

УДК 639.2.081.001

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИКИ ПОГРУЖЕНИЯ СИСТЕМЫ «ЯКОРЬ-КАНАТ»

^{1,2}Габрюк Л.А., ^{1,2}Габрюк В.И.

¹Морской государственный университет имени адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, Россия, e-mail: zdorova2003@rambler.ru, gabrukvi@rambler.ru;

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия, e-mail: zdorova2003@rambler.ru, gabrukvi@rambler.ru

Аналитически исследован механизм погружения системы "якорь-канат", являющейся основным объектом многих орудий рыболовства (ярусов, ловушечных порядков). Предложена модель погружения якоря с канатом с использованием динамики тела переменной массы. Рассмотрено влияние начальной скорости, материала, внешних характеристик погружаемых объектов на скорость погружения. Выполнен сравнительный анализ предложенной модели с моделями Ф.И. Баранова [3] и В.А. Ионаса [7] и экспериментами Ю.Б. Артюхина и других [2].

Ключевые слова: погружение, ярус, канат, якорь, тело с переменной массой.

INVESTIGATION MECHANICAL ENGINEERS SUBMERSIONS OF THE SYSTEM "ANCHOR-TIGHTROPE"

^{1,2}Gabryuk L.A., ^{1,2}Gabryuk V.I.

¹Morskoy gosudarstvennyy universitet imeni adm. G.I. Nevelskogo,
Vladivostok, Russia, e-mail: zdorova2003@rambler.ru, gabrukvi@rambler.ru;

²Dalnevostochnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy rybokhozyaystvennyy universitet,
Vladivostok, Russia, e-mail: zdorova2003@rambler.ru, gabrukvi@rambler.ru

Analytically explored mechanism of the submersion of the system "anchor-tightrope" - main object many oрудий fishing (the longlines, traps). The Offered model of the submersion of the anchor with tightrope with is-use speakers bodies of the variable mass. The Considered influence initial to velocities, material, external features submergible object on velocity of the submersion. The Executed benchmark analysis offered by model F.I. Baranova [3] and V.A. Ionasa [7] and experiments YU.B. Artyuhina [2].

Keywords: immersing, longline, rope, anchor, body with variable mass

Введение

Одной из операций процесса рыболовства является постановка (выметка) орудия рыболовства. На важность изучения этой операции в своих работах указывали Ф.И. Баранов, [3]; Н.Н. Виноградов, [5]; Н.Н. Андреев, [1]; В.А. Ионас, [7]; Н.В. Кокорин, [8]; Ю.Б. Артюхин и др, [2]; В.И. Сеславинский, В.Н. Аверков, [9] и другие исследователи.

До сих пор в рыболовстве исследователи уделяли большое внимание стационарным операциям: тралению с постоянной скоростью, застою яруса. Процессы постановки (выметки) и выборки орудия лова являются нестационарными, поэтому требуют дополнительных фундаментальных исследований.

Материалы и методы исследования

Исследуется процесс погружения якоря на заданную глубину с закрепленным к нему канатом, используя динамику тела переменной массы [4].

В работе используются следующие допущения:

Гидродинамические коэффициенты канатов и цилиндров зависят от материала тела и числа Рейнольдса Re [6].

При $Re > 10^3$ гидродинамические коэффициенты канатов, не зависят от числа Рейнольдса, т.е. имеет место автомодельность по Re [6, 7].

В силу того, что при погружении якоря число $Re > 10^3$ достигается в течение первых нескольких секунд, поэтому весь процесс погружения рассматривается как автомодельный по Re .

Результаты и их обсуждение

Решение задачи осуществляется в три этапа. На первом этапе исследуется погружение отдельного якоря; на втором – погружение каната, а на третьем – погружение системы «якорь- канат».

