

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОБИОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МОЛЛЮСКОВ В МОРЕ

В.Д. Геллер<sup>1</sup>, В.А. Урденко<sup>2</sup>, А.Н. Греков<sup>1</sup>, Н.А. Греков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28,

<sup>2</sup> Морской гидрофизический институт РАН, РФ, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: <sup>1</sup>oceanmhi@ya.ru; <sup>2</sup>aquarius42@mail.ru

В работе рассмотрены технологии создания гидробиотехнических сооружений (ГБТС) для культивирования моллюсков в море, которые являются природным источником биологически-активных веществ. На основе анализа и многочисленных испытаний предложены оптимальные конструкции ГБТС, а также технологии их эксплуатации. Выполнен расчёт сил, действующих на элементы оснастки ГБТС в натуральных условиях при штормовых условиях, а также представлены результаты комплекса лабораторных и натуральных испытаний на надёжность элементов оснастки. Подтверждено, что большинство сооружений (98,7%) выдержали длительные штормовые нагрузки.

**Ключевые слова:** гидробиотехнические сооружения, оснастка, надёжность, испытания.

Поступила в редакцию: 07.06.2018.

**Введение.** Чрезмерное антропогенное воздействие и нерациональное рыболовство, особенно проявившие себя во второй половине XX века, привели к значительному уменьшению биологических ресурсов и к общему ухудшению экологического состояния вод шельфовой зоны Черного моря. Возникла необходимость принятия серьезных мер по оздоровлению окружающей среды. Как показал опыт, перспективным направлением повышения эффективности использования биологических ресурсов водоема, сопряженным с мелиорацией его вод, является развитие промышленной марикультуры.

Марикультура в широком понимании – рациональное, научно-обоснованное использование морских биологических ресурсов с сохранением уровня их запасов и постоянно возрастающим объемом управляемого воспроизводства гидробионтов [1]. Анализ конкурентоспособности марикультуры, быстро прогрессирующего состояния биотехники культивирования живых водных ресурсов, показывает экономические преимущества более высокой формы организации освоения и использования морских биологических ресурсов. А по такому важному критерию как окупаемость капиталовложений марикультура становится предпочтительнее, нежели модернизация многих современных методов рыболовства.

Культивирование мидий – одно из ведущих направлений марикультуры. Мясо моллюсков является природным источником биологически-активных веществ. Оно отличается высоким уровнем

содержания аминокислот, легко усвояемых белков, оптимальным содержанием углеводов, липидов, макро- и микро-элементов, витаминов. Мидийные продукты обладают широким спектром лечебно-профилактических свойств, повышают общую устойчивость организма, в том числе, к действию токсичных веществ, ультрафиолета, ионизирующей радиации. Комплексные соединения белков с углеводами (гликопротеиды) придают продукции из мидий иммуностимулирующие, противоопухолевые и кроветворные свойства. Содержание биологически активного вещества таурина, а также биополимеров типа глюкозамина, меланопидов ставят мидию в ряд сильнейших антиоксидантов и радиопротекторов.

Пищевые продукты из мидий – это товарные живые мидии, деликатесное мясо, изготовленные на его основе консервы, пресервы, сушеная, копченая и кулинарная продукция, которые относятся к категории высокопитательных "продуктов здоровья". Это также пищевые гидролизаты, мидийный бульон, напитки и соусы с использованием межстворчатой жидкости, богатые биологически активными веществами и обладающие лечебно-профилактическими свойствами.

Перемолотые известковые створки раковин с остатками биссуса, некондиционным мясом и отходы от гидролизата могут использоваться для производства кормов, когда при возрастании затрат не более чем на 5% увеличивается продуктивность свиноводства на 10%, а яйценоскость кур на 12% .

Успешное функционирование марикультуры моллюсков возможно при наличии искусственных субстратов, на которых селятся объекты культивирования [2]. Этими субстратами служат специальные ГБТС, дорогостоящие элементы производства культивируемых моллюсков.

**Конструкции ГБТС.** Конструкции ГБТС состоят из следующих основных элементов: гибкая или иная часть коллекторов – субстрат; плавучести (наплава) поддерживающие ГБТС в водной среде в нужном положении; система якорей и грузов, удерживающая ГБТС в заданном положении на нужном месте.

