
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 639.2.081.16

Е.В. Осипов

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

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДОННОГО ЯРУСА ПРИ ПОСТАНОВКЕ

Предложена методика расчета характеристик донного яруса при постановке, позволяющая находить начальные значения его параметров во время застоя. При расчете учитывается скорость движения судна и скорость выметки яруса. Получено новое решение задачи равновесия поводца с учетом его заглубления. Результаты численного моделирования согласуются с данными экспериментов, проведенных в промысловых условиях, приведенных в работе [6]. Показано влияние на процесс постановки параметров яруса, скорости установки и глубины, на которую устанавливается ярус. В частности, показано увеличение, с глубиной и скоростью установки, натяжения хребтины яруса в нижней его точке (соприкосновения хребтины с грунтом).

Ключевые слова: постановка яруса, расчет орудия рыболовства.

E.V. Osipov

METHOD OF CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF BOTTOM LONGLINE AT STATEMENT

The paper proposed a method for calculating the characteristics of bottom tier at statement that allows finding the initial values of its properties during stagnation. Taken into account when calculating the speed of the ship and the speed statement tier. Obtain a new solution of the equilibrium snoods, given its penetration. The results of numerical simulations are consistent with experimental data carried out in field conditions is given in [6]. Shows the effect on the process of setting parameters tiers, speed of installation and the depth that the story is set. In particular, we show an increase with depth and speed of installation, the tension in the lower tier of mainline him at (mainline contact with the ground).

Keywords: setting longline, the calculation of fishing gear.

Введение

Задача постановки яруса совпадает с задачей Аппеля [1], где с цилиндра, ось которого движется поступательно с постоянной скоростью v (скорость судна), сматывается с той же скоростью $v_n = v$ и укладывается на горизонтальную плоскость однородная и нерастяжимая нить. В работах [2, 3], посвященных задачи прокладки кабеля, используется подход, когда кабель делится на участки и находится последовательно условие равновесия каждого такого участка. В отличие от этих решений ярус является неоднородным и может сматываться с $v_n \geq v$, однако общий подход описания физики процессов совпадает. Ярус участвует в составном движении, где в переносном движении он набегаёт на среду со скоростью v , которая направлена горизонтально, а v_n представляет собой обычную силу трения при нулевом угле атаки нити [1]. В этом случае модель гибкой нити для задачи постановки яруса совпадает с моделью кольцевого яруса, изложенной в работе [4], но при других граничных условиях.

Результаты и их обсуждение

Постановку яруса можно разбить на следующие задачи:

- первая задача – первоначальный концевой якорь достигает грунта, этот процесс возникает при начале постановки яруса;
- вторая задача – часть хребтины или концевого буйрепа уже лежит на грунте и происходит ее выметка, является самым длительным процессом при постановке яруса;
- третья задача – конечный концевой якорь достигает грунта, этот процесс завершает постановку яруса.

Рассмотрим случай, когда часть хребтины или концевого буйрепа уже лежит на грунте и происходит ее выметка (вторая задача), тогда граничными условиями на участке *AB* (рис. 1) будут следующие: в точке *B* угол $\alpha_B \approx -\pi$, в точке *A* задаем $T_A = [-1 : -Q]$, углом α_A – варьируем, для существующих типов постановки донного яруса $v_n = v$, глубиной постановки *h* задаем, а длина яруса l_{ll} рассчитывается, уравнения гибкой нити [4] при этих условиях приобретают вид:

$$\begin{aligned}
 T^5 &= q_z \sin a \cos \varphi - r_{xu} \cos a + r_{zu} \sin a + r_{xn}; \\
 \alpha^5 &= (q_z \cos a \cos \varphi + r_{xu} \sin a + r_{zu} \cos a) / T; \\
 \varphi^5 &= (q_z \sin \varphi + r_{yu}) / (T \sin a); \quad r_{xn} = C_{xn}(0^\circ) \frac{\rho v_n^2}{2} d,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где v_n – скорость нити (скорость сматывания); r_{xn} – сопротивление движения нити, приходящееся на единицу ее длины.