Так как якорь движется поступательно, то он рассматривается как материальная точка. Уравнение движения якоря имеет вид:

$$M_a \frac{dV}{dt} = Q_a - R_a \Rightarrow \frac{dV}{dt} = k_w^a g - \frac{0,5 C_r^a \rho V^2 S_a}{M_a}, \quad (1)$$

где M_a - масса якоря; V - скорость якоря;
 $Q_a = k_w^a M_a g$ - вес якоря в воде; k_w^a - коэффициент веса якоря в воде; $R_a = 0,5 C_r^k \rho V^2 S_a$ - гидродинамическая сила; C_r^k - коэффициент гидродинамической силы якоря; ρ - плотность морской воды; S_a - характерная площадь якоря.

Для уравнения (1) решается задача Коши. Начальные условия имеют вид: $t_0=0$ (момент начала движения); $z(t_0)=z_0$ (начальная скорость); $z(t_0)=z_0$ (начальная глубина); T - время окончания погружения якоря на заданную глубину.

Уравнение (1) запишем в форме

$$\frac{dV}{dt} = b(a^2 - V^2), \quad (2)$$

$$\text{где } a^2 = \frac{k_w^a \cdot g}{b};$$

$$b = \frac{0,5 C_r^a \cdot \rho \cdot S_a}{M}; \quad b > 0, b < 0.$$

Решая уравнения (2), находим скорость погружения якоря:

$$V(t) = \frac{a[(a + V_0)e^{2abt} - (a - V_0)]}{(a - V_0) + (a + V_0)e^{2abt}} = \frac{a[a \cdot \text{sh}(abt) + V_0 \cdot \text{ch}(abt)]}{a \cdot \text{ch}(abt) + V_0 \cdot \text{sh}(abt)} \quad (3)$$

Формула (3) справедлива при

$$0 \leq V(t) \leq a, \quad t \leq T.$$

Если начальная скорость якоря равна нулю, то формула (3) принимает вид:

$$V(t) = dz / dt = a \cdot \text{th}(abt) \quad (4)$$

На рис.1 приведены графики зависимости скорости погружения якоря от времени

при следующих исходных данных: $C_r^a = 0.2$

; $k_w^a = 0.67$ (бетон); $M_a = 45$ кг.

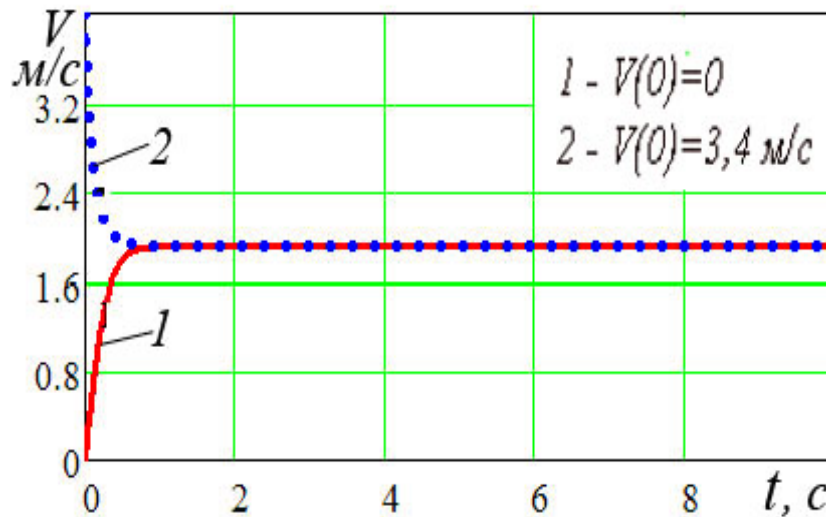


Рис.1. Графики зависимости скорости погружения якоря от времени

Как видно с рис. 1, скорость якоря (не зависимо от величины начальной скорости) через несколько секунд достигает своего постоянного значения, равного

$$V_{\max} = a = \sqrt{k_w^a \cdot g \cdot M_a / 0,5 \cdot C_r^a \rho \cdot S_a}. \quad (5)$$

Таким образом, скорость погружения якоря можно находить по формуле (4) при любых значениях начальной скорости.

Интегрируя (4), получим формулу для определения глубины погружения якоря z :

$$z(t) = \frac{1}{b} \ln \frac{a \cdot ch(abt) + V_0 \cdot sh(abt)}{a} \quad (6)$$

При $V_0=0$, имеем:

$$z(t) = \frac{1}{b} \ln ch(abt) \quad (7)$$

Формула (7) удобна для практических расчетов глубины погружения якоря.