Схемы некоторых ГБТС, используемых в мировой практике приведены на рис. 1.

Для обоснованного выбора оснастки плантаций в 1993–1995 гг. были проведены испытания разработанных к тому времени следующих коллекторов-носителей:

- Н7-ИКБ-СБ и Н7-ИКМ-128 разработки ЮгНИРО;

- УМР-036, "Моллюск 2/4" и модуль "РИФ" разработки Института биологии южных морей АН УССР (ныне Институт морских биологических исследований (ИМБИ) РАН);

- Н4-ИМД и БАНИСКАП разработки ВНИРО;

- несколько разновидностей коллекторов МИ разработки НТЦ "Шельф".

В носителе "Моллюск 2/4" использовались плохо спаянные полиэтиленовые трубы, к которым крепились коллектора. При испытаниях носитель затонул, и в дальнейшем не был принят к эксплуатации.

Для постановки громоздкого носителя УМР-036 требовался плавкран и при низкой рентабельности из-за неудобного съема урожая он также не был принят к эксплуатации.

В коллекторе-носителе Н7-ИКБ-СБ субстратом служили стандартные наплава 29Н, с которых мидии сползали, не достигнув товарного размера. Поэтому он также не был принят к эксплуатации. Непрерывный носитель Н7-ИКМ-128 в качестве субстрата использовал пенопластовые шашки вместо ранее примененных прямоугольных пластин, что удешевило изделие и увеличило выход кондиционной мидии на 10%.

В модуле "РИФ", производительно-

стью в 2 т моллюсков, субстратом служили шестиметровые металлические трубы, смонтированные по 7–9 шт. на железобетонных плитах.

Носитель МИ-1 в качестве субстрата использовал сплетенные в косичку бывшие ранее в употреблении рыболовные сети. Характеристики носителей МИ-2 (субстрат – узлы на канате) и МИ-3 (субстрат – полосы дели от списанных тралов) соответствуют данным по носителю МИ-1. Технические характеристики коллекторов-носителей типа МИ идентичны и представлены в табл. 1.

После многочисленных испытаний разных конструкций ГБТС и технологий их эксплуатации были отобраны для постановки в открытом море конструкции, созданные специалистами ЮгНИРО и НТЦ "Шельф" – ГБТС типа Н7-ИКМ-128 (10%) и разновидности МИ (90%). Технические характеристики этих коллекторов-носителей приведены в табл. 1 и 2. Они и были установлены на мидийных плантациях.

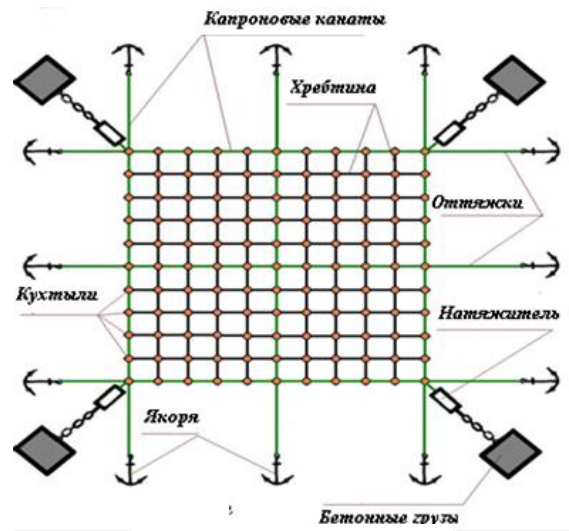
Конструкция ГБТС типа МИ-h4 (тип рис. 1д) производительностью 1,0 т экономична и удобна для создания мидийных марихозяйств на относительно малых глубинах – 8–20 м. Для гибких частей использовались материалы на капроновой основе, как наиболее стойкие в морской воде.

Линия коллекторов имела следующие элементы: хребтина – капроновый канат диаметром 90–120 мм, являющейся основой для крепления к ней с помощью поводцов петель коллектора и грузов; коллекторы общей длиной в 160 м в виде петель с наплавами и грузами; якоря в начале и конце линии с удерживающей силой 2-3 тонны в зависимости от характера грунта; якоря были соединены буйрепом с плавающим на поверхности моря бум; вытяжной трос длиной 45–60 м и вытяжная петля, состоящая из двух отрезков троса.

