвижности якорей необходимо обеспечить следующее условие:

$$F_{\text{тр}} \geq X + Y$$

Таблица 4. Минимальная требуемая сила тяжести якорей в воде (F_{2HO}), Н /

Table 4. Minimum required gravity of anchors in water (F_{2NO}), N

Но груза	Минимальная требуемая сила тяжести грузов, Н
1	30776,5
2	26206,8
3	35182,7
4	25957,2
5	3615,6
6	11369,8
7	9756
8	9686,2
9	22261,6
10	9729,3
11	38086,2
12	35254,8

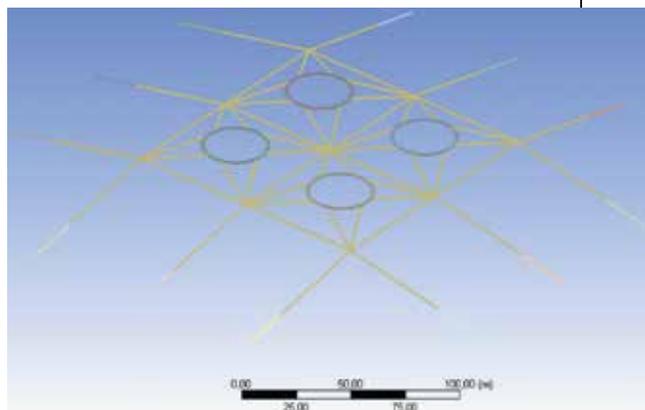


Рисунок 7. Общий вид расчетной модели садкового модуля

Figure 7. General view of the hatchery module calculation model

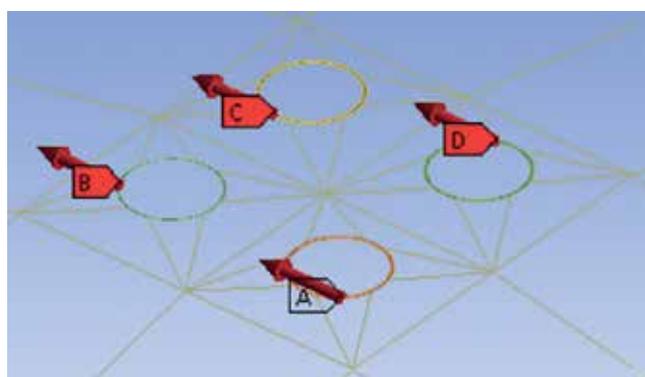


Рисунок 8. Приложение ветровой нагрузки

Figure 8. Wind load application

Далее, через минимально необходимую силу трения, определим необходимую силу тяжести для каждого груза. Коэффициент трения якоря о дно (удерживающая сила) примем как для гравитационного якоря, без зацепов и лап $f=1,25$ для илистого дна. Сила трения определяется по формуле:

Таблица 5. Сводная таблица требуемых масс якорей /
Table 5. Summary table of the required masses of anchors

№ груза	Расчетная масса якоря, т.
1	5,1
2	4,3
3	5,8
4	4,3
5	0,6
6	1,9
7	1,6
8	1,6
9	3,7
10	1,6
11	6,3
12	5,8

$$F_{тр} = f \cdot N$$

где N – сила реакции опоры (сила тяжести груза), Н:

$$N = mg$$

Выразим силу тяжести груза:

$$N = F_{тр} / f$$

Тогда минимальная сила тяжести груза составит:

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

Сведем в *таблицу 4* результаты расчета минимальной требуемой силы тяжести якорей в воде.

Данная сила тяжести действует в воде. Для расчета нужной массы якорей необходимо скомпенсировать архимедову силу. Для этого примем плотность материала якоря (гранит) равную 2600 кг/м³. Архимедову силу определим по формуле:

$$F_{Арх} = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot V$$

где ρ_{H_2O} – плотность воды, кг/м³;
g – ускорение свободного падения, с-1;
V – объем якоря, м³.

Тогда, минимальная сила тяжести якоря, действующая на суше, будет равна:

$$F_{суша} = F_{H_2O} + \rho_{H_2O} \cdot g \cdot V$$

Окончательно массу якоря определим по формуле:

$$M_{якоря} = F_{суша} / g$$

Так как, при постоянной плотности материала якоря, существует прямая зависимость между объемом и массой, то для окончатель-

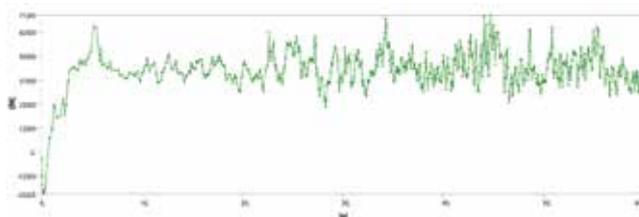


Рисунок 9. График изменения осевого усилия наиболее нагруженного каната (Н)
Figure 9. Graph of changes in axial force of the most loaded rope (N)