Ниже исследуется погружение системы «якорь – канат». Это система переменной

массы. Согласно теореме о движении центра масс, имеем:

$$\frac{d}{dt}(M_C \vec{V}_C) = \sum \vec{F}_k,$$

где $M=M_a+ mz$ - масса системы; M_a - масса якоря; mz - масса каната. Скорость центра масс системы «якорь – канат» определяется из формул:

$$\vec{V}_c = \frac{dz_c}{dt}; \quad z_c = \frac{Mz + m \cdot z * 0.5 \cdot z}{M + mz}$$

Уравнение движение центра масс системы «якорь-канат» имеет вид:

$$\frac{d}{dt}[(M + mz) \frac{d}{dt}(\frac{Mz + m \cdot z * 0.5 \cdot z}{M + mz})] = \vec{Q}_a + \vec{Q}_k - \vec{R}_a - \vec{R}_k \quad (8)$$

где $Q_a = k_w^a \cdot M_a \cdot g$ - вес якоря в воде;

$Q_k = k_w^k \cdot m \cdot g \cdot z$ - вес каната в воде; R_a, R_k

- гидродинамические силы якоря и каната.

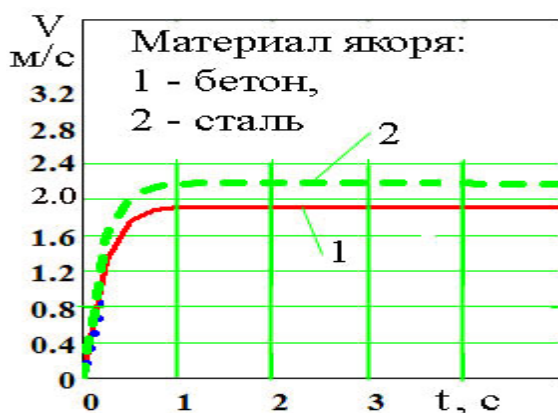
Запишем уравнение (8) в нормальной форме (форме Коши):

$$\frac{dV}{dt} = \frac{M_a + mz}{(M_a + mz)^2 - mz(M_a + 0.5mz)} \times \left\{ - \left[\frac{m^2 z (M_a + 0.5mz)}{(M_a + mz)^2} + 0.5 \cdot Ro \cdot C_r^a \cdot l \cdot D \cdot \pi + 0.5 \cdot Ro \cdot C_r^k \cdot l \cdot d \cdot z \right] (V)^2 + \right. \\ \left. + k_w^a \cdot M_a \cdot g + k_w^k \cdot m \cdot z \cdot g \right\} \quad (9)$$

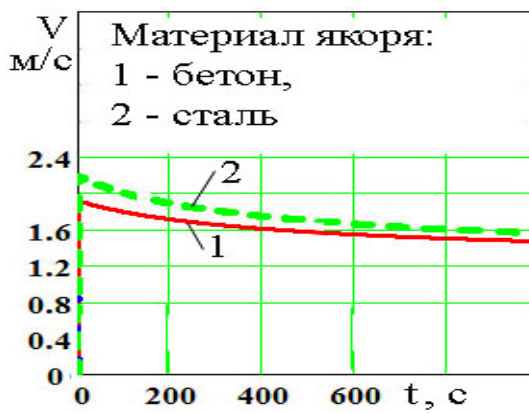
Уравнение (9) решалось численно методом Рунге-Кутты. На рис. 2 приведены зависимости, полученные его численным решением.

Для вычислительного эксперимента использовался канат из полиэстера (диаметр

$d=00,1$ м, линейная плотность, $m=00,7$ кг/м, коэффициент веса в воде $k_w^k=0,26$, гидродинамический коэффициент $C^k=0.023$) и якорь (диаметр штока $D_a=0,1$, м; масса $M_a=45$ кг).