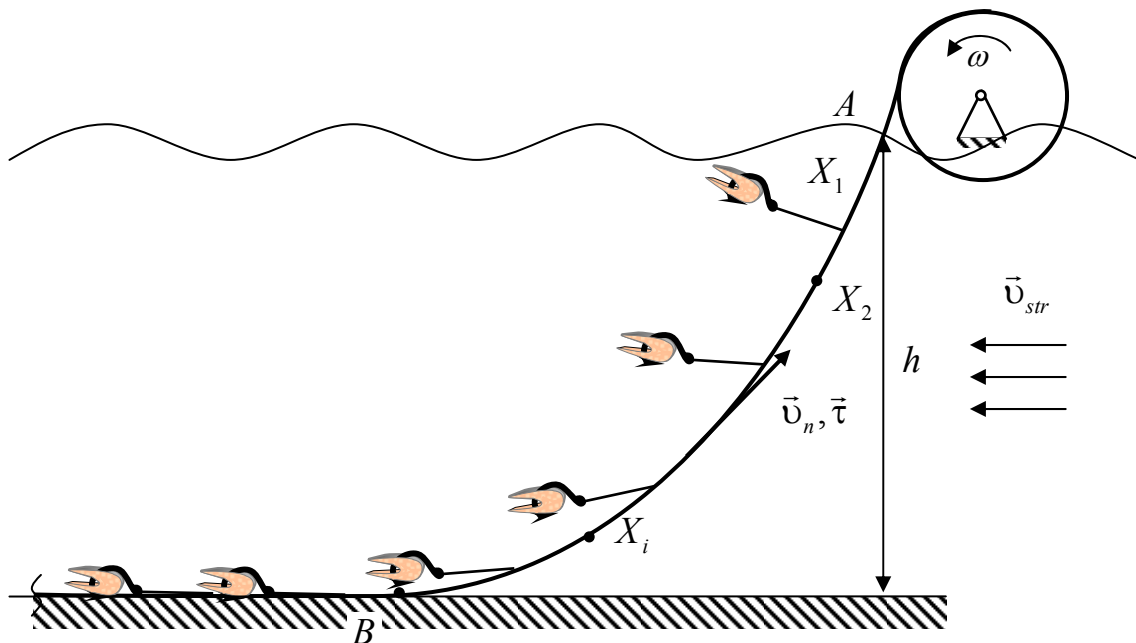


Рис. 1. Расчетная схема постановки яруса
 Fig. 1. Calculation scheme of the longline

В нашем случае, как и для расчета кольцевого яруса, характеристики системы *поводец – наживка* необходимо производить для каждого соединения с хребтиной, поскольку

на эту систему влияет v_n , направленная параллельно вектору $\vec{\tau}$ (см. рис. 1). Тогда расчет сил, действующих на наживку, найдем по формулам:

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \varphi_0^{str} &= \frac{-R_y^{str}}{R_z^{str} + Q_z}; \quad \operatorname{tg} \alpha_0^{str} = \frac{-R_z^{str} + Q_z}{R_x^{str} \cos \varphi_0}; \\
 (T_0^{str})^2 &= (R_x^{str})^2 + (R_y^{str})^2 + (R_z^{str} + Q_z)^2; \\
 \operatorname{tg} \varphi_0 &= \frac{T_0^{str} \sin \alpha_0^{str} \sin \varphi_0^{str} + R_x^n \sin \alpha_i^\tau \sin \varphi^\tau}{T_0^{str} \sin \alpha_0^{str} \cos \varphi_0^{str} + R_x^n \sin \alpha^\tau \cos \varphi^\tau}; \\
 \operatorname{tg} \alpha_0 &= \frac{T_0^{str} \sin \alpha_0^{str} \cos \varphi_0^{str} + R_x^n \sin \alpha^\tau \cos \varphi^\tau}{(T_0^{str} \cos \alpha_0^{str} + R_x^n \cos \alpha^\tau) \cos \varphi_0}; \quad T_0 = \frac{T_0^{str} \cos \alpha_0^{str} + R_x^n \cos \alpha^\tau}{\cos \alpha_0}; \\
 Q_z &= k_w M g; \quad R_x^n = C_x (0^0) \frac{\rho v_n^2}{2} S; \quad R_x = C_x \frac{\rho v_{str}^2}{2} S, \quad (x, y, z),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где Q – вес в воде; M – масса; R_x^{str} , R_y^{str} , R_z^{str} – проекции гидродинамической силы по \vec{v}_{str} на оси x , y , z земной системы координат ($z \downarrow \downarrow g$); R_x^n – проекции гидродинамической силы наживки по \vec{v}_n , который в первом приближении совпадает с вектором $\vec{\tau}$ хребтины в точке соединения с поводком или непосредственно с наживкой, а α^τ , φ^τ – угол атаки крена и крена плоскости потока хребтины; k_w – коэффициент веса в воде; C_x, C_y, C_z – коэффициенты гидродинамических сил; S – характерная площадь объекта; (x, y, z) – символ круговой перестановки индексов; T_0 – натяжение в точке соединения с другим объектом; α_0 , φ_0 – угол атаки и крена плоскости потока объекта; v_n^0 – начальная скорость движения хребтины; t – время изменения скорости движения хребтины.

При расчете характеристик яруса при постановке расчетом поводков можно пренебречь, поскольку они имеют диаметр до 2 мм и длину до 300 мм, вследствие чего их гидродинамическое сопротивление на порядок меньше сопротивления наживки, поэтому

$$T_0^{нов} \approx T_0^{наж}; \quad \alpha_0^{нов} \approx \alpha_0^{наж}; \quad \varphi_0^{нов} \approx \varphi_0^{наж}. \tag{3}$$

Расчет граничных условий в месте соединения поводка с хребтиной найдем по формулам [5]:

$$\operatorname{tg} \varphi_1^0 = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \sin \alpha_i \sin \varphi_i}{\sum_{i=1}^n T_i \sin \alpha_i \cos \varphi_i}; \quad \operatorname{tg} \alpha_1^0 = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \sin \alpha_i \cos \varphi_i}{\cos \varphi_1^0 \sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i}; \quad T_1^0 \cos \alpha_1^0 = \sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i, \tag{4}$$

где i -й входной канат; n – количество входных канатов.

Алгоритм расчета. В систему вводятся характеристики яруса, глубина h , скорость судна v и выметки хребтины v_n , затем:

1. Задаемся α , T .
2. Рассчитываем характеристики хребтины по уравнениям (1) из точки A до точки X_1 .

