ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.117

В.И. Габрюк¹, Л.А. Габрюк², В.В. Кудакеев¹, К.А. Белова^{1*}

¹ Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б;

² Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИДОННЫХ ЯРУСОВ

Представлена методика моделирования придонных горизонтальных ярусов. Рассмотрен пример применения этой методики для переоборудования используемых сейчас на промысле донных ярусов в придонные. Даны рекомендации по выбору плавучести буйев, массы якорей и грузов для оснастки придонных ярусов.

Ключевые слова: придонные яруса, математическая модель, методика моделирования, алгоритм, оснастка яруса.

Gabryuk V.I., Gabryuk L.A., Kudakaev V.V., Belova K.A. Method for modeling of near-bottom longlines // *Izv. TINRO*. — 2017. — Vol. 189. — P. 177–183.

Modeling technique for horizontal near-bottom longlines is presented. An example of this technique application for re-equipment of currently used bottom longlines to the near-bottom longlines is considered. Recommendations are given on choice of the buoys buoyancy, the anchor weight, and the weights for rigging of the near-bottom longline.

Key words: near-bottom longline, mathematical model, modeling technique, algorithm, longline rigging.

Введение

Вопросы моделирования горизонтальных ярусов исследовались ранее (Кокорин, 1994, 2005; Габрюк, Кулагин, 2000; Шестопал и др., 2002; Габрюк, Габрюк, 2008; Габрюк, 2016).

На дальневосточном бассейне в основном используются донные яруса норвежской и американской конструкции (фирмы Autoline и Marco). Основные недостатки донных ярусов — быстрый износ хребтины из-за трения о грунт и камни, объедание наживки бокоплавами, а также недоступность части наживки для гидробионтов из-за её заиливания и попадания в расщелины между камнями. Во избежание этих недостатков целесообразно использовать придонные яруса, крючки которых приподняты над грунтом, поэтому наживка не соприкасается с грунтом и не объедается бокоплавами.

* Габрюк Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, e-mail: gabrukvi@rambler.ru; Габрюк Людмила Александровна, кандидат технических наук, доцент, e-mail: zdorova2003@rambler.ru; Кудакеев Василий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: kudakaev_v@mail.ru; Белова Ксения Александровна, студентка, e-mail: belova_1394@mail.ru.

Gabruk Victor I., D.Sc., professor, e-mail: gabrukvi@rambler.ru; Gabruk Ludmila A., Ph.D., senior lecturer, e-mail: zdorova2003@rambler.ru; Kudakaev Vasily V., Ph.D., senior lecturer, e-mail: kudakaev_v@mail.ru; Belova Kseniia A., student, e-mail: belova_1394@mail.ru.

Цель работы — рассмотреть два варианта переоборудования донных ярусов р/к «Восток-1» в придонные яруса.

Материалы и методы

Основной объект лова придонными ярусами — тихоокеанская треска — придонный вид. Масса трески в уловах ярусами изменяется в пределах 2–5 кг при длине 45–75 см и возрасте 4–8 лет. Нерестовая треска образует скопления у грунта высотой 3–10 м (Кокорин, 1994).

Объектом исследования стал донный ярус норвежской конструкции, используемый в колхозе «Восток-1», с тремя секциями на каждом участке (рис. 1). В каждой секции по 150 крючков.

Рис. 1. Норвежский донный ярус: 1 — якорь; 2 — подъякорник; 3 — якорный линь; 4 — промежуточный груз; 5 — хребтина; 6 — буйлинь; 7 — якорный буй

Fig. 1. Norwegian bottom longline: 1 — anchor; 2 — anchor-weight; 3 — anchor-line; 4 — weight; 5 — mainline; 6 — buoy line; 7 — anchor buoy

Характеристики этого яруса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики норвежского донного яруса

Table 1

Norwegian bottom longline characteristics

Элемент яруса	Материал	Коэффициент веса в воде, k_w	Масса, г	Линейная плотность, кг/м
Хребтина	Полиэстер	0,26	—	0,076
Крючковый поводец	Полиамид	0,10	—	0,004
Крючок	Сталь	0,87	8	—
Наживка	Сельдь	0,02	30	—
Узел крепления поводца к хребтине	Сталь	0,87	17	—
Якорь адмиралтейский	Сталь	0,87	35000	—

Хребтина яруса набирается из отдельных секций (рис. 2).

