

ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.117

А.А. Недоступ*

Калининградский государственный технический университет,
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1МЕТОД РАСЧЕТА СИЛОВЫХ
И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЫЛА
СТАВНОГО НЕВОДА С ЖЕСТКИМ КАРКАСОМ

Приводится метод расчета силовых и геометрических характеристик крыла ставного невода с жестким каркасом и его элементов: мертвых якорей, свай и чипчиков. Метод основан на использовании конечных зависимостей, связывающих геометрические и силовые характеристики крыла ставного невода и позволяет: определить давление на сваю; установить глубину забивки свай; подобрать материал свай (гундер); рассчитать натяжение в наклонных оттяжках и подобрать их диаметр и материал; определить необходимое количество свай и оттяжек на крыло; установить глубину забивки чипчиков; определить характеристики сетематериалов крыла и других элементов невода; определить держащую силу якорей, необходимую для безаварийной работы ставных неводов с жестким каркасом, и в результате подобрать якоря или чипчики.

Ключевые слова: крыло ставного невода с жестким каркасом, метод расчета, конечные эмпирические зависимости.

Nedostup A.A. Method of computing force and geometrical characteristics for a wing of set-net with rigid frame // *Izv. TINRO*. — 2010. — Vol. 160. — P. 265–281.

The method allows to calculate force and geometrical characteristics for a wing of set-net with rigid frame and for its elements (dead anchors, piles) in the range $10 \leq Re$; $0,004 \leq F_0 \leq 0,165$; $0,10 \leq h_1/S_1 \leq 0,98$; $0,05 \leq l_1/S_1 \leq 0,85$; $0,10 \leq h_2/S_2 \leq 0,98$; $0,05 \leq l_2/S_2 \leq 0,85$; $0,2 \leq \chi_1 \leq 3,5$; $0,2 \leq \chi_2 \leq 3,5$. It is based on finite dependences between these characteristics. The following parameters are defined: pressure upon piles; depth of piles; tension in ropes; required number of piles and guys; parameters of seine elements; holding force of anchors necessary for trouble-free operation. Reasoning from these characteristics, the anchors could be selected and optimal materials and diameter for piles and guys could be determined.

Key words: set-net with rigid frame, computing method, finite dependence.

Введение

Ставные невода с жестким каркасом — это ловушки, открытые сверху, закрепленные с помощью деревянных свай (гундер), системой наклонных оттяжек, чипчиков и якорей (рис. 1). Они являются высокопроизводительными орудиями рыболовства прибрежных районов Баренцева, Балтийского, Черного, Азов-

* Недоступ Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, e-mail: anedostup@yahoo.com.

ского, Каспийского морей (Громов, 1954; Пономарев, 1954; Шапунов, 1954; Ярвик, Муравьев, 1978). Также ставные невода с жестким каркасом применяются в Обь-Иртышском бассейне на Обской и Тазовской губах (Литвиненко, 2003а, б, 2004; Халилов, 2007). Небольшие озерные ставные невода применяют при ловле карася в весенне-летний период на таежных карасевых озерах. На оз. Байкал, на

Селенгинском мелководье, ставные невода являются основными орудиями рыболовства, вытеснившими на второе место по производительности труда закидные невода.

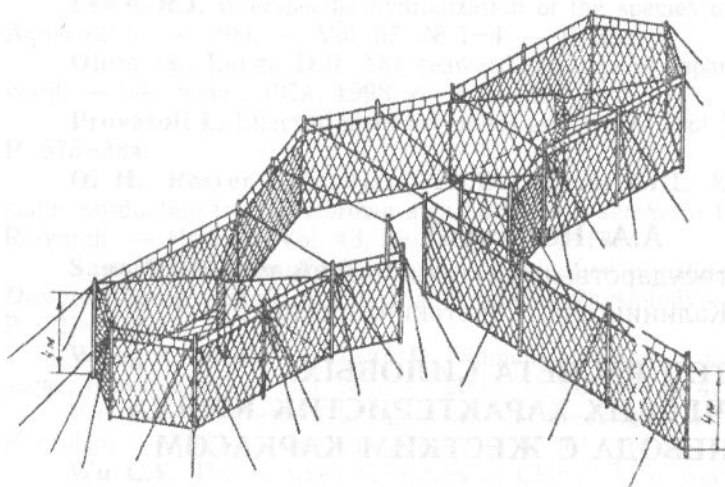


Рис. 1. Ставной невод с жестким каркасом
Fig. 1. Set-net with rigid frame

В качестве жесткого каркаса ставного невода применяют обычно систему свай (гундер), забиваемых в дно водоема вдоль крыла и по контуру ловушки (Баранов, 1948, 1969; Войниканис-Мирский, 1969а, б; Дверник, Шеховцев, 2007). В местах, где дно представляет собой скалистые породы, гундеры в грунт не вбиваются, а, имея груз на нижнем конце, удерживаются в вертикальном положении якорными оттяжками.

Расчет ставных неводов сводится к основной задаче — расчет на штормоустойчивость, т.е. расчет прочных креплений невода. Штормоустойчивость, т.е. способность неводов противостоять действию внешних сил, обеспечивается по-разному. Впервые в России внимание проблемам штормоустойчивости ставных неводов уделил В.С. Калиновский (1955). Штормоустойчивость неводов с жестким каркасом является частным случаем штормоустойчивости ставных неводов и обеспечивается двумя способами: создается мощная система креплений, выдерживающая шторм; создаются автоматические устройства, которые складывают или сбрасывают невод с каркаса и тем самым оберегают его от действия шторма.

На ставной невод действуют внешние силы: штормовое течение и волнение, усиливающиеся по мере забивания сетного полотна травой, водорослями и другими наносами. В связи со сложностью расчета, учитывающего вышеуказанные силы, расчет невода на штормоустойчивость выполняют по формулам сопротивления сетного полотна движению воды. Скорость критического (штормового) течения принимают $1,5-2,0$ м/с и считают ее одинаковой от дна до поверхности. Направление течения принимают перпендикулярно крылу как наиболее опасное. На сваю крыла действует сила сопротивления участка крыла, приходящегося на сваю, и давление воды на сваю. На практике давлением воды на сваю пренебрегают вследствие его незначительной величины и учитывают лишь сопротивление участка крыла (Войниканис-Мирский, 1969а, б).

Ставные невода с жестким каркасом обычно устанавливают в прибрежной зоне на глубинах до 6 м. Во время шторма невода испытывают воздействие ветрового и волнового течений. Скорости течений рассчитаны по выражениям, принятым в навигационной гидрометеорологии (Данилов, Фридман, 1981; Недоступ, 2009).

На неглубоких местах (до 6 м) крыло ставного невода может быть установлено с помощью кольев (или свай), вбитых в дно (Баранов, 1948, 1969; Покров-

ский, 1954; Трещев, 1954; Войниканис-Мирский, 1969а, б; Лукашов, 1972; Фридман, 1981; Розенштейн, 2000, 2003; Телятник, Осипов, 2005; Телятник, 2006, 2007; Дверник, Шеховцев, 2007; Халилов, 2007). Сваи диаметром 6–8 см забивают в грунт на 1 м и более. Если по местным условиям (глубина места лова, ненадежный грунт, возможность большой волны и течения) установка на сваях оказывается недостаточно прочной, то их подкрепляют оттяжками (Баранов, 1948, 1969).

Каркас крыла ставного невода с жестким каркасом (далее НСЖК) может включать (рис. 2): наклонные оттяжки, систему свай и канат или проволоку (Баранов, 1948, 1969; Сергеев, 1971, 1979; Литвиненко, 2003а, б, 2004; Дверник, Шеховцев, 2007).