3. Находим характеристики наживки по формулам (2).
4. Определяем параметры поводца из условия (3).
5. Рассчитываем по (4) T_0 , α_0 , φ_0 в узловом соединении X_1 .
6. Рассчитываем характеристики хребтины по уравнениям (1) из точки X_1 до точки X_2 .
7. Находим характеристики груза по формулам (2).
8. Рассчитываем по формулам (4) T_0 , α_0 , φ_0 в узловом соединении X_2 .
9. Рассчитываем характеристики хребтины (пункт 2-8) пока значение $z \geq h$.

Для проверки адекватности разработанной модели была создана программа численного моделирования постановки яруса (рис. 2), в качестве экспериментальных данных использовались данные исследований, приведенные в работе [6], результаты сведены в таблицу.

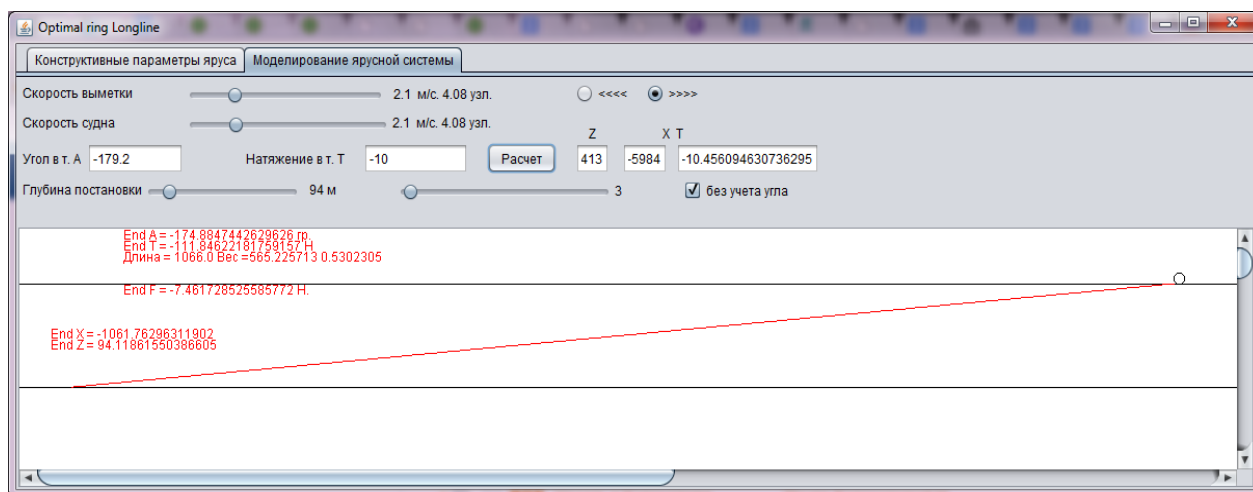


Рис. 2. Программа численного моделирования постановки яруса
 Fig. 2. The program is the numerical modeling of the longline

Сравнительные данные численного моделирования и экспериментальных данных, приведенных в работе [6]
Comparative data of numerical modeling and experimental data presented in [6]

Характеристика	Хребтина без загрузки		Хребтина с загрузкой	
	Эксперимент	Числ. модел.	Эксперимент	Числ. модел.
Диаметр хребтины, мм	9,0		9,5	
Коэффициент веса материала хребтины в воде	0,2		0,11	
Распределенный груз, г/м	15		50	
Скорость судна, уз	6,3		5,2	
Расстояние от борта судна участка хребтины, находящегося на поверхности, м	Эксперимент	Числ. модел.	Эксперимент	Числ. модел.
	8,1 ± 1	7,9	6,1 ± 1	5,9
Расстояние от борта судна участка хребтины, находящегося на глубине 1 м, м	57,0 ± 10	57,9	24,7 ± 6	19,9
Расстояние от борта судна участка хребтины, находящегося на глубине 2 м, м	87,7 ± 19	105,9	32,7 ± 6	35,9

Выводы

В работе приведена методика расчета постановки донного яруса, которая позволяет находить его параметры:

1) время погружения хребтины яруса, результаты, приведенные в таблице, позволяют сделать вывод, что модель достаточно точно описывает погружение хребтины яруса;

2) натяжение хребтины яруса в нижней точке (соприкосновения хребтины с грунтом) позволяет определять начальные значения ($T_i, \alpha_i, \varphi_i, x_i, y_i, z_i$, где i – элемент яруса), в ходе численного моделирования это натяжение возрастает с глубиной и скоростью установки яруса, а также зависит от характеристик яруса.

Необходимо отметить, что во всех работах по расчету донных и придонных ярусов [8-10] начальными значениями ($T_i, \alpha_i, \varphi_i, x_i, y_i, z_i$) задаются, что некорректно в случаях, когда расстояние между грузовыми линиями выбирается произвольно.

Таким образом, полученная методика расчета характеристик донного яруса при постановке позволяет решать задачи проектирования новых конструкций ярусов.