Рис. 2. Секция яруса: 1 — хребтина; 2 — голый конец; 3 — огон; 4 — поводец; 5 — крючок

Fig. 2. A section of longline: 1 — mainline; 2 — mainline leg; 3 — eye splice; 4 — snood; 5 — hook

Длина одной секции норвежского яруса:

$$l_s = (n_{кр}^s - 1)l_{nn} + 2l_{зк} = (150 - 1) \cdot 1,2 + 2 \cdot 0,6 = 180 \text{ м},$$

где $n_{кр}^s = 150$ — количество крючков в секции; $l_{nn} = 1,2$ м — расстояние между соседними поводцами; $l_{зк} = 0,6$ м — длина голого конца хребтины.

Результаты и их обсуждение

Для того чтобы донный ярус превратить в придонный, его необходимо оснастить соответствующими поплавками и грузами.

При этом придонный ярус должен отвечать следующим требованиям: все крючки должны располагаться в 10-метровом слое у грунта, в котором находится треска; расстояние от крючков до грунта должно быть не менее 0,5 м.

Вообще возможны 2 схемы придонного яруса. В первой схеме на каждом участке яруса используется две секции (рис. 3).

Рис. 3. Первый вариант модифицированного придонного яруса: 1 — якорь; 2 — якорный трос; 3 — буйлинь; 4 — якорный буй; 5 — якорный линь; 6 — грузовой линь; 7 — хребтина; 8 — поводок; 9 — крючок; 10 — концевой буй; 11 — центральный буй; 12 — подъякорник; 13 — первый груз; 14 — второй груз

Fig. 3. The first version of modified near-bottom longline: 1 — anchor; 2 — anchor rope; 3 — buoy line; 4 — anchor buoy; 5 — anchor line; 6 — weight line; 7 — mainline; 8 — snood; 9 — hook; 10 — end buoy; 11 — middle buoy; 12 — anchor weight; 13 — first weight; 14 — second weight

Для обеспечения равновесия придонного яруса в потоке необходимо выбрать соответствующие поплавки и грузы.

Выбор поплавков. Для определения подъемной силы поплавков необходимо знать вес в воде всех элементов яруса:

$$1. \text{ Вес хребтины в воде: } Q_Z^{xp} = k_w^{xp} m_{xp} l_s g = 0,26 \cdot 0,076 \cdot 180 \cdot 9,8 = 35 \text{ Н.}$$

$$2. \text{ Вес поводца в воде: } Q_Z^n = k_w^n m_n l_n^z g = 0,1 \cdot 0,4 \cdot 0,004 \cdot 9,8 = 0,0016 \text{ Н.}$$

$$3. \text{ Вес крючка в воде: } Q_Z^{kp} = k_w^{kp} M_{kp} g = 0,87 \cdot 0,008 \cdot 9,8 = 0,0696 \text{ Н.}$$

$$4. \text{ Вес наживки в воде: } Q_Z^H = k_w^H M_n g = 0,02 \cdot 0,03 \cdot 9,8 = 0,006 \text{ Н.}$$

$$5. \text{ Вес в воде узла крепления поводца к хребтине: } Q_Z^y = k_w^y M_y g = 0,87 \cdot 0,017 \cdot 9,8 = 0,1479 \text{ Н.}$$

Здесь $k_w^{xp}, k_w^n, k_w^{kp}, k_w^H, k_w^y$ — коэффициенты веса в воде хребтины, поводца, крючка, наживки, узла крепления поводца к хребтине; m_{xp}, m_n — линейные плотности хребтины и поводца; M_{kp}, M_n, M_y — массы крючка, наживки и узла крепления поводца к хребтине; l_n^z — длина заготовки поводца; g — ускорение свободного падения.

Проекция на вертикальную ось z веса в воде одной секции яруса

$$Q_Z^S = Q_Z^{xp} + n_{kp} \cdot (Q_Z^n + Q_Z^{kp} + Q_Z^H + Q_Z^y) = 35 + 150 \cdot (0,0016 + 0,0696 + 0,006 + 0,1479) = 69,3 \text{ Н,}$$

где $Q_Z^{xp}, Q_Z^n, Q_Z^{kp}, Q_Z^H, Q_Z^y$ — проекции на ось z весов в воде хребтины одной секции яруса, поводца, крючка, наживки и узла крепления поводца к хребтине.