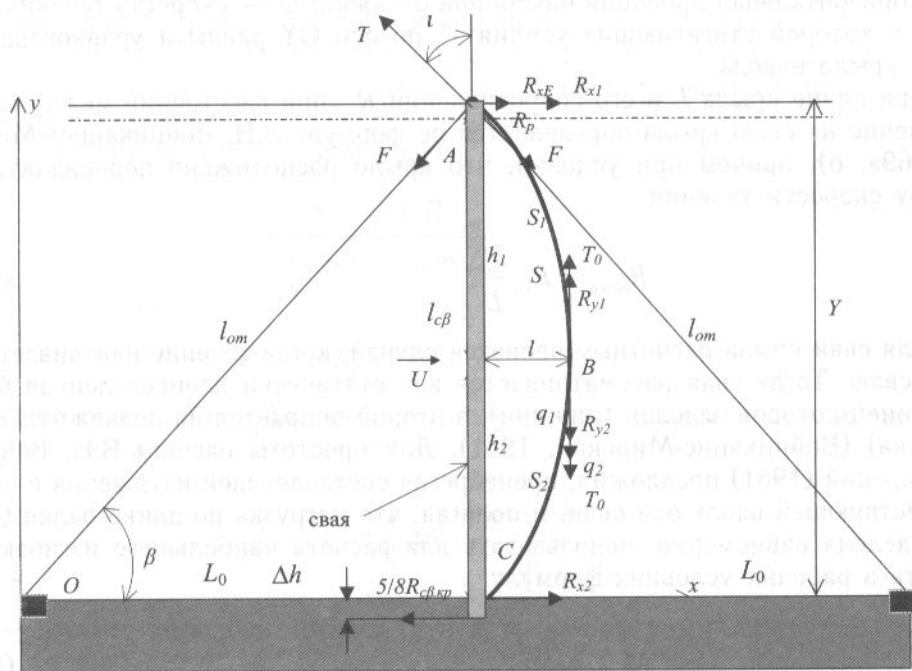


Рис. 2. Каркас крыла ставного невода с жестким каркасом. Пояснения в тексте
Fig. 2. Wing of the set-net with rigid frame. Explanations are given in the text

Цель настоящей работы определяется острой практической потребностью проектировщиков и эксплуатационников в методике расчета силовых и геометрических характеристик крыла ставных неводов с жестким каркасом, обеспечивающей более высокую по сравнению с существующими методами точность результатов и учитывающей конструктивные особенности крыла невода и его элементов.

Материалы и методы

Исследованию штормоустойчивости ставных неводов с жестким каркасом посвящено много работ (Баранов, 1948, 1969; Войниканис-Мирский, 1951, 1969а, б; Ионас, 1959; Войниканис-Мирский, Вишневецкий, 1971; Розенштейн, 2000; Телятник, Осипов, 2005).

Верхняя подбора ставного невода с жестким каркасом при отсутствии и наличии шторма находится у поверхности воды (рис. 2). На рис. 2 приведены следующие обозначения: S — высота крыла невода между оттяжками; l_{om} — длина наклонной оттяжки; Y — глубина места установки; F — натяжение в наклонной оттяжке; S_1 — высота 1-го участка полоски крыла НСЖК (разноглубинная сеть); S_2 — высота 2-го участка полоски крыла НСЖК (донная сеть),

причем $S = S_1 + S_2$; q_1, q_2 — вес в воде соответственно 1-го и 2-го участков полосы крыла НСЖК ($q_1 = q_c l_n S_1$; $q_2 = q - q_1$ или $q_2 = q_c l_n S_2 = q_c l_n (S - S_1)$); R_{y1} — подъемная сила 1-го участка полосы крыла НСЖК; R_{y2} — заглубляющая сила 2-го участка полосы крыла НСЖК; R_{x1}, R_{x2} — сопротивление соответственно 1-го и 2-го участков полосы крыла НСЖК; T_0 — усилие в сетной полоске крыла НСЖК на границе участков; β — угол наклона наклонной оттяжки к горизонтальной плоскости; l — горизонтальная проекция 1-го и 2-го участков полосы крыла НСЖК; T — натяжение в сетном полотне; R_{xE} — сопротивление каната или проволоки крыла НСЖК (в расчетах пренебрегаем); ι — угол между сваем крыла и касательной в верхней точке сетного полотна крыла; h_1, h_2 — вертикальные проекции соответственно 1-го и 2-го участков полосы крыла НСЖК; L_0 — горизонтальная проекция наклонной оттяжки; U — скорость течения; B — точка, в которой стягивающие усилия T_0 по оси OY равны и уравнивают сетное крыло невода.

При длине крыла L и его сопротивлении $R_{кр}$ при расстоянии между сваями l_n давление на сваю крыла определяется по формуле В.Н. Войниканиса-Мирского (1969а, б), причем при условии, что крыло расположено перпендикулярно вектору скорости течения:

$$R_{св.кр} = R_{кр} \frac{l_n}{L}. \quad (1)$$

Для сваи крыла расчетным является случай, когда течение наваливает крыло на сваю. Тогда свая рассматривается как статически неопределенная балка, один конец которой заделан (нижний), а второй опирается на подвижную опору (оттяжка) (Войниканис-Мирский, 1951). Для простоты расчета В.Н. Войниканис-Мирский (1951) предложил, пренебрегая составляющей натяжения в оттяжке, действующей вдоль оси сваи, и полагая, что нагрузка по длине балки (сваи) распределена равномерно, использовать для расчета наибольшего изгибающего момента в рабочих условиях формулу

$$M_{изг} = \frac{q_{св} l_{св}^2}{8}, \quad (2)$$

где $q_{св}$ — интенсивность нагрузки по длине сваи; $l_{св}$ — длина сваи.

В свае в точке С действует сила $5/8 R_{св.кр}$, а в точке А действует сила $3/8 R_{св.кр}$ (Беляев, 1965).

Диаметр сваи определяется по формуле

$$d_{св} = \sqrt[3]{\frac{M_{изг}}{0,1\sigma_{изг}}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{изг}$ — допускаемое напряжение при изгибе (для дерева принимается $\sigma_{изг} = 8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$).

В аварийном случае, если лопнет оттяжка, свая работает как консоль с равномерно распределенной нагрузкой, и тогда изгибающий момент в заделке

$$M_{изг} = \frac{q_{св} l_{св}^2}{2}. \quad (4)$$

Диаметр оттяжки сваи подбирается по величине разрывной нагрузки F_p (Розенштейн, 2003). Действующая в оттяжке нагрузка (натяжение в оттяжке) рассчитывается в соответствии со схемой, предложенной В.Н. Войниканисом-Мирским (1969а, б), из которой следует:

$$F = \left(\frac{R_{св.кр}}{2} + R_p \right) \frac{1}{\cos \beta}, \quad (5)$$

где R_p — реакция в закрепленном конце сваи от давления воды на сваю, равная $3/8R_{св.кр}$ (Беляев, 1965); β — угол между оттяжкой и горизонтом. Ее можно рассчитать приближенно, пренебрегая R_p :

$$F = \frac{R_{св.кр}}{2 \cos \beta}. \quad (6)$$

Отметим, что формула (5) записана некорректно, так как при действии на сваю давления (статически неопределенная балка) $R_{св.кр}$ возникает реакция в закрепленном конце сваи от давления воды на сваю $R_p = 3/8R_{св.кр}$, и эта величина силы передается на наклонную оттяжку, причем тыльная оттяжка в данном случае имеет провис.

Тогда формулу (5) запишем в виде

$$F = \frac{R_p}{\cos \beta} = \frac{3 R_{св.кр}}{8 \cos \beta}. \quad (7)$$

Отметим, что

$$R_{св.кр} = R_{x1} + R_{x2}. \quad (8)$$

Требуемую глубину Δh забивки сваи в грунт определяют по приближенной формуле (Войниканис-Мирский, 1951)

$$\Delta h = 1,12 \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varpi}{2} \right) \sqrt{\frac{R_{св.кр}}{\gamma_{ep} d_{св}}}, \quad (9)$$

где ϖ — угол естественного откоса грунта; γ_{ep} — объемный вес грунта (табл. 1).