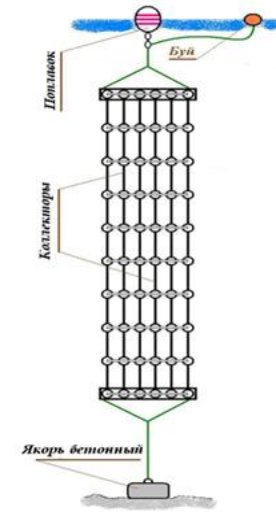
Конструкция ГБТС – **МИ-h8** предназначалась для постановки на глубинах более 20 м в открытом море. Принципиальная схема этого носителя мало отличалась от МИ h4, были увеличены лишь параметры гибкой части: длина субстрата – до 256 м, высота петли – до 8 м и увеличен шаг между ними, соответственно были увеличены общая плавучесть и количество грузов.



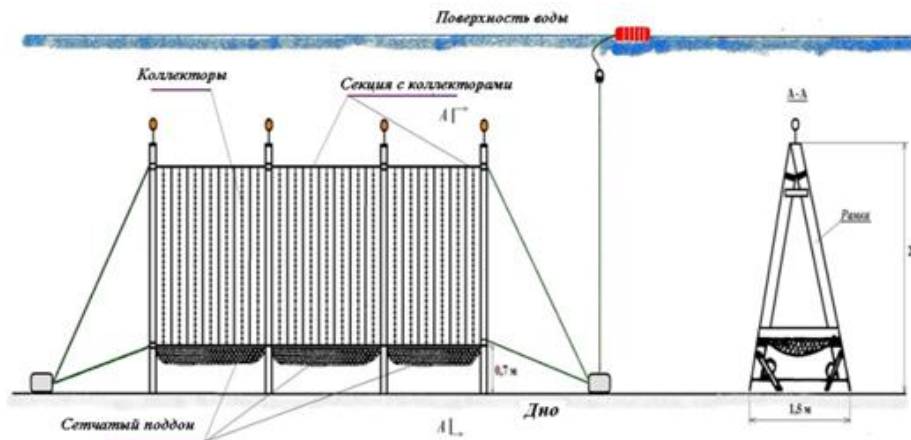
а



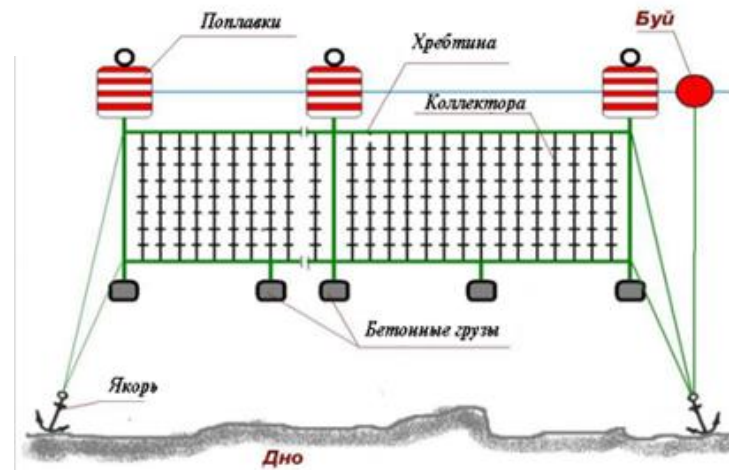
б



в

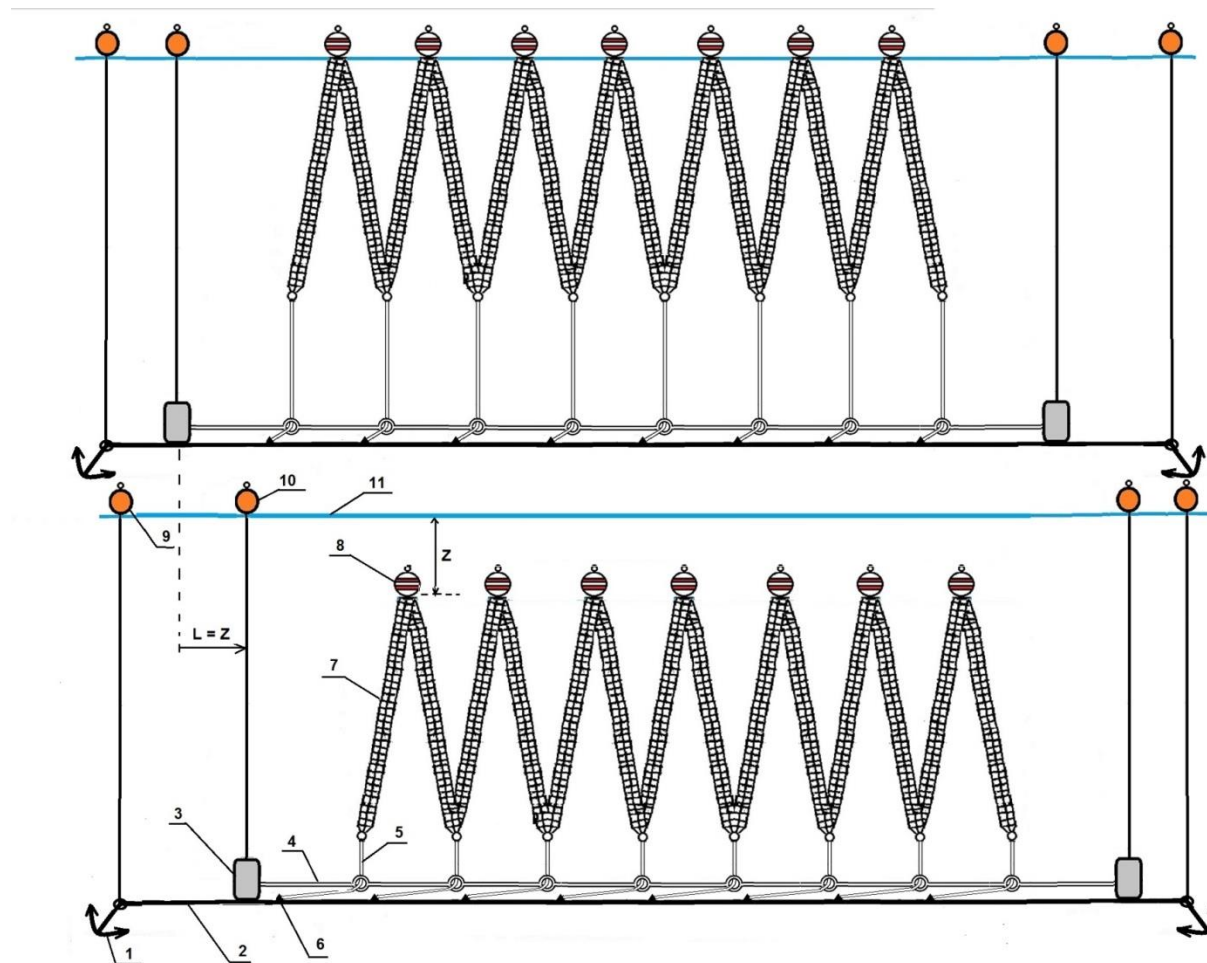


г



д

Рис. 1. Различные типы конструкций ГБТС



1 – "мертвые" якоря; 2 – неподвижный ваерный трос; 3 – грузы подвижного троса; 4 – подвижный трос; 5 – поводцы; 6 – крепления поводцов на неподвижном тросе; 7 – коллекторы; 8 – буйки коллекторов; 9 – буйи "мертвых" якорей; 10 – буйи грузов подвижного троса; 11 – поверхность водоёма

**Рис. 2.** Коллектор-носитель МИ-4 "Грунтроп", сверху на поверхности водоёма, внизу опущенный на глубину Z

**Таблица 1.** Технические характеристики коллекторов-носителей типа МИ

Производительность, т	Длина разверну- тая/рабочая, м	Площадь субстрата, м <sup>2</sup>	Количество петель, шт.	Длина петли, м	Высота петли, м	Шаг петли, м	Плаучести, кгс/шт	Масса грузов бетон/чугун, кг	Срок службы, циклы	Масса коллектора с грузами (бетон/чугун) кг
2,15	300/130	33	25	12	4	4	600/75	64/32	2	1400/720