Вес в воде яруса, приходящийся на единицу его длины, $q_Z^S = Q_Z^S / l_s = 69,3 / 180 = 0,38 \text{ Н/м.}$

Ярус будем оснащать поплавками с подъемными силами Q_1^n и Q_2^n , причём поплавки Q_1^n располагаются по концам каждого участка, а поплавков Q_2^n — в его центре. Если подъемная сила центрального поплавка Q_2^n меньше веса в воде двух секций яруса, т.е. $Q_2^n < 2Q_Z^S$, то хребтина будет иметь форму, показанную на рис. 4. Первый поплавок уравновешивает вес в воде двух отрезков хребтины длиной l_1 , а второй — длиной l_2 , поэтому

$$Q_1^n = 2q_Z^S l_1, \quad Q_2^n = 2q_Z^S l_2. \quad (1)$$

Напряжение T_0 в нижней точке хребтины O определяется по формуле

$$T_0 = q_Z^S \frac{(l_1^2 - h_1^2)}{2h_1} = q_Z^S \frac{(l_2^2 - h_2^2)}{2h_2}, \quad (2)$$

где h_1, h_2 — стрелки прогиба первого и второго отрезков хребтины ($h_1 = 1 \text{ м}, h_2 = 10 \text{ м}$) (рис. 4).

Рис. 4. Участок придонного яруса: Q_s — вес в воде одной секции

Fig. 4. Segment of near-bottom longline: Q_s — weight of a section in the water

Из формулы (2) следует формула для определения длины l_2

$$[(l_s - l_2)^2 - h_1^2]h_2 = (l_2^2 - h_2^2)h_1. \quad (3)$$

Подставляя в формулу (3) исходные данные, получим

$$[(180 - l_2)^2 - 1] \cdot 10 = (l_2^2 - 100) \cdot 1,$$

откуда находим $l_2 = 137$ м.

Подъемная сила центрального поплавка $Q_2^n = 2q_z^s l_2 = 2 \cdot 0,38 \cdot 137 = 104$ Н.

Из каталога фирмы ВМІ выбираем поплавок марки 303А с подъемной силой 115 Н диаметром 300 мм.

Поскольку подъемная сила этого поплавка больше расчётной, определяем длину l_2 , соответствующую этому поплавку:

$$Q_2^n = 2q_z^s l_2 = 115 \Rightarrow l_2 = 115 / (2 \cdot 0,38) = 151 \text{ м.}$$

При этом $l_1 = l_s - l_2 = 180 - 151 = 29$ м.

Находим подъемную силу поплавка Q_1^n по формуле (1) $Q_1^n = 2q_z^s l_1 = 2 \cdot 0,38 \cdot 29 = 22$ Н.

Из каталога фирмы ВМІ выбираем поплавок марки 203В с подъемной силой 27 Н диаметром 200 мм.

Выбор грузов. Грузы располагаются по концам каждого участка. Они вместе с поплавками обеспечивают равновесие яруса в потоке. Вес груза в воде Q_{cp} определяется по формуле

$$Q_{cp} = Q_1^n - 2q_z^s l_1, \quad (4)$$

откуда находим $Q_{cp} = 27 - 2 \cdot 0,38 \cdot 29 = 5$ Н.

Минимальная масса груза из бетона $M_{cp}^{\min} = Q_{cp} / (k_w g) = 5 / (0,53 \cdot 9,8) = 0,96$ кг, где $k_w = 0,53$ — коэффициент веса бетона в воде.

С учётом запаса держащей силы груза (1,5–2,0) и для увеличения скорости погружения яруса принимаем массу груза, равной 2 кг.

Выбор якорей. Якоря служат для обеспечения неподвижности ярусов и задания определенной стрелки прогиба хребтины. В ярусах в основном используются следующие типы якорей: адмиралтейский, многолаповый, якоря с поворотными лапами и якоря в форме грузов (рис. 5).

В России ярусы обычно вооружаются адмиралтейскими якорями или многолаповыми якорями массой 5–30 кг. В Израиле широко используются якоря с поворотными лапами типа Денфорта (рис. 5, г). В придонных ярусах испанского типа используются «мертвые» якоря из бетона массой 70 кг и более (рис. 5, в).

Держащая сила якоря уравнивает горизонтальную компоненту натяжения хребтины, определяемую по формуле (2)

$$T_0 = q_z^s \frac{l_2^2 - h_2^2}{2h_2} = 0,38 \frac{151^2 - 10^2}{2 \cdot 10} = 431 \text{ Н.}$$

Минимальная масса якоря определяется по формуле

$$M_{я}^{\min} = T_0 / k_{я} k_w g, \quad (5)$$

где $k_{я}$ — коэффициент держащей силы якоря ($k_{я} = 3$ — адмиралтейский якорь); k_w — коэффициент веса якоря в воде ($k_w = 0,87$ — сталь).