Список литературы

1. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. – М.: Наука, 1960. – 240 с.
2. Prpić-Oršić Jasna, Nabergoj Radoslav. Nonlinear dynamics of an elastic cable during laying operations in rough sea Applied Ocean Research. – Vol. 27. – Issue 6. – P. 255-264. December 2005.
3. Yuanhui Wang, Xinqian Bian, Xiaoyun Zhang and Wenbo Xie. A study on the influence of cable tension on the movement of cable laying ship // OCEANS 2010. IEEE 10.1109/OCEANS.2010.5664404.
4. Осипов Е.В. Методика расчета кольцевого яруса // Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. – № 20. – С. 111-116.
5. Осипов Е.В. Объектно-ориентированные методы расчета орудий рыболовства. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2009. – 89 с.
6. Артюхин Ю.Б., Винников А.В., Терентьев Д.А. Морские птицы и донное ярусное рыболовство в Камчатском регионе. – М.: WWF, 2006. – 56 с.
7. Габрюк В.И., Габрюк А.В., Осипов Е.В. Моделирование крючковых рыболовных систем / 2-е изд., испр. и доп. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. – 120 с.
8. Габрюк В.И., Кокорин Н.В., Осипов Е.В., Чернецов В.В. Механика орудий рыболовства. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2006. – 304 с.
9. Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. Основы моделирования рыболовных систем. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – 560 с.
10. Габрюк В.И. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – 519 с.

Сведения об авторе: Осипов Евгений Валериевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: oev@mail.ru.

УДК 639.2.081.117

А.А. Недоступ, А.О. РажевКалининградский государственный технический университет,
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЛАВНОЙ СЕТИ**

Приводится методика расчета плавной сети с прямолинейными верхней и нижней подборами, находящимися перпендикулярно потоку воды.

Ключевые слова: плавная сеть, уравнения, динамика.

A.A. Nedostup, A.O. Razhev**MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC PROCESSES DRIFTING NET**

The article provides a method of calculating a drifting net with headline and leadline, located perpendicular to the flow of water.

Keywords: drifting net, equations, dynamic.

Введение

Плавная сеть представляет собой объецаивающее орудие внутреннего и прибрежного рыболовства. Различают три способа эксплуатации сетей: плав по поверхности, плав «в полводы», или разноглубинный, и плав донный [1-5]. Конструкция плавной сети состоит из сетной оболочки, посадочных нитей, верхней, нижней и боковых подбор, оснастки верхней подборы (плава), оснастки нижней подборы (загрузки), угловых огонов сети, оттяжек, поводцов и вешек (рис. 1).

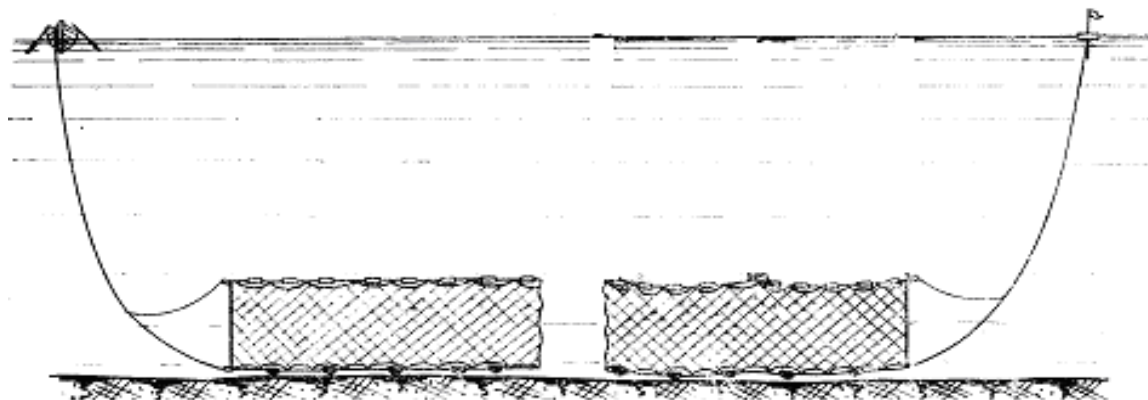


Рис. 1. Донная плавная сеть
Fig. 1. Drifting net

В процессе раскрытия и сплава сети рассчитываются соответствующие гидродинамические и гидростатические силы, действующие на различные элементы, определяется скорость различных элементов и их перемещение. Необходимо рассчитать параметры сети так, чтобы при различных скоростях течения ее форма в плане удовлетворяла условиям промысла, т.е. имела уловистость.

В данной статье предлагается математическая модель плавной одностенной сети, позволяющая по заданной конструкции и параметрам материала сети и внешней среды определить ее силовые и пространственно-временные характеристики.

Объекты и методы исследований

Рассмотрим метод моделирования поведения плавной сети с прямолинейными верхней и нижней подборками, находящейся в потоке воды с изменяющейся во времени скоростью течения. На верхней подборке сети расположены плавы, нижняя подборка подгружена. Сетная оболочка прикреплена поводцами за угловые огоны верхней и нижней подборки к оттяжкам вешек. Каждая оттяжка прикреплена к вешке. Рассмотрим участок сети между двумя вешками.

Пусть поток воды направлен параллельно поверхности воды, перпендикулярно горизонтальным подборкам. При таких условиях расчет можно проводить в плоскости, перпендикулярной подборкам ОХУ, т.е. в двумерном пространстве. В плоскости ОХУ сетная оболочка представляет собой кривую. Разобьем кривую на несколько участков и заменим каждый участок отрезком прямой линии (рис. 2). Чем больше разбиений, тем точнее будет математическая модель. Поводцы и оттяжку вешки представим в виде дополнительных участков. Добавим узел в соединении оттяжки и поводцов и узел на месте крепления оттяжки к вешке. В результате получим ненаправленный односвязный граф, состоящий из множества вершин N , являющихся точками соединения отрезков (участков сети), и множества ребер, замещающих отрезки.