Таблица 1
Характеристики грунта (Войниканис-Мирский, 1951)

Table 1 Bottom ground parameters (from Войниканис-Мирский, 1951)		
Грунт	ϖ , град	γ_{ep} , Н/м ³
Ил	15	18000
Мелкий песок с илом	20	19000
Слабый глинистый грунт	20	18000
Песок мелкий чистый	22	20000
Средний и крупный песок	25	20000
Глинистый грунт и суглинок	25	19000
Галька	27	20000

При проектировании ставных неводов с жестким каркасом (Розенштейн, 2000; Телятник, Осипов, 2005) предусматривают запас на выдувание сети. Принимается, что крыло ставного невода между сваями находится под действием гидродинамических сил, равномерно распределенных по ее высоте, и поэтому форма крыла соответствует целной линии.

В связи с этим расчет крыла ставного невода ведется по общепринятой формуле (Баранов, 1948, 1969; Фридман, 1981; Розенштейн, 2000):

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{R_{св.кр}}{2} \frac{\theta}{T}, \quad (10)$$

где θ — коэффициент, учитывающий в формуле сопротивления полоски ее неплоскую форму (Попов, 1955; Розенштейн, 2000).

Из таблицы элементов цепной линии (Розенштейн, 2000) следует, что $tgt = f(Y/S)$, где t — угол между сваяй крыла и касательной в верхней точке сетного полотна крыла.

Коэффициент θ определяется по формуле

$$\theta = 1,6 - 2,96 \left(\frac{Y}{S} \right) + 2,36 \left(\frac{Y}{S} \right)^2. \quad (11)$$

На основании графика зависимости $T_0/R_{св.кр} = f(Y/S)$ принимают, что высоту стенки ставного невода целесообразно выбирать из условия $Y/S = 0,6 - 0,8$. Формула (11) справедлива при условии $0,6 \leq Y/S \leq 1,0$.

Необходимо отметить, что формулы (10) и (11) не учитывают веса в воде крыла ставного невода, и тем самым погрешность в расчетах силовых и геометрических характеристик крыла невода увеличивается с увеличением вышеуказанного веса. Точность расчета характеристик крыла и его элементов (оттяжек, чипчиков и их глубины забивки) можно повысить за счет учета всех действующих сил (сопротивления крыла невода, веса в воде крыла невода; силы натяжения в оттяжках; держащей силы чипчиков). И главное, отметим, что крыло ставного невода между сваями находится под действием гидродинамических сил и сил веса в воде, при этом крыло невода не соответствует цепной линии.

Рассмотрим расчетную схему крыла ставного невода с жестким каркасом (рис. 2). Представим, что крыло ставного невода принимает несимметричную форму (Розенштейн, 2005; Недоступ, 2009), так как вес в воде q_c 1 габаритного метра сети не равен нулю ($q_c \neq 0$), тогда можно предположить, что крыло ставного невода состоит из разноглубинной сети (верхняя часть крыла) и донной сети (нижняя часть крыла) (рис. 3, 4). Скорость течения принята одинаковой по всей глубине. Выдуванием по длине крыла (между оттяжками) и сопротивлением останки $R_{xE_c} = 0$ пренебрегаем. Наклонные оттяжки закреплены с помощью мертвых якорей (мешками с песком) или чипчиками.

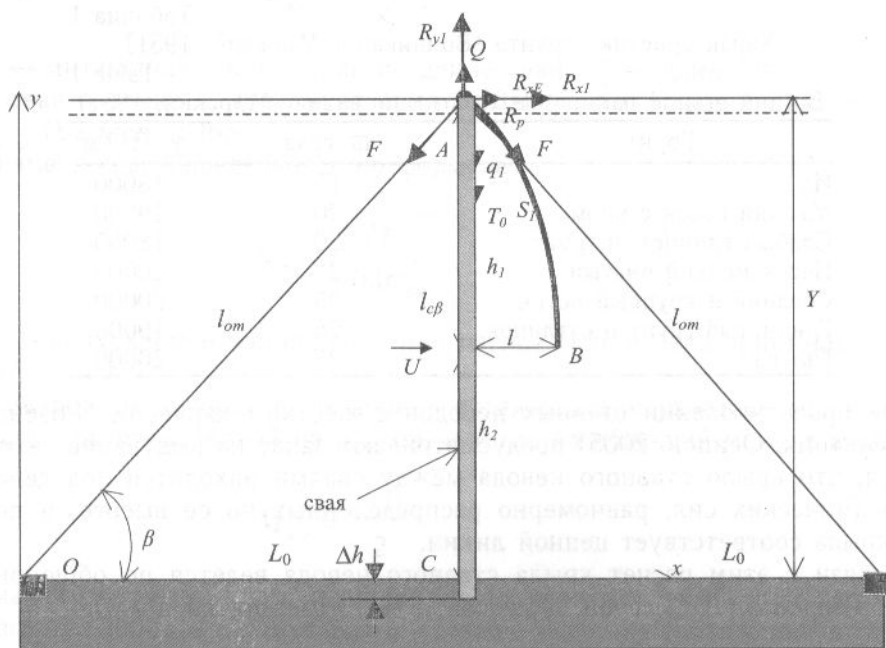


Рис. 3. Участок 1 крыла НСЖК (разноглубинная сеть)
Fig. 3. Site 1 of the wing (midwater set-net)

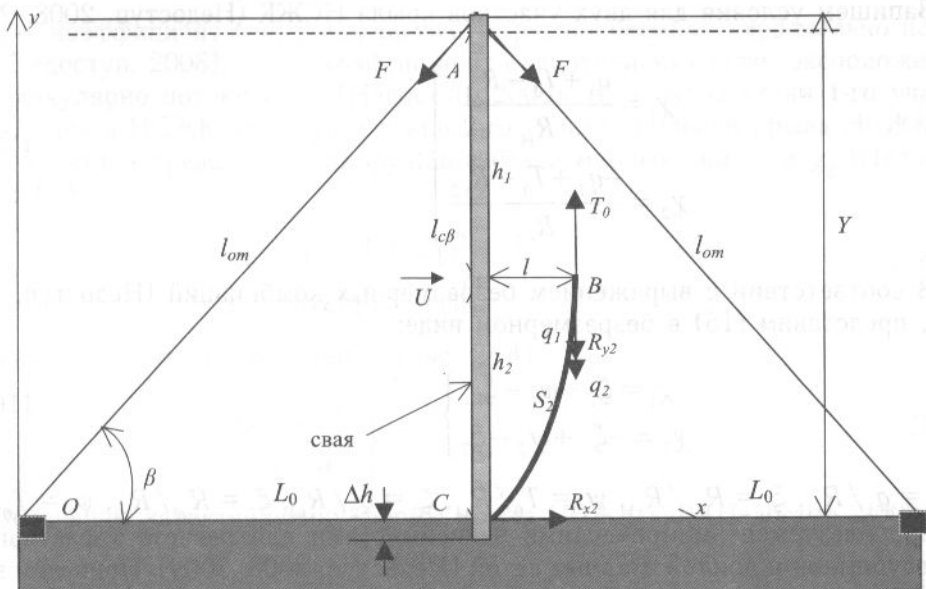


Рис. 4. Участок 2 крыла НСЖК (донная сеть)
 Fig. 4. Site 2 of the wing (bottom set-net)

Вес в воде пролета крыла невода, а также 1-го и 2-го участков полоски крыла НС определим по формулам

$$\left. \begin{aligned} q &= q_1 + q_2 \\ q_1 &= q_c l_n S_1 \\ q_2 &= q_c l_n S_2 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Горизонт расположения верхней подборки крыла НСЖК (глубина места лова) связан с вертикальной проекцией крыла:

$$H = h_1 + h_2. \quad (13)$$

Как правило, при установке ставных неводов с жестким каркасом горизонт расположения верхней подборки крыла равен глубине места лова ($H = Y$).