Рис. 5. Основные типы якорей: **а** — адмиралтейский; **б** — многолаповый (кошка); **в** — якорь в форме груза; **г** — с поворотными лапами (Tel Aviv); 1 — лапы якоря; 2 — стержень; 3 — втулка; 4 — веретено; 5 — дуги, ограничивающие угол поворота лап

Fig. 5. Basic types of anchors: **a** — admiralty pattern anchor; **б** — drag anchor; **в** — weight-shaped anchor; **г** — swinging-fluke anchor (Tel Aviv); 1 — flukes; 2 — bar; 3 — bush; 4 — spindle; 5 — bows bounding the angle of fluke rotation

Из формулы (5) находим $M_{я}^{\min} = 431 / (3 \cdot 0,87 \cdot 9,8) = 17$ кг.

С учётом запаса держащей силы $k_3 = 1,5$ масса якоря составит $M_{я} = k_3 M_{я}^{\min} = 1,5 \cdot 17 = 25,5$ кг.

Вторая схема модифицированного придонного яруса показана на рис. 6. В этой схеме на каждом участке яруса используется три секции хребтины (как у донного яруса, см. рис. 1) и два поплавка.

Рис. 6. Модифицированный придонный ярус с двумя поплавками на участке

Fig. 6. Modified near-bottom longline with two floats in segment

Выбор поплавков. Подъемные силы двух поплавков должны уравновешивать вес в воде трех секций яруса (рис. 7), т.е. $2Q_z^n = -3Q_z^s$.

Рис. 7. Участок яруса, состоящий из трех секций

Fig. 7. Segment of longline, consisting of three section

Отсюда следует: $Q_z^n = -1,5Q_z^s = -1,5 \cdot 69,3 = -104$ Н.

Из каталога фирмы ВМІ выбираем поплавок марки 303А с подъемной силой 115 Н диаметром 300 мм.

Проекция на ось $z \downarrow \vec{g}$ подъемной силы поплавок $Q_z^n = -115$ Н.

Из равновесия одного участка яруса следует, что проекция натяжения хребтины в точке А на вертикальную ось z равна

$$T_{AZ} = (3Q_Z^S + 2Q_Z^n)/2. \tag{6}$$

Из формулы (6) находим $T_{AZ} = (3 \cdot 69,3 - 2 \cdot 115)/2 = -11 \text{ Н}$.

Определяем параметр p_z : $p_z = T_{AZ}/q_z^S = -11/0,38 = -28,9 \text{ м}$.

Проекция натяжения хребтины в точке А на горизонтальную ось x, которую уравнивает якорь, определяется по формуле

$$T_{AX} = q_z^S \sqrt{[(2p_z - l_s)^2 - h^2] \cdot (l_s^2 - h^2)} / (2h). \tag{7}$$

Из формулы (7) находим

$$T_{AX} = 0,38 \cdot \sqrt{[(-2 \cdot 28,9 - 180)^2 - 10^2] \cdot (180^2 - 10^2)} / (2 \cdot 10) = 811 \text{ Н},$$

где h — стрелка прогиба хребтины ($h = 10 \text{ м}$).

Держащая сила якоря $F_{\text{я}}$ определяется по формуле

$$F_{\text{я}} = k_{\text{я}} k_w^{\text{я}} M_{\text{я}} g = T_{AX}, \tag{8}$$

откуда определяем минимальную массу адмиралтейского якоря: $M_{\text{я}}^{\min} = T_{AX} / k_{\text{я}} k_w^{\text{я}} g = 811/3 \cdot 0,87 \cdot 9,8 = 32 \text{ кг}$.

При запасе держащей силы якоря, равном 1,5, $M_{\text{я}} = 1,5 \cdot 32 = 48 \text{ кг}$.

Массы грузов, изготовленных из бетона, $M_{\text{ГР}} = 2T_{AZ}/(k_w g) = 2 \cdot 11/(0,53 \cdot 9,8) = 4,2 \text{ кг}$.

В рассмотренных примерах использованы материалы норвежского донного яруса. В Испании же в придонных ярусах используется хребтина из полипропилена (Кокорин, 2005).

Характеристики придонного яруса с хребтиной из полипропилена, полученные по изложенной выше методике, приведены ниже.