Сосредоточим массы и веса всех участков сети в узлах графа. Составим дифференциальные уравнения движения и определим начальные условия для каждого узла $i \in N$ [6]:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{v}_i}{dt} = \bar{w}_i, & \bar{v}_i(0) = \bar{0} \\ \frac{d\bar{r}_i}{dt} = \bar{v}_i, & \bar{r}_i(0) = \bar{r}_i^0 \end{cases}, \quad (1)$$

где v_i – скорость узла i ; w_i – ускорение узла i ; r_i – координаты узла i ; r_i^0 – начальные координаты узла i ; t – время процесса моделирования.

Ускорение для каждого узла определяется из уравнения

$$m_i \bar{w}_i = \sum_{j \in N_i} \left((\bar{r}_j - \bar{r}_i) \frac{T_{ij}}{|\bar{r}_j - \bar{r}_i|} - \frac{\bar{R}_{ij} + (0, G_{ij})}{2} \right) + \bar{F}_i, \quad (2)$$

где m_i – сосредоточенная масса в узле i с учетом присоединенной массы; w_i – узловое ускорение в точке i ; R_{ij} – сила гидродинамического сопротивления, действующая на участок сети между узлами i и j ; G_{ij} – вес участка сети между узлами i и j ; r_i – координаты узла i ; r_j – координаты узла j ; T_{ij} – сумма сил натяжения всех ниток, пересекающих плоскость, проходящую между узлами i и j параллельно плоскости ОХЗ; F_i – дополнительная сила, зависящая от узла i ; N_i – множество всех узлов, смежных узлу i по ребру (i, j) .

При расчете ускорений необходимо учесть влияние присоединенной массы. Для упрощения вычислений будем считать присоединенную массу каждой нитки как для цилиндра диаметром, равным диаметру нитки. Присоединенная масса для цилиндра равна массе жидкости в его объеме [7, 8].

Суммарная сила натяжения на участке (i, j) определяется из уравнения

$$T_{ij} = \begin{cases} (|\bar{r}_j - \bar{r}_i| / L_{ij} - 1) E_{ij} A_{ij} & |\bar{r}_j - \bar{r}_i| > L_{ij} \\ 0 & |\bar{r}_j - \bar{r}_i| \leq L_{ij} \end{cases}, \quad (3)$$

где, A_{ij} – сумма площадей поперечного сечения всех ниток, оттяжек или поводцов на участке i, j плоскостью, проходящей между узлами i и j параллельно плоскости OXZ; L_{ij} – длина участка i, j при $T_{ij} = 0$ (без растяжения); E_{ij} – модуль упругости материала участка сети (для капрона принят $1,7 \cdot 10^9$ Па).