Отметим, что при $q_c = 0$ вертикальные проекции 1-го и 2-го участков полоски крыла НСЖК равны, или $h_1 = h_2$, а также, что

$$\left. \begin{aligned} \cos \beta &= L_0 / l_{om} \\ \sin \beta &= H / l_{om} \\ \operatorname{tg} \beta &= H / L_0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Скорость течения в месте установки крыла НСЖК принята одинаковой по всей глубине. Выдуванием по длине крыла (между оттяжками) и влиянием волнения пренебрегаем. Вертикальные оттяжки крыла НСЖК закреплены с помощью мертвых якорей. Сопротивлением и весом в воде оттяжек пренебрегаем.

Так как сваи между собой соединяются канатом или проволокой (для жесткости конструкции), то плавом верхнюю подборку крыла невода и остальных его частей не оснащают.

Запишем условия для двух участков крыла НСЖК (Недоступ, 2008, 2009):

$$\left. \begin{aligned} \chi_1 &= \frac{q_1 + T_0 - R_{y1}}{R_{x1}} \\ \chi_2 &= \frac{-q_2 + T_0 - R_{y2}}{R_{x2}} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

В соответствии с выражением безразмерных комбинаций (Недоступ, 2008, 2009), представим (15) в безразмерном виде:

$$\left. \begin{aligned} \chi_1 &= \zeta_1 + \psi_1 - \xi_1 \\ \chi_2 &= -\zeta_2 + \psi_2 - \xi_2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где $\zeta_1 = q_1/R_{x1}$, $\xi_1 = R_{y1}/R_{x1}$, $\psi_1 = T_0/R_{x1}$, $\zeta_2 = q_2/R_{x2}$, $\xi_2 = R_{y2}/R_{x2}$, $\psi_2 = T_0/R_{x2}$.

Воспользуемся эмпирическими зависимостями для расчета характеристик разноглубинной и донной ставных сетей (Недоступ, 2008, 2009). Приведем эмпирические зависимости геометрических характеристик для участков крыла НСЖК:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= (1 - e^{-\chi_1}) S_1 \\ h_2 &= (1 - e^{-\chi_2}) (S - S_1) \\ l &= e^{-\chi_1} S_1 = e^{-\chi_2} (S - S_1) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где $e^{-\chi}$ — экспонента в степени χ_1 и χ_2 .

Эмпирические зависимости системы (17) справедливы в диапазоне характеристик: $10 \leq Re$ — число Рейнольдса; $0,004 \leq F_o \leq 0,165$ — сплошность сети крыла НСЖК; $0,10 \leq h_1/S_1 \leq 0,98$; $0,05 \leq l_1/S_1 \leq 0,85$; $0,10 \leq h_2/S_2 \leq 0,98$; $0,05 \leq l_2/S_2 \leq 0,85$; $0,2 \leq \chi_1 \leq 3,5$; $0,2 \leq \chi_2 \leq 3,5$.

Запишем формулы для определения сил сопротивления R_{x1} , R_{x2} и распорных сил R_{y1} , R_{y2} участков крыла НСЖК:

$$\left. \begin{aligned} R_{x1} &= c_{x1} \frac{\rho U^2}{2} S_1 l_n F_o \\ R_{x2} &= c_{x2} \frac{\rho U^2}{2} (S - S_1) l_n F_o \\ R_{y1} &= c_{y1} \frac{\rho U^2}{2} S_1 l_n F_o \\ R_{y2} &= c_{y2} \frac{\rho U^2}{2} (S - S_1) l_n F_o \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где ρ — плотность воды; U — скорость течения; c_{x1} , c_{x2} , c_{y1} и c_{y2} — гидродинамические коэффициенты соответствующих сил.

$$\left. \begin{aligned} c_{x1} &= c_0 + (c_{90} - c_0) \sin \alpha_1 \\ c_{x2} &= c_0 + (c_{90} - c_0) \sin \alpha_2 \\ c_{y1} &= (6\alpha_1 - 3,85\alpha_1^2) F_o \\ c_{y2} &= (6\alpha_2 - 3,85\alpha_2^2) F_o \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где c_0 — коэффициент сопротивления сети, расположенной параллельно потоку воды (Недоступ, 2008); c_{90} — коэффициент сопротивления сети, расположенной перпендикулярно потоку воды (Недоступ, 2008); α_1 — угол атаки 1-го участка полоски крыла НСЖК; α_2 — угол атаки 2-го участка полоски крыла НСЖК.

Углы атаки представим как функции безразмерных сил χ_1 и χ_2 (Недоступ, 2008, 2009):

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \arctg(e^{\chi_1} - 1) \\ \alpha_2 &= \arctg(e^{\chi_2} - 1) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Запишем координаты точки B (рис. 2–4):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= L_0 + l \\ y_B &= h_2 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Обозначим характеристику формы крыла НСЖК как (Недоступ, 2009)

$$\delta = \frac{l}{H} \quad (22)$$

Запишем для двух участков крыла НСЖК выражения для определения гидродинамического качества (Недоступ, 2009):

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= c_{y1} / c_{x1} \\ k_2 &= c_{y2} / c_{x2} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

где k_1 — гидродинамическое качество верхнего участка крыла НСЖК (разноглубинная сеть); k_2 — гидродинамическое качество нижнего участка крыла НСЖК (донная сеть).

Определим параметр \bar{k} — среднее взвешенное значение гидродинамического качества крыла НС (Недоступ, 2009):

$$\bar{k} = \frac{k_1 F_{H1} + k_2 F_{H2}}{F_H} \quad (24)$$

где $F_{H1} = S_1 l_n F_o$ — площадь ниток верхнего участка крыла НСЖК (разноглубинная сеть); $F_{H2} = (S - S_1) l_n F_o$ — площадь ниток нижнего участка крыла НСЖК (донная сеть); $F_H = F_{H1} + F_{H2}$.

С учетом выражений (17)–(24) решается система уравнений (16).

Необходимый вес в воде мертвых якорей наклонных оттяжек определим из условия

$$F_d \geq \mu \left(G_n - \frac{3}{8} R_{св.кр} \tan \beta \right), \quad (25)$$

где F_d — сила трения мертвого якоря о грунт; G_n — вес в воде мертвого якоря наклонной оттяжки; μ — коэффициент трения мертвого якоря о дно водоема.

Выразим из формулы (25) достаточную массу мертвого якоря M_n наклонной оттяжки (при $R_{св.кр} \rightarrow \max$):

$$M_n \geq \frac{3R_{св.кр}}{8g \left(\frac{\gamma_m - \gamma_e}{\gamma_m} \right)} \left(\frac{1}{\mu} + \tan \beta \right). \quad (26)$$

где g — ускорение силы тяжести, $g = 9,82 \text{ м/с}^2$; γ_m — объемный вес материала, из которого изготовлен мертвый якорь; γ_0 — объемный вес воды.

Если наклонные оттяжки свай закреплены с помощью чипчиков, то требуемую глубину Δh_y их забивки определим по формуле (9) с учетом формулы (8):

$$\Delta h_y = 1,12ctg \left(45^\circ + \frac{\varpi}{2} \right) \sqrt{\frac{3R_{св.кр}}{8\gamma_{сп}d_y}} = 0,68ctg \left(45^\circ + \frac{\varpi}{2} \right) \sqrt{\frac{R_{св.кр}}{\gamma_{сп}d_y}} \quad (27)$$

где d_y — диаметр чипчика.

На основании формулы (27) можно сделать вывод, что глубина забивки чипчиков наклонных оттяжек крыла ставного невода с жестким каркасом должна быть меньше глубины забивки свай в два раза.