а) начало погружения



б) весь период погружения

Рис. 2. Зависимости скорости (V - м/с) погружения канатов от времени

На рис. 3 показана зависимость времени погружения якоря с канатом от глубины. Рис. 4 показывает сравнительные характе-

ристики зависимости скорости погружения системы "якорь-канат" (линия 1) и якорь (линия 2).

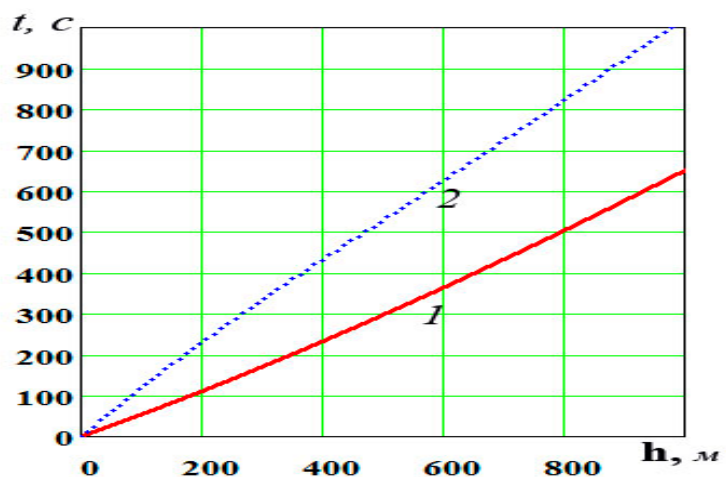


Рис.3. График зависимости времени погружения системы «якорь-канат» от глубины: 1- стальной якорь; 2 - якорь из бетона.

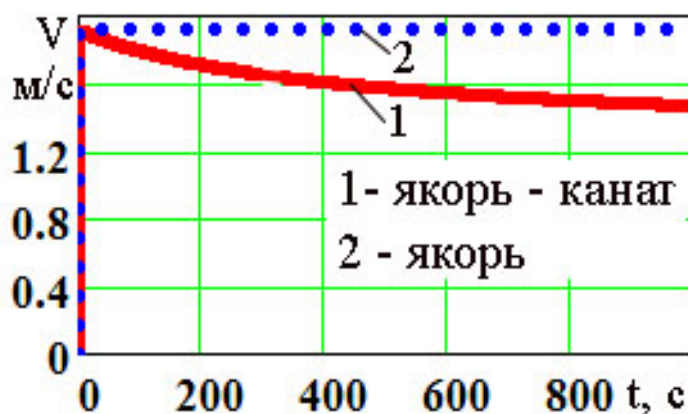


Рис.4. Скорости погружения: 1 - якоря с канатом; 2 - якоря

Ниже выполнено сравнение полученных результатов с данными Ф.И. Баранова [3] и В.А. Ионаса [7]. Формула Ф.И. Баранова имеет вид:

$$t = 2.85h \sqrt{\frac{h}{q}} \quad (10)$$

где q - нагрузка нижней подборы невода (вес грузил в воде), Н/м; h - глубина погружения, м.

При погружении уреза невода, В.А. Ионас [7] учитывал силу сопротивления, которая уравновешивается силами веса невода в воде и силами инерции. Ионас предлагает время погружения уреза определять по формуле:

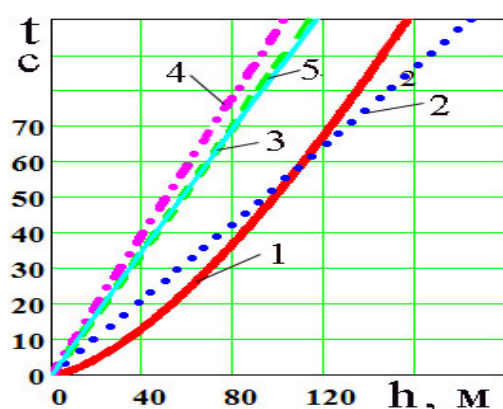
$$t = Ah \sqrt{\frac{\rho \cdot d}{q}} \quad (11)$$

где A - коэффициент пропорциональности; h - глубина погружения; ρ - плотность воды; d - диаметр уреза; q - вес уреза в воде.