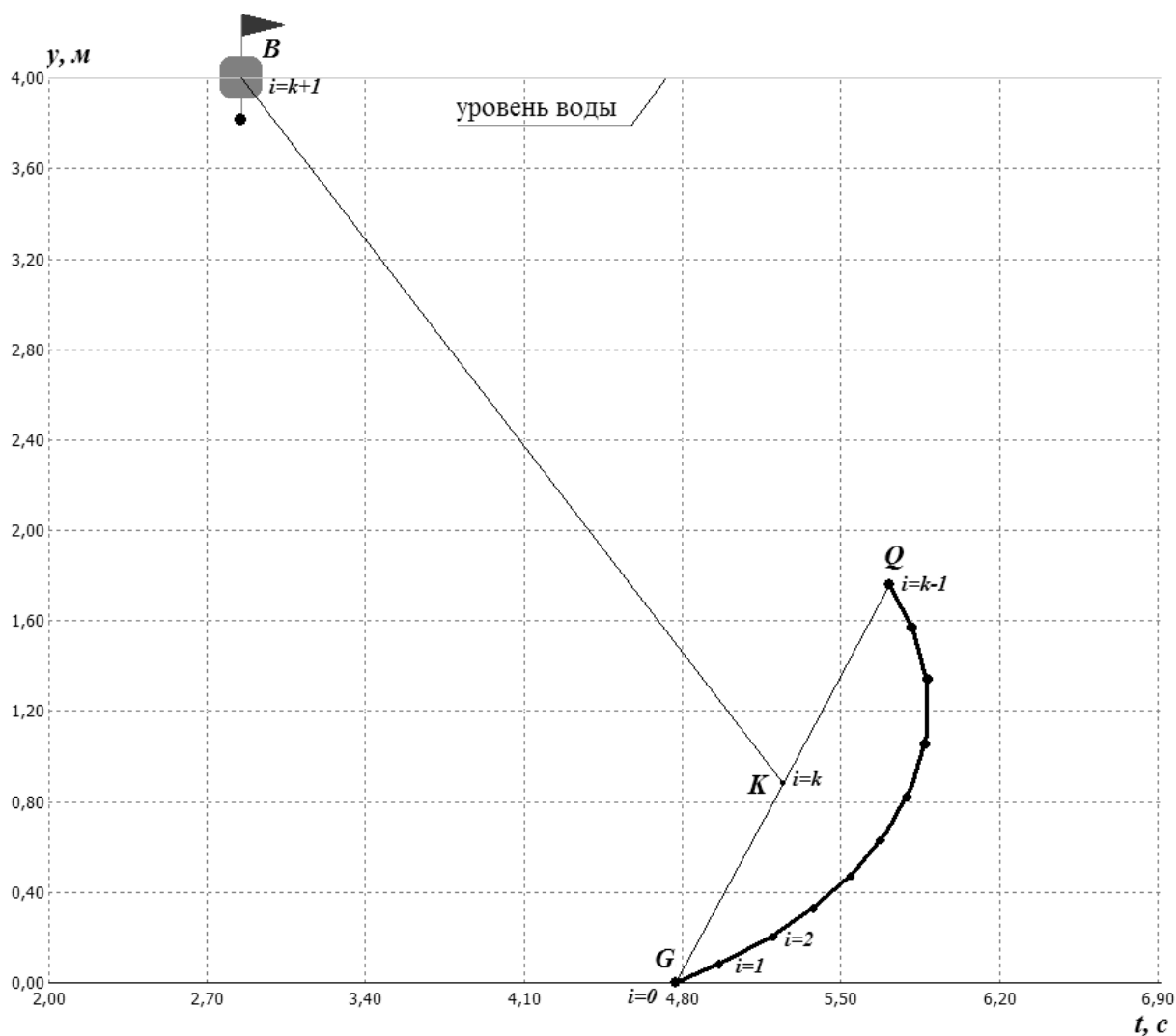


Рис. 2. Вид сети в плоскости OXY
 Fig. 2. View drifting net in plane OXY

Найдем для каждого узла m_i и F_i , а для каждого участка G_{ij} , R_{ij} и A_{ij} и подставим их в уравнения (2) и (3):

$$m_i = m_{0i} + \frac{1}{2} \sum_{j \in N_i} ((\rho_{ij} + \rho)V_{ij}), \tag{4}$$

$$G_{ij} = (\rho_{ij} - \rho)V_{ij}g, \tag{5}$$

где ρ_{ij} – усредненная плотность ниток участка i, j ; ρ – плотность воды; V_{ij} – объем ниток участка i, j ; m_{0i} – собственная масса (с учетом присоединенной) узла i без участков.

Для узлов $i = [1 \dots k - 2]$ и $i = k$: $F_i = 0$; $m_{0i} = 0$.

Для узла $i = 0$ (нижняя подбора, точка G):

$$\overline{F}_i = -\overline{(0, 2Gnau_x)} - \overline{e}_i R_G - \overline{(F_f, 0)},$$

$$m_{0i} = \frac{2nau_x G (\rho_G + \rho)}{(\rho_G - \rho)g}, \quad (6)$$

где G – погонный вес в воде нижней подборы; n – количество ячей по верхней подборе; u_x – посадочный коэффициент по верхней подборе; a – шаг ячее; R_G – сила гидродинамического сопротивления участка нижней подборы; e_i – единичный вектор, имеющий направление скорости перемещения узла i относительно потока воды; F_f – сила трения нижней подборы о дно водоема; ρ_G – усредненная плотность нижней подборы с загрузкой.

Для узла $i = k - 1$ (верхняя подбора, точка Q):

$$\overline{F}_i = \overline{(0, 2Qnau_x)} - \overline{e}_i R_Q, \quad (7)$$

$$m_{0i} = \frac{2nau_x Q (\rho_Q + \rho)}{(\rho - \rho_Q)g}, \quad (8)$$

где Q – погонная плавучесть верхней подборы; R_Q – сила гидродинамического сопротивления участка верхней подборы; ρ_Q – усредненная плотность верхней подборы.

Для узла $i = k + 1$ (вешка, точка B):

$$\overline{F}_i = \overline{(0, 2Q_v)} - \overline{e}_i R_v, \quad (9)$$

$$m_{0i} = \frac{Q_v (\rho_v + \rho)}{(\rho - \rho_v)g}, \quad (10)$$

где Q_v – плавучесть вешки; ρ_v – усредненная плотность вешки; R_v – сила гидродинамического сопротивления вешки.

Единичный вектор, имеющий направление скорости перемещения узла i относительно потока воды:

$$\overline{e}_i = \frac{\overline{v}_i - \overline{(v, 0)}}{\left| \overline{v}_i - \overline{(v, 0)} \right|}. \quad (11)$$

Для вычисления силы гидродинамического сопротивления R_{ij} используются эвристические зависимости [9], связывающие проекции этих сил на оси локальной декартовой системы координат с проекциями участка сети в той же системе координат. В локальной системе координат ось Ox направлена по вектору e_i . Переведем координаты участка i, j в локальную систему координат с началом в точке r_i , выполнив аффинное преобразование [10]:

$$\overline{(r_x, r_y)}_{ij} = M_i \cdot (\overline{r}_j - \overline{r}_i), \quad (12)$$

где r_x и r_y – проекции участка сети на оси локальной системы координат; M_i – матрица поворота.

После вычисления сил гидродинамического сопротивления в локальной системе координат необходимо выполнить обратное преобразование:

$$\overline{R}_{ij} = M_i^{-1} \cdot \overline{(R_x, R_y)}_{ij}, \quad (13)$$

где M_i^{-1} – обратная матрица поворота; R_x и R_y – проекции сил гидродинамического сопротивления участка i, j на оси локальной системы координат.

Матрица поворота находится по формулам

$$M_i = \begin{pmatrix} \cos \alpha_i & \sin \alpha_i \\ -\sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$$\alpha_i = \arctan \frac{e_{iy}}{e_{ix}}, \quad (15)$$

где α_i – угол поворота; e_{ix} , e_{iy} – проекции вектора e_i на оси модельной системы координат.