Для примера приведем расчетные характеристики крыла ставного невода с жестким каркасом, имеющего следующие параметры: $d = 1,6 \text{ мм}$ — диаметр нитки; $a = 55 \text{ мм}$ — шаг ячеей; $u_x = 0,71$ — посадочный коэффициент по верхней подборе; $F_o = 0,058$ — относительная площадь крыла НСЖК; $l_{св} = 9,4 \text{ м}$ — длина свай (от дна — 7 м); $U = 0,1 \div 2,0 \text{ м/с}$; $l_{от} = 20 \text{ м}$; $S = 8 \text{ м}$; $q_c = 0,2 \text{ Н/м}^2$ — вес в воде 1 квадратного (габаритного) метра сети. При расчете характеристик НСЖК приняты условия: $Y = 6 \text{ м}$; $\rho = 1034 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды; $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ — коэффициент кинематической вязкости воды. Весом в воде оттяжек пренебрегаем. В рассматриваемом примере расстояние между сваями $l_n = 10 \text{ м}$. На рис. 5 изображена форма крыла ставного невода с жестким каркасом при скоростях течения $0,12 \text{ м/с}$, $1,0$ и $2,0 \text{ м/с}$.

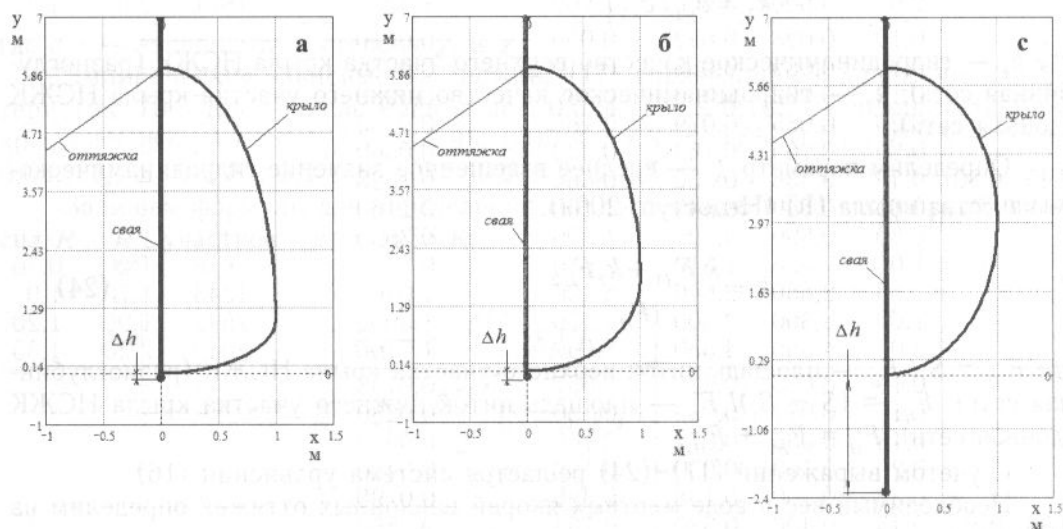


Рис. 5. Форма крыла НСЖК при скорости потока воды (при $H/S = 0,75$ и $H/l_{от} = 0,3$): **а** — $U = 0,045 \text{ м/с}$; **б** — $U = 0,060 \text{ м/с}$; **с** — $U = 2,0 \text{ м/с}$

Fig. 5. Shape of the wing under water stream of different velocity ($H/S = 0.75$; $H/l_{от} = 0.3$): **a** — 4.5 cm/s ; **b** — 6.0 cm/s ; **c** — 200.0 cm/s

На основании формул (7)–(27) составим алгоритм расчета силовых и геометрических характеристик крыла ставного невода с жестким каркасом (рис. 6). На рис. 6 приведены следующие обозначения: d — диаметр нитки сетной части крыла; a — шаг ячеей сетной части крыла; u_x — посадочный коэффициент верхней и нижней подбор крыла; u_y — посадочный коэффициент боковых подбор крыла; ν — коэффициент кинематической вязкости воды; Re — число Рейнольдса; F_H — площадь ниток крыла НСЖК; R_{x11} , R_{x22} — сопротивление соответственно 1-го и 2-го участков полоски крыла НСЖК в первом приближении; λ_1 ,

λ_2 — безразмерные проекции соответственно 1-го и 2-го участков полоски крыла НСЖК на ось OY; ω_1, ω_2 — безразмерные проекции соответственно 1-го и 2-го участков полоски крыла НСЖК на ось OX (Недоступ, 2008).