**Таблица 2.** Технические характеристики коллекторов-носителей Н7-ИКМ-128

Производительность, т	Длина разверну- тая/рабочая, м	Площадь субстрата, м <sup>2</sup>	Количество полупе- тель, шт.	Длина полупетли, м	Высота полупетли, м	Шаг полупетли, м	Масса грузов бе- тон/чугун, кг	Количество грузов, шт	Срок службы, лет	Масса коллектора с бетонными грузами, кг
1,0	150/50	15	20	7,5	3,5	2,5	64/32	22	3-5	1340

Материалы оснастки, коллекторы, плаучести, грузы и другие элементы конструкции **МИС-h4/8** были взяты без изменений от предыдущих ГБТС, однако, петли коллекторов в линии выставлялись заранее сформированными секциями. При этом каждый грузовой поводец, исполненный в виде капроновой пряжи, обеспечивал удержание не отдельной петли, а целой секции коллекторов. Поводцы в верхней части коллекторов имели два огона (огон – петля на конце или в средней части каната), за один из них поводец крепился к хребтине, а к другому подсоединялся буйреп с сигнальным буйком. Количество грузов подбирались так, чтобы избежать чрезмерного прогиба вертикально подвешенных коллекторов под действием плаучести.

ГБТС **МИ-4 "Грунтрон"** (рис. 2) может использоваться как в открытом море, так и в береговых водоёмах, размещенных в закрытых помещениях или на открытом воздухе. Конструкция позволяет заглублять коллекторы на любую глубину от поверхности водоёма до дна.

ГБТС имело следующую конструкцию. Между двумя «мертвыми» якорями (1) натянута хребтина (2) из стального троса диаметром 28–32 мм, на которой крепятся поводцы коллекторов (3) длиной не меньше глубины места постановки ГБТС. Через кольца стального или капронового подвижного троса (4) про-

пущены поводцы, которые карабинами присоединены к нижнему краю коллекторов. К концам подвижного троса прикреплены грузы (3), которые можно перемещать с помощью буйёв (10), подцепив их кран-балкой или тельфером.

На якоря (1) заведены буйрепы – 19 мм такелажная цепь, длиной равной глубине места постановки. Буйрепы обозначены указательными буйками (9) с рымом, за который для съёма мидий и обработки коллекторов, всплывших на поверхность, один конец хребтины может быть поднят в море на слип обеспечивающего плавсредства или на специальную стационарную площадку (слип) у края берегового водоёма. Такой приём подъёма коллекторов способствует уменьшению опадания мидий.

На рис. 2 вверху изображено, как при смещении подвижного троса в правое положение на поверхности воды появляются буйки коллекторов (8), а при дальнейшем смещении подвижного троса – всплывут и сами коллектора. Направление смещения подвижного троса указывают плавающие на поверхности моря буйи (9) "мертвых", якорей (1).

На рис. 2 внизу видно, что при смещении подвижного троса влево происходит заглубление коллекторов (7) на заданную глубину.

Конструкция ГБТС МИ-4 "Грунтрон" выставлялась в Каламитском заливе на глубинах до 100 м без помощи водола-

зов. При указанных параметрах конструкции субстрат коллекторов по всей длине обильно обрастал друзами мидий, а сам ГБТС функционировал от 4 до 7 лет при многократном съёме урожая.

**Расчёт сил, действующих на элементы оснастки ГБТС.** Производственный цикл выращивания моллюсков у побережья Крыма составляет ~ 18 месяцев, в течение которых ГБТС не менее двух раз подвергаются воздействию осенне-зимних штормов силой до 7-8 баллов. В процессе эксплуатации в морской среде или на поверхности раздела сред море – атмосфера гидробиотехнические сооружения подвергаются воздействию разрушительных факторов, наиболее жёсткими из которых являются течения, волны и коррозия.

Сложный механизм совокупных действий Основного Черноморского Течения и его ответвлений на мелководье и

ветрового воздействия, часто вызывают возвратно-поступательные движения вод вдоль изобат.

В связи с этим был выполнен расчёт сил, действующих на элементы оснастки ГБТС в натуральных условиях.

Известно, что с увеличением глубины происходит близкое к экспоненциальному убывание интенсивности волнения. На глубинах  $\geq 0,5\lambda$ , где  $\lambda$  – длина ветровой волны на поверхности моря, можно вообще пренебречь волновым воздействием на ГБТС.

Используя данные работы [3, 4], рассмотрим основные параметры ветровых волн в акватории шельфовой зоны моря – перспективных районах для крупномасштабного культивирования двусторчатых моллюсков (табл. 3). В ней использованы максимальные значения параметров волн, повторяемость которых равна хотя бы один раз в десять лет.