Проекции гидродинамических сил имеют следующие эвристические зависимости от проекций участка сети:

$$R_x = \frac{1}{2} \left(c_0 + (c_{90} - c_0) \frac{r_y}{\sqrt{r_x^2 + r_y^2}} \right) |\overline{v}_i - \overline{v}|^2 \rho S_{ij}, \quad (16)$$

$$R_y = -\frac{1}{2} c_{90} \frac{r_x r_y}{r_x^2 + r_y^2} |\overline{v}_i - \overline{v}|^2 \rho S_{ij}, \quad (17)$$

где c_0 – гидродинамический коэффициент для сети, расположенной параллельно потоку воды; c_{90} – гидродинамический коэффициент для сети, расположенной перпендикулярно потоку воды; S_{ij} – площадь сечения ниток участка сети в плоскости, перпендикулярной вектору e_i .

Гидродинамические коэффициенты находятся по формулам [9]:

$$c_0 = F_o \text{Re}^{-0.165}, \quad (18)$$

$$c_{90} = 16 \left(\frac{2F_o}{\text{Re}} \right)^{0.28}, \quad (19)$$

$$\text{Re} = \frac{d}{\vartheta} |\overline{v}_i - \overline{v}|, \quad (20)$$

где F_o – сплошность сети; Re – число Рейнольдса для сети; ϑ – кинематическая вязкость воды.

Для участков сетной оболочки (между точками Q и G):

$$L_{ij} = 2ma\sqrt{1-u_x^2}, \quad (21)$$

$$A_{ij} = 2n \frac{\pi d^2}{4}, \quad (22)$$

$$S_{ij} = 4nmad, \quad (23)$$

$$V_{ij} = \frac{\pi}{4} S_{ij} d, \quad (24)$$

$$F_o = \frac{d}{au_x \sqrt{1-u_x^2}}, \quad (25)$$

где d – диаметр ниток сетной оболочки; m – количество ячеек на участке сетной оболочки по боковой подборе.

Для поводцов и оттяжки: L_{ij} – входной параметр, $F_o=1$,

$$A_{ij} = \pi d_{ij}^2 / 4, \quad (26)$$

$$V_{ij} = A_{ij} L_{ij}, \quad (27)$$

$$S_{ij} = L_{ij} d_{ij}, \quad (28)$$

где d_{ij} – диаметр поводца или оттяжки.

Рассчитаем гидродинамическую силу нижней и верхней подборы, используя эмпирические зависимости для цилиндра:

$$R_G = \frac{1}{2} b_1 k_{1G} \left(\frac{d_G |\bar{v}_0 - \bar{v}|}{g} \right)^{-0.16} |\bar{v}_0 - \bar{v}|^2 \rho d_G (2anu_x), \quad (29)$$

$$R_Q = \frac{1}{2} b_1 k_{1Q} \left(\frac{d_Q |\bar{v}_{k-1} - \bar{v}|}{g} \right)^{-0.16} |\bar{v}_{k-1} - \bar{v}|^2 \rho d_Q (2anu_x), \quad (30)$$

где d_G – диаметр нижней подборы; d_Q – диаметр верхней подборы; $b_1 = 4,2$ – коэффициент для шестипрядных полиэтиленовых канатов [9]; k_1 – поправочные коэффициенты, определяющие удлинение цилиндра.

$$k_{1G} = \frac{1}{1 + (d_G / (2anu_x))^{1/3}}. \quad (31)$$

$$k_{1Q} = \frac{1}{1 + (d_Q / (2am_x))^{1/3}} \quad (32)$$

Рассчитаем гидродинамическую силу сопротивления вешки, применив эмпирические зависимости для цилиндра:

$$R_v = \frac{1}{2} b_v k_v \left(\frac{d_v |\bar{v}_{k+1} - \bar{v}|}{g} \right)^{-0.16} |\bar{v}_{k+1} - \bar{v}|^2 \rho d_v h_v, \quad (33)$$

$$k_v = \frac{1}{1 + (d_v / h_v)^{1/3}}, \quad (34)$$

где d_v – диаметр пенопласта вешки; h_v – высота пенопласта вешки; $b_v = 3,0$ – коэффициент для гладкого цилиндра [11]; k_v – поправочный коэффициент, определяющий удлинение цилиндра.

Сила трения нижней подборы о дно водоема:

$$F_f = \begin{cases} \text{sgn}((\bar{v}_0 - \bar{v})_x) f F_y & |F_y| < 0 \\ 0 & |F_y| \geq 0 \end{cases}, \quad (35)$$

где F_y – проекция равнодействующей силы за вычетом силы трения, приложенных к нижней подборе на ось OY; f – коэффициент трения нижней подборы.

$$F_y = \left(\sum_{j \in [1, k]} \left(\frac{\bar{r}_j - \bar{r}_0}{|\bar{r}_j - \bar{r}_0|} \frac{T_{0,j}}{2} - \frac{\overline{R_{0,j}} + (0, G_{0,j})}{2} \right) + \bar{F}_0 \right)_y, \quad (36)$$

где r_0 – координаты нижней подборы.