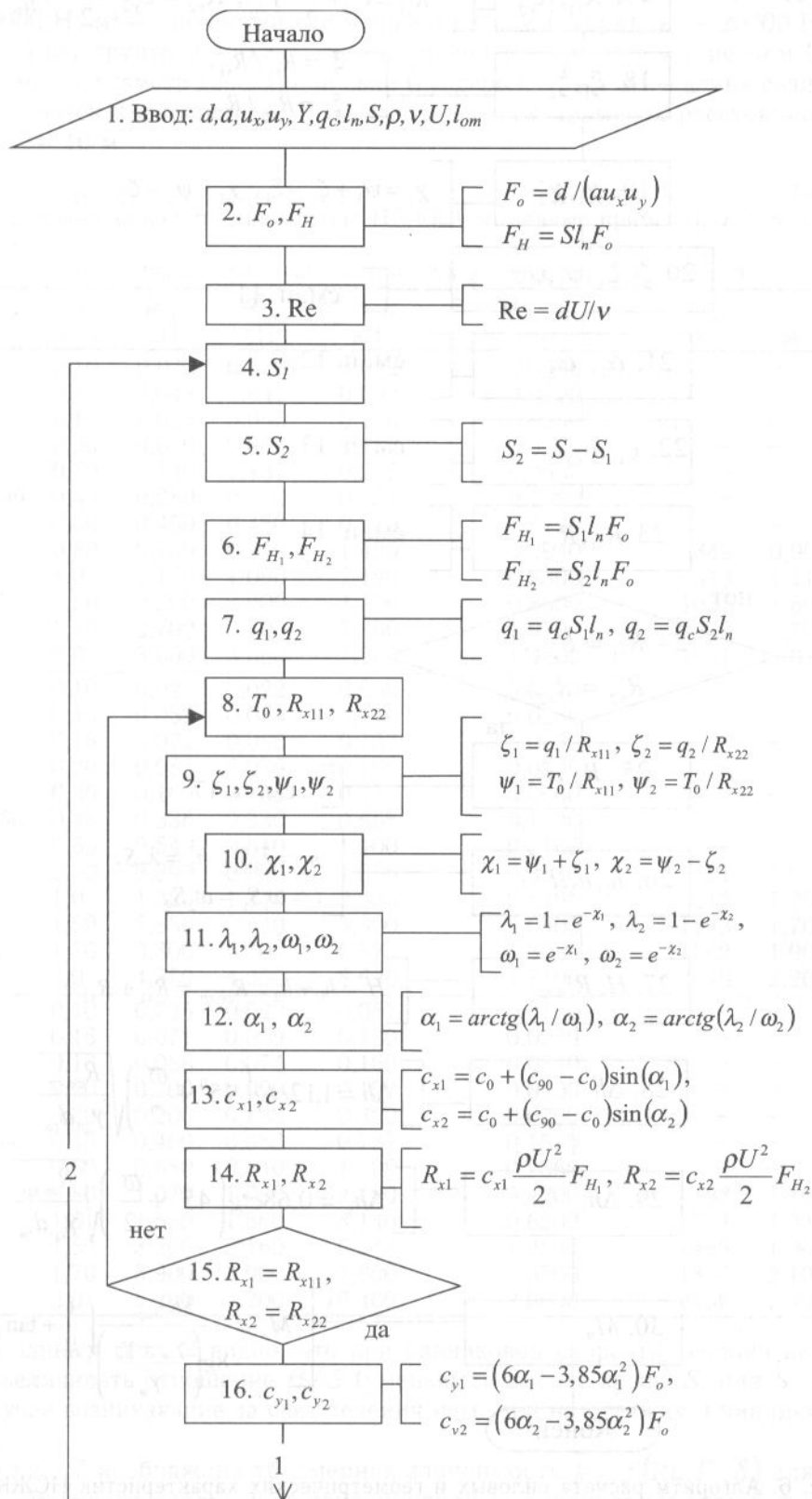


Рис. 6

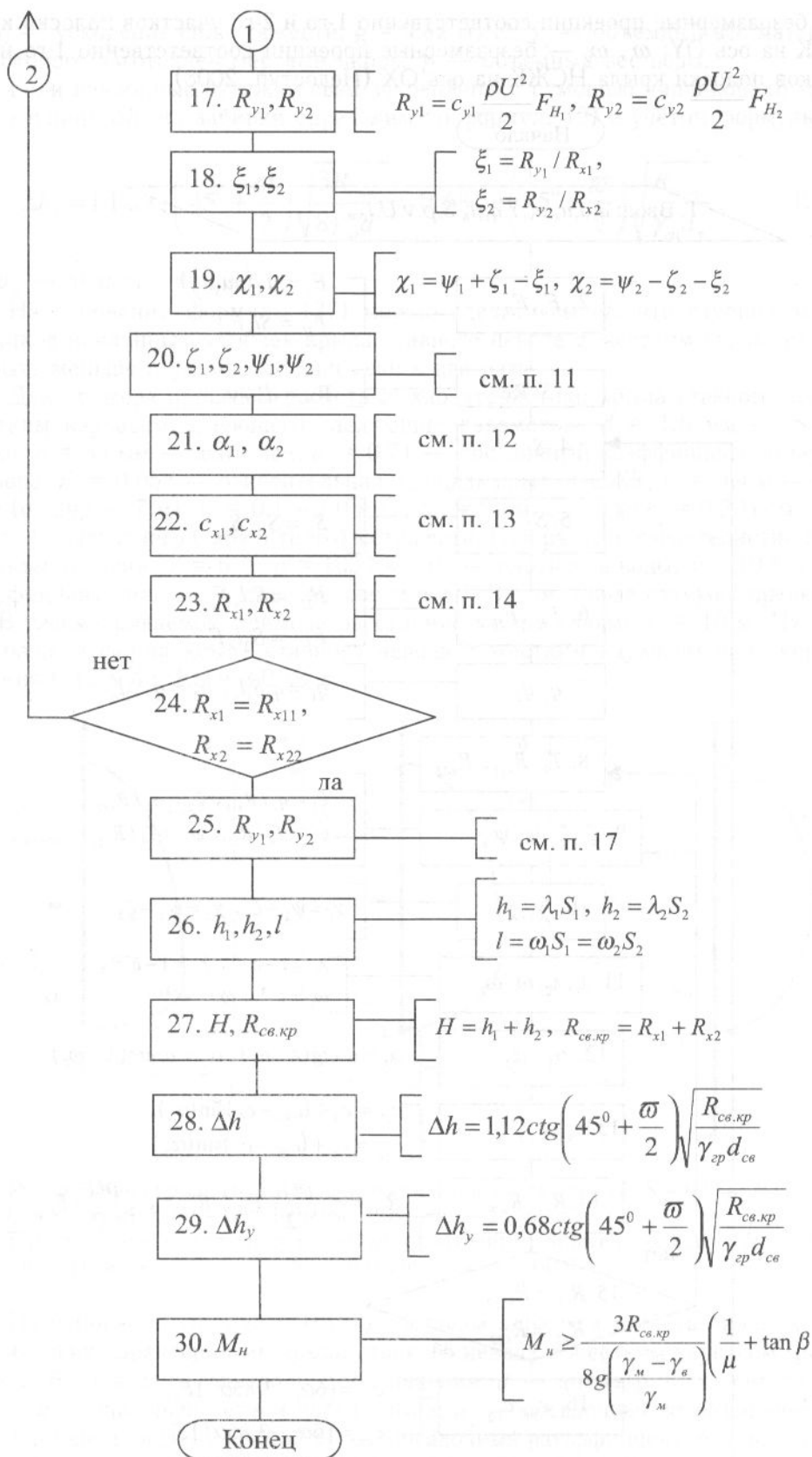


Рис. 6. Алгоритм расчета силовых и геометрических характеристик НСЖК
 Fig. 6. Algorithm of computing force and geometrical characteristics for a set-net

В табл. 2 приведены силовые характеристики крыла НСЖК для $H/S = (0,60 \div 0,99)$, при условии, что $d = 1,6$ мм; $a = 55$ мм; $u_x = 0,71$; $F_o = 0,058$; $U = 0,045 \div 2,0$ м/с; $l_{om} = 20$ м; $q_c = 0,2$ Н/м²; $\rho = 1034$ кг/м³; $\nu = 10^{-6}$ м²/с; $\gamma_m = 25000$ Н/м³ — объемный вес мешка с песком (якоря); $\gamma_{sp} = 20000$ Н/м³ — объемный вес грунта; $f = 0,3$ — коэффициент трения мешка с песком (якоря); $d_{cs} = 50$ мм — диаметр деревянной сваи (гундеры); $l_{cs} = 7$ м — длина сваи. Весом в воде оттяжек пренебрегаем. В рассматриваемых примерах расстояние между сваями $l_n = 10$ м.

Таблица 2
Силовые характеристики крыла НСЖК (см. данные примера), $Y = 6$ м

Table 2

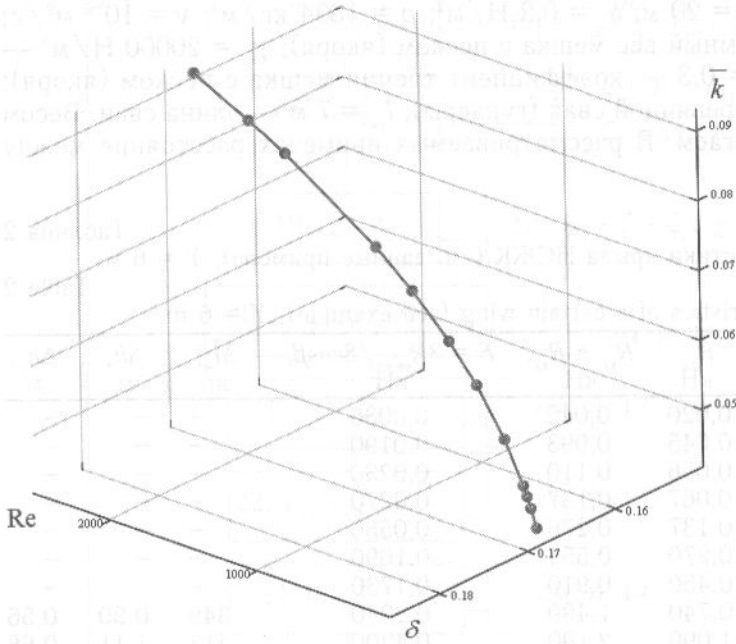
Force characteristics of a certain wing (see example), $Y = 6$ m