**Таблица 3.** Волновые параметры на разных глубинах при воздействии ветровых волн в акватории шельфовой зоны Черного моря

Параметры волн		Горизонты, z (м)					
		0	1	5	10	15	20
Начальные параметры волн на поверхности: $\lambda = 70$ м, $h = 3,0$ м, $\tau = 8,0$ с							
$Z_m = 20$ м	h, м	2,5	2,35	2,0	1,65	1,63	1,50
	$\tau$ , с	8,0	8,5	9,6	10,2	10,6	10,8
	v, см/с	1,2	1,05	0,74	0,49	0,32	0,21
	$\omega$ , см/с	1,3	1,18	0,77	0,47	0,20	-
$Z_m = 25$ м	h, м	2,38	2,05	1,70	1,65	1,55	1,31
	$\tau$ , с	8,7	9,6	10,3	11,0	11,1	11,3
	v, см/с	1,08	0,84	0,67	0,46	0,36	0,27
	$\omega$ , см/с	1,26	0,88	0,61	0,34	0,16	-
$Z_m = 30$ м	h, м	2,36	1,95	1,68	1,65	1,60	1,35
	$\tau$ , с	8,7	9,70	10,5	11,3	11,4	11,6
	v, см/с	1,07	0,76	0,55	0,55	0,50	0,47
	$\omega$ , см/с	1,25	0,85	0,53	0,44	0,27	0,13

Примечание:  $\lambda$  – длина ветровой волны, м;  $\tau$  – период волны, с;  $h$  – высота волны, м;  $Z_m$  – глубина места, м;  $v$  – линейная скорость течения, м/с;  $v$  – горизонтальная составляющая скорости течения, см/с;  $\omega$  – вертикальная составляющая скорости течения, см/с.

Согласно данным табл. 3 следует, что при глубине места 30 м на горизонте 10 м, где на плантациях моллюсков обычно присутствуют коллектора, вертикальные составляющие волновых движений вызывают размах колебаний до 1,65 м.

Носители коллекторов, обросших мидийными друзами непредсказуемой формы, включают в себя также разнообразные конструкции – тросы, сетные рукава, плавучести в виде шаров, грузы в форме параллелепипедов и т.п., что делает ГБТС плохообтекаемыми [5]. Определить теоретически воздействие потока жидкости на такие многокомпонентные конструкции вряд ли возможно с высокой точностью. В практической деятель-

ности для определения гидродинамического сопротивления таких конструкций можно использовать приближённую расчётную формулу [6]

$$R = k_0 \cdot k_1 \cdot v \cdot m^2,$$

где  $R$  – гидродинамическое сопротивление конструкции, Н;  $k_0$  – эмпирический коэффициент, для коллекторов с мидийными друзами составляет ~ 0,25 м;  $k_1 = 1,2$ , эмпирический коэффициент, учитывающий обрастание коллектора;  $m$  – масса коллекторов с мидийными друзами, кг.

Используя графические зависимости, приведенные в [4]:

$$R \cdot P^{-1} = f(v),$$

где  $P$  – сила тяжести, Н, находим для скорости потока 0,5 м/с на горизонтах в

10 и более метров, где пренебрежимо мало воздействие волн,  $f(v) = 0,1$ , тогда:

$$R \approx 0,1P. \quad (1)$$

В приложении к коллекторам без учета плавучестей и грузов, принимая, что в воде солёностью 16–18‰ остаточный вес мидий составляет ~ 20% от массы на воздухе, а  $P = m \cdot g$ , получим:

$$P = 0,2 l_K \cdot U_0 \cdot g, \quad (2)$$

где  $l_K$  – длина коллектора, погонные метры;  $U_0$  – урожай, равный массе мидий на 1 погонном метре коллектора, кг;  $g = 9,8$  Н/кг, поскольку  $1 \text{ кг} = 9,8 \text{ Н}$ .

Например, при длине рабочей части коллектора в 130 м (см. табл. 2 для коллекторов типа МИ) и средней массе мидий на погонном метре  $U_0 = 7$  кг, получим

$$P = 0,2 \cdot 130 \cdot 7 \cdot 9,8 = 1783,6 \text{ Н}.$$

При этом коллектор будет оказывать гидродинамическое сопротивление  $R = 178,4 \text{ Н} = 18,2 \text{ кг}$ .