Вес в воде одной секции яруса $Q_Z^S = 17,6 \text{ Н}$. Вес в воде 1 м яруса $q_z^S = Q_Z^S/l_s = 17,6/180 = 0,09 \text{ Н}$.

Подъемные силы поплавков $Q^n = 1,5Q_Z^S = 1,5 \cdot 17,6 = 26,4 \text{ Н}$.

Из каталога фирмы ВМІ выбираем поплавки марки 208В с подъемной силой 27 Н диаметром 200 мм. Проекция на ось z подъемной силы поплавок $Q_Z^n = -27 \text{ Н}$.

По формуле (6) находим проекцию натяжения хребтины в точке А на ось z

$$T_{AZ} = (3 \cdot 17,6 - 2 \cdot 27)/2 = -0,6 \text{ Н}.$$

Определяем параметр p_z : $p_z = -T_{AZ}/q_z = -0,6/0,09 = -6,7 \text{ м}$.

По формуле (7) находим проекцию натяжения хребтины в точке А на ось x:

$$T_{AX} = 0,09 \cdot \sqrt{[(-2 \cdot 6,7 - 180)^2 - 10^2] \cdot (180^2 - 10^2)} / (2 \cdot 10) = 156 \text{ Н}.$$

Масса якоря $M_{\text{я}} = T_{AX}/(k_{\text{я}} k_w^{\text{я}} g) = 156/(3 \cdot 0,87 \cdot 9,8) = 6 \text{ кг}$.

При запасе держащей силы якоря, равном 1,5, имеем $M_{\text{я}} = 1,5 \cdot 6 = 9 \text{ кг}$.

Находим массу грузов из бетона $M_{\text{ГР}} = 2T_{AZ}/(k_w g) = 2 \cdot 0,6/(0,53 \cdot 9,8) = 0,23 \text{ кг}$.

На базе приведённых математических моделей (1–8) возможна модернизация донного яруса норвежской конструкции, используемого в колхозе «Восток-1», в придонный ярус с тремя секциями на каждом участке, чему способствуют рекомендации по выбору параметров его оснастки и вооружения.

В табл. 2 приведены основные параметры придонных ярусов с тремя секциями на каждом участке, когда хребтина изготовлена из различных материалов.

Таблица 2

Основные параметры придонного яруса с тремя секциями на участке

Table 2

Main parameters of near-bottom longline with three sections in segment

Хребтина		Поплавки			Груз	Якорь
Материал хребтины	Диаметр, мм	Подъемная сила, Н	Диаметр, м	Кол-во поплавков, шт.	Масса, кг	Масса, кг
Полиэстер	10	115	0,3	2	4,20	48
Полипропилен	10	27	0,2	2	0,23	9

Анализ данных табл. 2 показывает, что замена хребтин из полиэстера, используемых в донных ярусах в колхозе «Восток-1», на хребтины из полипропилена позволяет существенно уменьшить размеры поплавков, якорей и грузов, поэтому для придонных ярусов рекомендуется использовать хребтину из полипропилена.

Выводы

Представленная математическая модель (1–8) позволяет выполнять моделирование любых конструкций придонных ярусов. Изложенная методика моделирования даёт возможность переоборудовать используемые в настоящее время донные яруса в придонные, что позволит повысить их уловистость и увеличить срок службы за счёт уменьшения износа хребтины в результате её трения о грунт и камни.

Список литературы

Габрюк В.И. Проектирование и моделирование орудий океанического рыболовства : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2016. — 399 с.

Габрюк В.И., Габрюк Л.А. Моделирование ярусных рыболовных порядков при наличии течений / Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 10226, зарегистрировано в отраслевом фонде алгоритмов и программ, 21 марта 2008.

Габрюк В.И., Кулагин В.Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика : моногр. — М. : Колос, 2000. — 416 с.

Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами : моногр. — М. : ВНИРО, 1994. — 421 с.

Кокорин Н.В. Отчет о работе в море Роса в 3-м промысловом рейсе ярусолова «Янтарь» с декабря 2003 г. по 2005 г. — М. : ВНИРО, 2005. — 118 с.

Шестопал И.П., Шевелев М.С., Греков А.А. Рекомендации по ведению ярусного промысла рыб на Северном бассейне (календарь ярусного промысла). — Мурманск : ПИНРО, 2002. — 52 с.

Поступила в редакцию 24.03.17 г.

Принята в печать 7.04.17 г.