S , м	H/S	U , м/с	R_{x1} , кН	R_{x2} , кН	$R_{x1} + R_{x2}$, кН	$F = 3R_{cs, sq} / 8\cos\beta$, кН	M_n , кг	Δh , м	Δh_y , м
6,07	0,99	0,10	0,022	0,020	0,042	0,0086	—	—	—
		0,16	0,048	0,045	0,093	0,0190	—	—	—
		0,18	0,058	0,056	0,110	0,0230	—	—	—
		0,20	0,070	0,067	0,137	0,0270	—	—	—
		0,30	0,140	0,137	0,276	0,0550	—	—	—
		0,45	0,280	0,270	0,554	0,1090	—	—	—
		0,60	0,450	0,450	0,910	0,1730	—	—	—
		0,80	0,750	0,740	1,490	0,2940	349	0,90	0,56
		1,0	1,100	1,090	2,190	0,4300	513	1,11	0,68
		1,50	2,200	2,200	4,790	0,8600	1031	1,60	0,96
1,70	2,700	2,700	5,450	1,0700	1279	1,70	1,07		
2,0	3,600	3,600	7,200	1,4200	1691	2,0	1,20		
7,45	0,80	0,10	0,028	0,022	0,050	0,0110	—	—	—
		0,16	0,059	0,053	0,110	0,0230	—	—	—
		0,18	0,072	0,066	0,137	0,0280	—	—	—
		0,20	0,085	0,079	0,165	0,0330	—	—	—
		0,30	0,169	0,163	0,330	0,0660	—	—	—
		0,45	0,336	0,330	0,665	0,1320	—	—	—
		0,60	0,549	0,540	1,100	0,2160	—	—	—
		0,80	0,899	0,890	1,800	0,3530	421	1,0	0,60
		1,0	1,320	1,310	2,630	0,5190	618	1,20	0,70
		1,50	2,650	2,640	5,300	1,0400	1243	1,70	1,0
1,70	3,300	3,300	6,570	1,3000	1542	1,90	1,20		
2,0	4,350	4,350	8,690	1,7100	2040	2,20	1,35		
9,96	0,60	0,10	0,035	0,022	0,057	0,0130	—	—	—
		0,16	0,071	0,059	0,130	0,0280	—	—	—
		0,18	0,086	0,074	0,160	0,0330	—	—	—
		0,20	0,100	0,090	0,192	0,0400	—	—	—
		0,30	0,200	0,188	0,390	0,0790	—	—	—
		0,45	0,400	0,380	0,783	0,1560	—	—	—
		0,60	0,650	0,640	1,290	0,2560	—	—	—
		0,80	1,070	1,060	2,120	0,4200	498	1,10	0,70
		1,0	1,580	1,560	3,140	0,6200	734	1,33	0,80
		1,50	3,200	3,160	6,340	1,2500	1488	1,90	1,10
1,70	3,900	3,900	7,800	1,5500	1850	2,10	1,30		
2,0	5,200	5,200	10,400	2,0600	2456	2,40	1,50		

Из данных табл. 2 видно, что при одинаковой скорости течения целесообразно увеличивать отношение H/S (уменьшать высоту крыла S , или $S \rightarrow H$), в этом случае возникающие за счет течения нагрузки на оттяжку и чипчики минимальны.

На рис. 7 изображена трехмерная зависимость $\bar{k} = f(\text{Re}, F_o, \delta)$ для крыла НСЖК, имеющего следующие конструктивные характеристики: $d = 1,6$ мм; $a = 55$ мм; $u_x = 0,71$; $F_o = 0,058$; $U = 0,2 \div 2,3$ м/с; $l_{om} = 20$ м; $Y = 6$ м; $H/S = 0,8$;

$Re = 123 + 2462; S = 7,45 \text{ м}; q_c = 0,2 \text{ Н/м}^2; \rho = 1034 \text{ кг/м}^3; \nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и $l_n = 10 \text{ м}$.



На рис. 7 видно, что среднее взвешенное значение гидродинамического качества крыла НС \bar{k} увеличивается и достигает максимума при максимальном значении числа Re .

Рис. 7. Трехмерная зависимость $k = f(Re, F_o = 0,058, \delta)$
Fig. 7. Three-dimensional dependence $k = f(Re, F_o = 0,058, \delta)$

Приведем графики зависимостей $R_{св.кр} = f(U), F = f(U), M_n = f(U), \Delta h = f(U), \Delta h_y = i(U), h_2 = i(U)$ и $l = f(U)$ для вышеуказанного примера (рис. 8–11).

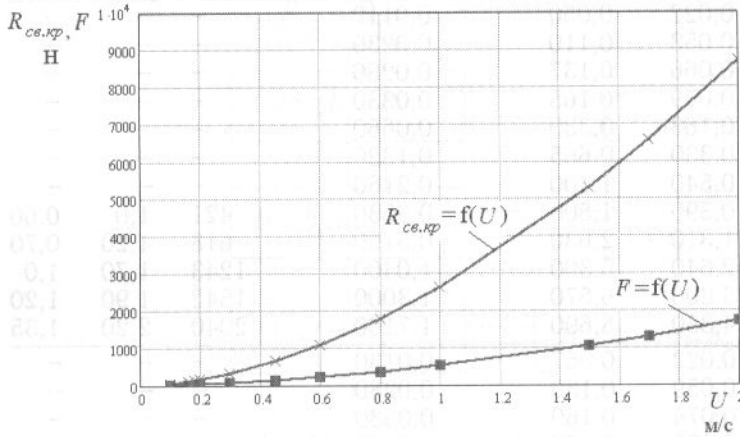


Рис. 8. График зависимости $R_{св.кр} = f(U)$ и $F = i(U)$
Fig. 8. Diagram of the dependences $R_{св.кр} = f(U)$ and $F = i(U)$

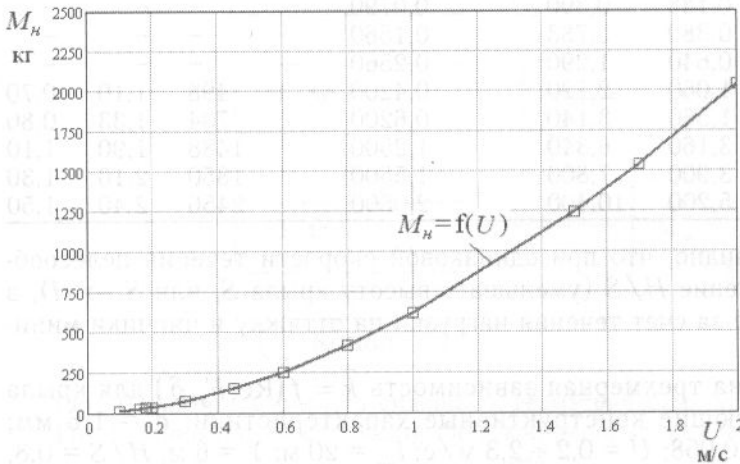


Рис. 9. График зависимости $M_n = f(U)$
Fig. 9. Diagram of the dependence $M_n = f(U)$

Рис. 10. График зависимости $\Delta h = f(U)$ и $\Delta h_y = f(U)$

Fig. 10. Diagram of the dependences $\Delta h = f(U)$ and $\Delta h_y = f(U)$

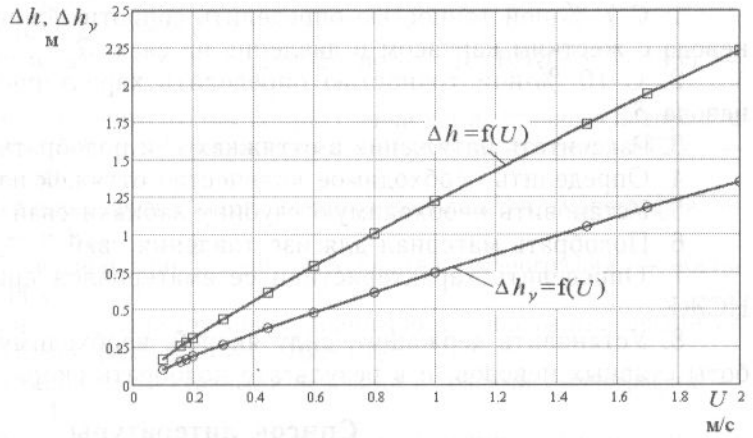
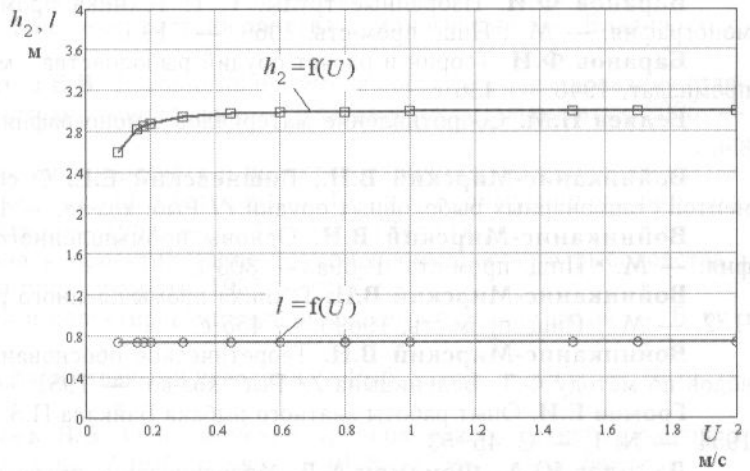


Рис. 11. График зависимости $h_2 = f(U)$ и $l = f(U)$

Fig. 11. Diagram of the dependences $h_2 = f(U)$ and $l = f(U)$



Зависимости, изображенные на рис. 8, характеризуют изменение силы сопротивления пролета крыла ставного невода и натяжения в оттяжке в зависимости от скорости течения U .