Эту цифру следует учитывать при выборе материалов для изготовления коллекторов.

В определении действующих на ГБТС сил не учитывалось влияние его гибкой части, включающей субстрат коллекторов без мидий, хребтину, отяжки и поводцы, изготовленные из капронового материала с удельным весом  $1,14 \text{ т/м}^3$ , практически не отличимого от удельного веса морской воды при 10–20°C.

В оснастке ГБТС использовались бетонные грузы массой 64 кг, а также чугунные грузы массой 18, 20, 32 и 40 кг. В качестве плавучестей использовались наплавы пенопластовые, кухтыли алюминиевые, буи металлические и эластичные, а также вежа рыбацкая ВР-10.

Рассмотрим плавучести в виде эллипсоида (шара), поддерживающие коллектора в вертикальном положении, и бетонные якоря (грузы) в форме кубов.

Из уравнений гидродинамики можно определить силу, действующую на объект в вязкой среде:

$$F = 0,5 \cdot k_R \cdot S \cdot \rho \cdot v^2, \quad (3)$$

где  $S$  – площадь, на которую воздействует сила,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  – плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – линейная скорость потока,  $\text{м/с}$ ;  $k_R$  – коэффициент гидродинамического сопротивления объекта.

Для прибрежных шельфовых вод Крыма со скоростями течения не больше ~ 0,5 м/с число Рейнольдса  $Re \approx$  от  $10^4$  до  $10^5$ , при этих условиях с помощью экс-

периментальных зависимостей, приведенных в работе [4], получим для эллипсоидных наплавов  $k_R = 0,5$ , а для грузов в форме куба  $k_R = 1,05$ .

На концевые на линии ГБТС наплава, диаметром  $d = 60$  см с подъёмной силой в 250 Н, площадью, нормальной к потоку  $S = 1/4 \pi d^2 = 0,283 \text{ м}^2$ , при  $\rho = 1,02 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , действует сила

$$F = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,1 \cdot 0,283 \cdot 1,02 \cdot 10^3 = 18,04 \text{ Н или } 1,84 \text{ кг}.$$

На кошельковые наплава с подъёмной силой в 29 Н, площадью, нормальной к потоку в  $0,1 \text{ м}^2$ , при  $\rho = 1,02 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , действует сила

$$F = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 0,1 \cdot 1,02 \cdot 10^3 = 6,375 \text{ Н или } 650,25 \text{ г}.$$

При  $U_0 = 7$  кг масса мидий на коллекторах общей длиной в 130 м составляет 910 кг. В воде, с учетом 20% остаточной массы мидий, требуется поддержать на плаву вес

$$910 \cdot 0,2 \cdot 9,8 = 1783,6 \text{ Н}.$$

Наплав, который сам теряет плавучесть из-за постепенного намокания и обрастания до 52%, должен быть рассчитан для поддержки веса

$$1783,6 + (1783,6 \cdot 0,52) = 2711,1 \text{ Н}.$$

Для этого нужна гирлянда из 94 кошельковых наплавов с подъёмной силой в 29 Н, установленная с шагом в 1,38 м (учитывая, что по краям ГБТС стоят 2 концевых наплава).

Один коллектор длиной 12 м (см. табл. 2), с урожаем мидий  $U_0 = 7$  кг и массой 84 кг на воздухе, имеет остаточную массу в воде 16,8 кг. Сила тяжести прикрепленного к нижней части коллектора бетонного груза массой 64 кг с учетом поправки на потерю веса бетона в воде равной 1,7 [5], составляет  $P = 64/1,7 = 37,65$  кг, т.е. груз с избытком компенсирует подъёмную силу наплава и может быть заменён на чугунный груз в 18–20 кг.

**Испытания на надежность элементов оснастки ГБТС.** Был проведен комплекс испытаний на надежность элементов оснастки ГБТС, изготовленных на основе приведенных расчетов, как не бывших в подводной эксплуатации, так и простоявших в море 1200 суток. Лабораторные исследования гибких элементов ГБТС на прочность и пригодность для дальнейшего использования после длительной эксплуатации под водой в условиях штормовых нагрузок выполнялись на кафедре сопротивления матери-

алов Севастопольского приборостроительного института (ныне СевГУ). Образцы подвергались разрывному усилию до 1000 кгс.