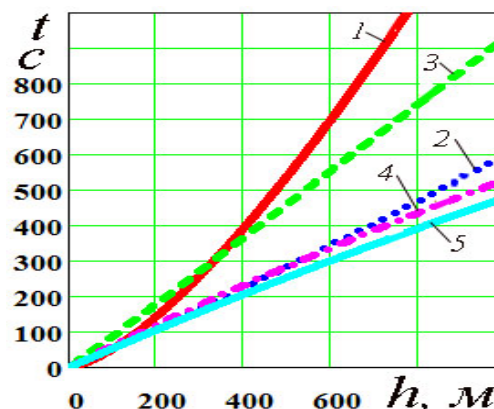
На рис. 5 приведены графики зависимости времени погружения от глубины, полученные по формуле Ф.И. Баранова (10) и системы "якорь-канат". Кривая 1 получена по формуле Ф.И. Баранова. Кривая 2 получена численным решением дифференциального уравнения (9) (канат - полиэстер, якорь бетон; $C_a=0.2$). Кривая 3 получена численным решением дифференциального уравнения (9) (канат - полиэстер, якорь сталь; коэф-

коэффициент гидродинамического сопротивления $C_d=0.5$). Кривая 4 получена по формуле В.А. Ионаса (11) (канат – полиэстер, якорь –

бетон). Кривая 5 получена по формуле В.А. Ионаса (канат – полиэстер, якорь – сталь).



а) начало погружения



б) полный период погружения

Рис.5. Графики зависимостей времени погружения элементов рыболовных орудий от глубины, полученные различными исследователями

Приведенный анализ показал:

а) формула (10) не учитывает силы гидродинамического сопротивления, поэтому даёт большие погрешности;

б) результаты исследований близки к данным В.А. Ионаса [7];

в) исследования коррелируют с экспериментальными данными [2]. В эксперименте [2] скорость погружения равна 1.4 м/с – на рис. 7 средняя скорость погружения равна 1.5 м/с.

В силу сказанного следует полагать, что предлагаемая в работе методика определения времени погружении объекта (якоря с канатом) даёт более точные результаты по сравнению с методиками Ф.И. Баранова и В.А. Ионаса.

Выводы

В работе развиты теоретические исследования Ф.И. Баранова [3] и В.А. Ионаса [7] по определению времени погружения элементов ярусной, ловушечной и других рыболовных систем.

Практическое значение, полученных результатов заключается в следующем:

1. Предложенные математические модели позволят более точно оценивать временные интервалы погружения элементов яруса.

2. Избежать затрат на установку отпугивающих птиц устройств за счёт подбора

материалов элементов яруса, позволяющих увеличивать скорость погружения системы.

3. Разработанные математические модели можно использовать при исследовании динамики погружения различных орудий рыболовства.

Список литературы

1. Андреев Н.Н. Проектирование кошельковых неводов. - М.: Пищ. пром-сть, 1970. - 278 с.
2. Артюхин Ю.Б., Винников А.В., Терентьев Д.А. Испытания хребтины, утя-желенной свинцовым сердечником, на ярусном промысле в прикамчатских водах // Изв. ТИНРО-2008 – Т.154 – С. 276-294.
3. Баранов Ф. И. Теория и расчет орудий рыболовства. М.: Пищепромиздат, 1948. – 436 с.
4. Бутенин Н.Б., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. М.: Наука, 1971. – 462 с.
5. Виноградов Н.Н., Скорость погружения нижней подборы кошельковых неводов. Труды АзчерНИРО, Вып.14. . М.: Пищепромиздат, 1950.
6. Габрюк В.И. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – 519 с.
7. Ионас В.А. Теоретический анализ движения донного невода// Труды Калининградского технического института рыбной промышленности и хозяйства-1964 – Выпуск.17 – С. 94-105.
8. Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами. М.: ВНИРО, 1994. – 421 с.
9. Сеславинский В.И., Аверков В.Н. Обоснование орудий лова для промысла лососей, альтернативных жаберным сетям // Изв. ТИНРО-2010 – Т.160 – С. 282-297.