На основании зависимости, изображенной на рис. 9, при максимальной скорости течения (для выбранного района промысла) можно подобрать массу мертвых якорей для крыла ставного невода.

На основании зависимостей, изображенных на рис. 10, при максимальной скорости течения (для выбранного района промысла) можно определить глубину забивки чипчиков крыла ставного невода.

Зависимости, изображенные на рис. 11, характеризуют изменение горизонтальной проекции 1-го и 2-го участков полоски крыла невода l и вертикальной проекции 2-го участка полоски крыла невода h_2 в зависимости от скорости течения U . Видно, что l не зависит от U , а h_2 увеличивается и стремится к предельному значению $h_2 \rightarrow H/2$ (см. рис. 5, с).

Заключение

Приведенный метод расчета геометрических и силовых характеристик крыла ставного невода с жестким каркасом и его элементов (свай, мертвых якорей и чипчиков) основан на использовании конечных зависимостей (17), связывающих геометрические и силовые характеристики крыла НСЖК (в диапазоне характеристик $10 \leq Re$; $0,004 \leq F_0 \leq 0,165$; $0,10 \leq h_1/S_1 \leq 0,98$; $0,05 \leq l_1/S_1 \leq 0,85$; $0,10 \leq h_2/S_2 \leq 0,98$; $0,05 \leq l_2/S_2 \leq 0,85$; $0,2 \leq \chi_1 \leq 3,5$; $0,2 \leq \chi_2 \leq 3,5$). Данный метод расчета позволяет:

1. С 7 %-ной точностью определить сопротивление стенки крыла ставного невода с жестким каркасом и давление на сваю $R_{св.кр}$.
2. С 10 %-ной точностью определить характеристику выдувания стенки невода δ .
3. Рассчитать натяжение в оттяжках F и подобрать их диаметр и материал.
4. Определить необходимое количество оттяжек на крыло НСЖК.
5. Установить необходимую глубину забивки свай и чипчиков.
6. Подобрать материал для изготовления свай.
7. Определить характеристики сетематериалов крыла и других элементов НСЖК.
8. Установить держащую силу якорей, необходимую для безаварийной работы ставных неводов, и в результате подобрать якоря.

Список литературы

- Баранов Ф.И.** Избранные труды. Т. 1: Техника промышленного рыболовства : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1969. — 719 с.
- Баранов Ф.И.** Теория и расчет орудий рыболовства : монография. — М. : Пищепромиздат, 1948. — 436 с.
- Беляев Н.М.** Сопротивление материалов : монография. — М. : Наука, 1965. — 856 с.
- Войниканис-Мирский В.Н., Вишневский Е.Е.** О сопротивлении сетных элементов стационарных рыболовных орудий // Рыб. хоз-во. — 1971. — № 8. — С. 47–50.
- Войниканис-Мирский В.Н.** Основы промышленного рыболовства : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1969а. — 303 с.
- Войниканис-Мирский В.Н.** Техника промышленного рыболовства : монография. Ч. 2. — М. : Пищ. пром-сть, 1969б. — 455 с.
- Войниканис-Мирский В.Н.** Теоретическое обоснование установки ставных неводов по методу Ф.Т. Беленицына // Рыб. хоз-во. — 1951. — № 3. — С. 39–41.
- Громов Е.И.** Опыт работы знатного рыбака Байкала П.З. Цыбана // Рыб. хоз-во. — 1954. — № 1. — С. 45–53.
- Данилов Ю.А., Фридман А.Л.** Моделирование процесса самозатопления подвешенного невода // Сб. тр. КТИРПиХ. — 1981. — Вып. 95. — С. 50–56.
- Дверник А.В., Шеховцев Л.Н.** Устройство орудий рыболовства : монография. — М. : Колос, 2007. — 273 с.
- Ионас В.А.** Определение оптимального коэффициента запаса на выдувание // Рыб. хоз-во. — 1959. — № 2. — С. 46–49.
- Калиновский В.С.** Штормоустойчивые ставные невода. Постройка, установка, эксплуатация : монография. — Владивосток, 1955. — 136 с.
- Литвиненко А.И.** Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России. Справочник. Т. 2: Орудия промышленного рыболовства Сибири и Урала. — Тюмень : ГОСРЫБЦЕНТР, 2003а. — 186 с.
- Литвиненко А.И.** Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России. Справочник. Т. 3: Орудия промышленного рыболовства южных районов Европейской части России. — Тюмень : ГОСРЫБЦЕНТР, 2003б. — 248 с.
- Литвиненко А.И.** Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России. Справочник. Т. 4: Орудия промышленного рыболовства центрального, северного и северо-западного районов Европейской части России. — Тюмень : ГОСРЫБЦЕНТР, 2004. — 242 с.
- Лукашов В.Н.** Устройство и эксплуатация орудий промышленного рыболовства : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1972. — 368 с.
- Недоступ А.А.** Метод расчета силовых и геометрических характеристик крыла ставного подвешенного невода // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 156. — С. 282–299.
- Недоступ А.А.** Метод расчета силовых и геометрических характеристик ставных сетей. Физическое и математическое моделирование ставных сетей // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 154. — С. 295–323.
- Покровский А.Н.** О креплении крыла ставного невода вертикальными оттяжками из стального каната // Техника промышленного рыболовства и сетеснастное хозяйство. — 1954. — Т. 41. — С. 159–161.

Пономарев Ф.А. Опыт работы ставными неводами команды сейнера "Пескарь" // Рыб. хоз-во. — 1954. — № 10. — С. 4–7.

Попов Б.А. О подъемной силе сети, помещенной в поток : Тр. ВНИРО. — 1955. — Т. 30. — 45 с.

Розенштейн М.М. К определению формы сетной стенки крыла ставного подвесного невода при самозатоплении // Сб. тр. кафедры промышленного рыболовства КГТУ. — Калининград, 2005. — С. 74–80.

Розенштейн М.М. Механика орудий промышленного рыболовства : монография. — Калининград : КГТУ, 2000. — 364 с.

Розенштейн М.М. Проектирование орудий рыболовства : монография. — Калининград : КГТУ, 2003. — 311 с.

Сергеев Ю.С. Краткий очерк конструкций стационарных рыболовных орудий // Сб. тр. АтлантНИРО. — 1971. — Вып. 50. — С. 168–195.

Сергеев Ю.С. Основы теории лова ставными неводами и тралами : монография. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 142 с.

Телятник О.В. История промысла лосося ставными неводами // Промышленное рыболовство : сб. науч. тр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2006. — С. 145–151.

Телятник О.В. История техники рыболовства : монография. — Владивосток, 2007. — 127 с.

Телятник О.В., Осипов Е.В. Технология промысла лосося и проектирование ставных неводов на Дальнем Востоке : монография. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2005. — 121 с.

Трещев А.И. Вопросы теории расчета и проектирования орудий прибрежного рыболовства (к методике расчета ставных неводов) // Техника промышленного рыболовства и сетеснастное хозяйство. — 1954. — Т. 41. — С. 134–147.

Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства : монография. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. — 327 с.

Халилзв В.М. Теория и проектирование ставных неводов : монография. — Баку : Letterpress, 2007. — 152 с.

Шапунов Е.Е. Лов кефали ставными неводами // Рыб. хоз-во. — 1954. — № 11. — С. 44–48.

Ярвик А.Р., Муравьев В.Б. О применении крупноячейного сетного полотна в крыле ставного салачного невода // Рыб. хоз-во. — 1978. — № 5. — С. 54–56.

Поступила в редакцию 1.09.09 г.