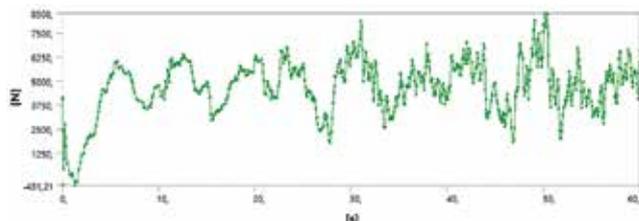


Рисунок 10. Диаграмма вертикальной составляющей реакции опоры якоря
Figure 10. The diagram of the vertical component of the anchor's reaction of the support

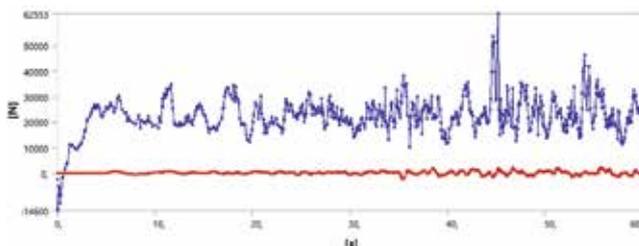


Рисунок 11. Усилия, действующие на якорь №4 по осям координат X, Z, (Н)
Figure 11. The forces acting on the anchor No. 4 along the coordinate axes X, Z, (N)

ного определения масс якорей необходимо выполнить итерационный расчет для каждого якоря. Выполним расчет масс якорей. Результаты расчета сведем в таблицу 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика моделирования матричной системы удержания садкового модуля показала свою перспективность применения для практического проектирования систем удержания, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях. Методика учитывает все важные особенности функционирования системы: ветровую и волновую нагрузки, инерционные и резонансные явления, поведение оттяжных цепей. Данный подход позволит проектировать системы удержания с минимальной стоимостью и требуемой надежностью.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Кузнецова Е.В. Особенности болезней лососевых рыб при садковом выращивании // Международный вестник ветеринарии. 2016. № 4. С. 18-21.
1. Kuznecova E.V. Osobennosti boleznej lososevyh ryb pri sadkovom vyrashchivanií // Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii. 2016. № 4. pp. 18-21.
2. Монахов И.А., Купинский С.Б. Выращивание товарной форели в садках на примере рыбоводного хозяйства Псковской области // В сборнике: Континентальная аквакультура: ответ вызовам времени 2016. С. 233-235.
2. Monahov I.A., Kupinskij S.B. Vyrashchivanie tovarnoj foreli v sadkah na primere rybovodnogo hozyajstva Pskovskoj oblasti // V sbornike: Kontinental'naya akvakul'tura: otvet vyzovam vremeni 2016. pp. 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.
3. Sudakova N.V., Kushnikova L.B., Anuarbekov S.M., Evseeva A.A., Zharkenov D.K. Osobennosti sadkovogo vyrashchivaniya pelyadi (*coregonus peled*) i raduzhnoj foreli (*oncorhynchus mykiss*) v gornyh vodoyomah vostochnogo Kazahstana // Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2017. № 4 (18). pp. 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.
4. Handozhko G.A., Vasil'ev A.A. Rezul'taty proizvodstvennoj aprobacii vyrashchivaniya sterlyadi // Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. 2013. № 2. pp. 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 Тайтинском водохранилище в Восточно-Казахстанской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. № 4. С. 85-94.
5. Zharkenov D.K., Nevalennyj A.N., Isbekov K.B., Asylbekova S.Zh., Sadykulov T.S., Anuarbekov S.M., Badryzlova N.S. Tekhnologiya vyrashchivaniya foreli na Taintinskom vodohranilishche v Vostochno-Kazahstanskoj oblasti // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo. 2017. № 4. pp. 85-94.
6. Горина М. А., Горин А. В., Козырев Д. Л. Моделирование динамических систем // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 31. С. 726–730. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970160.htm>.
6. Gorina M.A., Gorin A. V., Kozyrev D. L. Modelirovanie dinameskich sistem // Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept». – 2017. – T. 31. S. 726–730. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970160.htm>.
7. Aqualine Midgard System [Электронный ресурс] <http://www.aqualine.no/en/products/> [дата обращения 10.01.2019]
7. Aqualine Midgard System [Web resource] <http://www.aqualine.no/en/products/>
8. Тихонов Е.А., Анчеев В.А., Маганов И.А., Курицын А.Е. Садок для промышленного выращивания рыбы с системой подъема сетной камеры. Патент RU 160 857. Опубликовано: 10.04.2016.
8. Tihonov E.A., Ancheev V.A., Maganov I.A., Kuricyn A.E. Sadok dlya promyshlennogo vyrashchivaniya ryby s sistemoy pod'yoma setnoj kamery. Patent RU 160 857. Opublikovano: 10.04.2016.
9. Fish Farm Nets [Электронный ресурс] <http://crnetloft.ca/fish-farm-nets> [дата обращения 09.01.2019].
9. Fish Farm Nets [Elektronnyj resurs] <http://crnetloft.ca/fish-farm-nets>