Выяснилось, что наибольшему штормовому воздействию подвергаются поводцы, которыми наплава крепят к субстрату. Образцы поводцов длиной 0,5–1,0 м, изготовленные их капронового каната диаметром 35 мм, испытывались на разрывной машине УММ-20 с разрывным усилием до 20000 кгс. Паспортная разрывная нагрузка каната составляла 1215 кгс, разрыв новых поводцов происходил при нагрузке от 1000 до 1120 кгс, простоявших в море – 880–940 кгс. Потеря прочности у поводцов после трехгодичной эксплуатации составила 12–21%.

Изготовленные из материалов на капроновой основе гибкие части ГБТС показали себя стойкими в морской воде в течение семилетней эксплуатации. Использование для изготовления несущего субстрата рыболовных сетей из траловых отходов вместо новых материалов, уменьшило стоимость коллекторов более чем в два раза без существенного снижения прочности.

Практика подтвердила, что используемая оснастка ГБТС обеспечила запас прочности, необходимый для сохранения целостности конструкций под воздействием нагрузок, возникающих при эксплуатации в открытом море, а также при постановках ГБТС, съемах урожая и воздействии штормов. Абсолютное большинство сооружений выдержали осенне-зимние штормовые нагрузки. Так из 3308 коллекторов зимними штормами было повреждено 43 коллектора, т.е. 1,3%, причем на стоящих коллекторах сохранились не осыпавшиеся обильные друзы мидий. Следовательно, применение устойчивых к воздействию штормов конструкций является

важнейшим условием успешного выращивания товарных мидий и сохранности урожая при любой погоде.

**Выводы.** В результате анализа и многочисленных испытаний разных конструкций ГБТС и технологий их эксплуатации были отобраны для постановки в открытом море конструкции типа Н7-ИКМ-128 (10%) и разновидности МИ (90%). Расчет сил, воздействующих на элементы оснастки ГБТС, показал устойчивость предложенных конструкций к воздействию разрушительных факторов даже при экстремальных условиях. А лабораторные и натурные испытания подтвердили, что большинство сооружений (98,7%) выдержали длительные штормовые нагрузки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Technical proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium. Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, Dept. of Fisheries, 2001, 471 с.*
2. *Васечкина Е.Ф., Казанкова И.И. Математическое моделирование роста и развития мидии *Mytilus galloprovincialis* на искусственном субстрате // Океанология. 2014. Т. 54, № 6. 816–824*
3. *Кожневиков М.П. Гидравлика ветровых волн. М.: Энергия, 1972. 277 с.*
4. *Стоценко А.А. Гидробиотехнические сооружения. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 1984. 135 с.*
5. *Девнин С.И. Аэрогидродинамика плохообтекаемых конструкций: справочник. Л.: Судостроение, 1983. 332 с.*
6. *Пронкин Б.И. Методика определения нагрузок от живых организмов на гидробиотехнические сооружения // Технические средства марикультуры: сб. науч. трудов. М: ВНИРО, 1986.*

## DESIGN FEATURES OF HYDROBIOTECHNICAL CONSTRUCTIONS FOR THE CULTIVATION OF MOLLUSKS IN THE SEA

V.D. Geller<sup>1</sup>, V.A. Urdenko<sup>2</sup>, A.N. Grekov<sup>1</sup>, N.A. Grekov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

<sup>2</sup> Marine Hydrophysical Institute of RAS, Russian Federation, Sevastopol, Kapitanskaya St., 2

In work technologies of creation of hydrobiotechnical constructions (HBTC) for cultivation of mollusks in the sea, which are the natural source of biologically-active substances, are considered. Based on the analysis and numerous tests, the optimal design of the HBTC, as well as the technology of their operation, are proposed. The calculation of the forces acting on the components of the HBTC rig in full-scale conditions under storm conditions was performed, and the results of a complex of laboratory and full-scale tests on the reliability of rigging components were presented. It is confirmed that the majority of structures (98.7%) sustained long storm loads. It was confirmed that the majority of constructions (98.7%) sustained long storm loads.

**Keywords:** hydrobiotechnical constructions, rigging, reliability, testing.