Результаты и их обсуждение

Для проверки описанной математической модели плавной сети была создана компьютерная программа. Параметры моделируемой сети указаны в таблице. В начальный момент времени сеть была неподвижна. Нижняя подбора находилась на дне в начале системы координат. Вешки находились на поверхности воды в координатах $(0, Y)$, где $Y = 4$ м – глубина водоема в месте расположения сети. Скорость течения воды в течение всего процесса моделирования была постоянна и равна $v = 0,3$ м/с. Сетная оболочка была разбита по высоте на 10 одинаковых участков. Количество ячеек по вертикальной подборе 30.

Графики зависимостей различных параметров сети от времени показаны на рис. 3-8.

На графиках используются следующие обозначения: Q – верхняя подбора; G – нижняя подбора; K – точка соединения поводцов и оттяжки вешки; B – вешка; v – скорость течения; v_{Gx} – скорость нижней подборы по оси OX; v_{Qx} – скорость верхней подборы по оси OX; v_{Bx} – скорость вешки по оси OX; v_{Qy} – скорость верхней подборы по оси OY; v_{By} – скорость вешки по оси OY; T_Q – натяжение в верхнем поводце; T_G – натяжение в нижнем поводце; R – сила гидродинамического сопротивления сети, которая определяется как

сумма проекций на ось OX всех R_{ij} между узлами Q и G; F_f – сила трения нижней подборы о дно водоема.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-а.

Параметры донной ставной сети
Parameters of drifting net

Параметр	Значение
Количество ячей по горизонтальной подборе n	650
Количество ячей на участке m	3
Шаг ячеей a , мм	55
Посадочный коэффициент по верхней подборе u_x	0,707
Длина верхнего поводца L_{k-1,k_2} , м	1,0
Длина нижнего поводца L_{0,k_3} , м	1,0
Длина оттяжки вешки $L_{k,k+1}$, м	4,0
Диаметр ниток сети d , мм	0,6
Плотность нижней подборы с грузом ρ_G , кг/м ³	7850
Плотность верхней подборы с поплавками ρ_O , кг/м ³	700
Плотность вешки ρ_v , кг/м ³	500
Плавучесть 1 м верхней подборы, Н	0,5
Вес 1 м ² сети, Н	0,029
Вес в воде 1 м нижней подборы, Н	1,5
Плавучесть вешки Q_v , Н	30
Коэффициент трения нижней подборы f	0,3

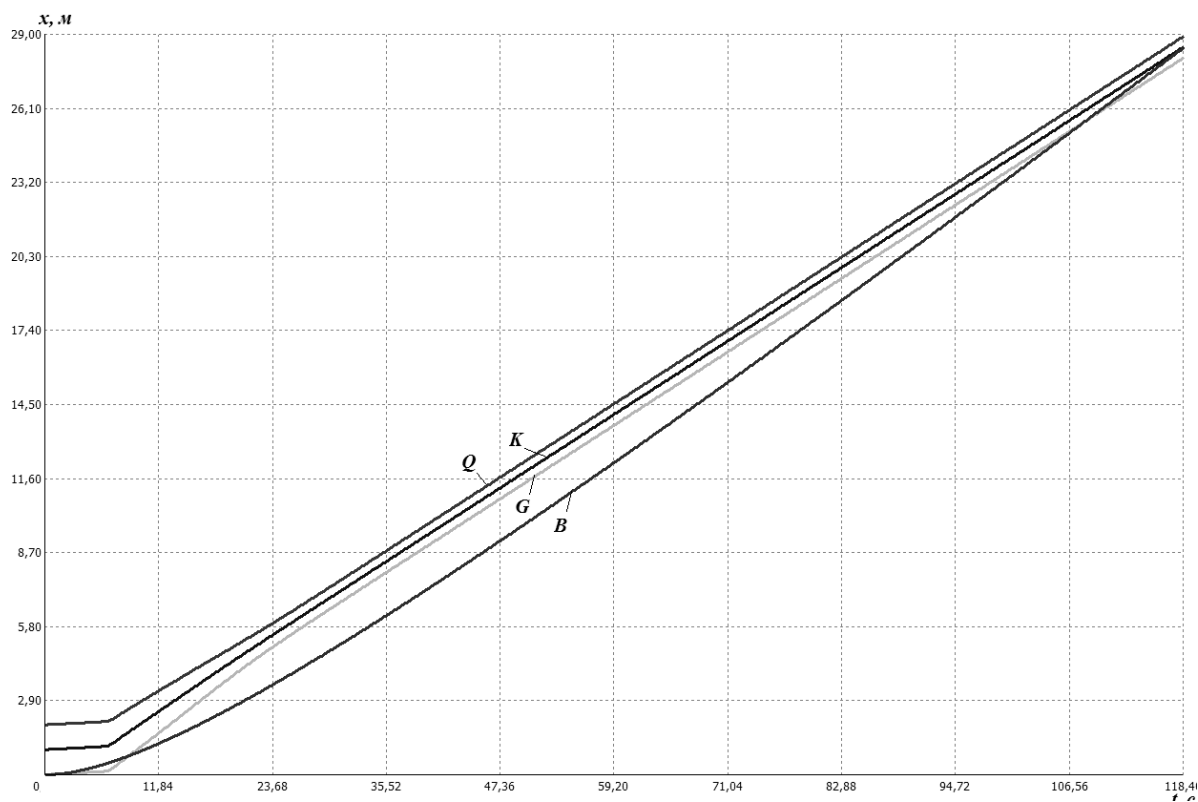


Рис. 3. Зависимость координат на оси OX от времени
Fig. 3. Dependence of coordinates on the OX axis from time

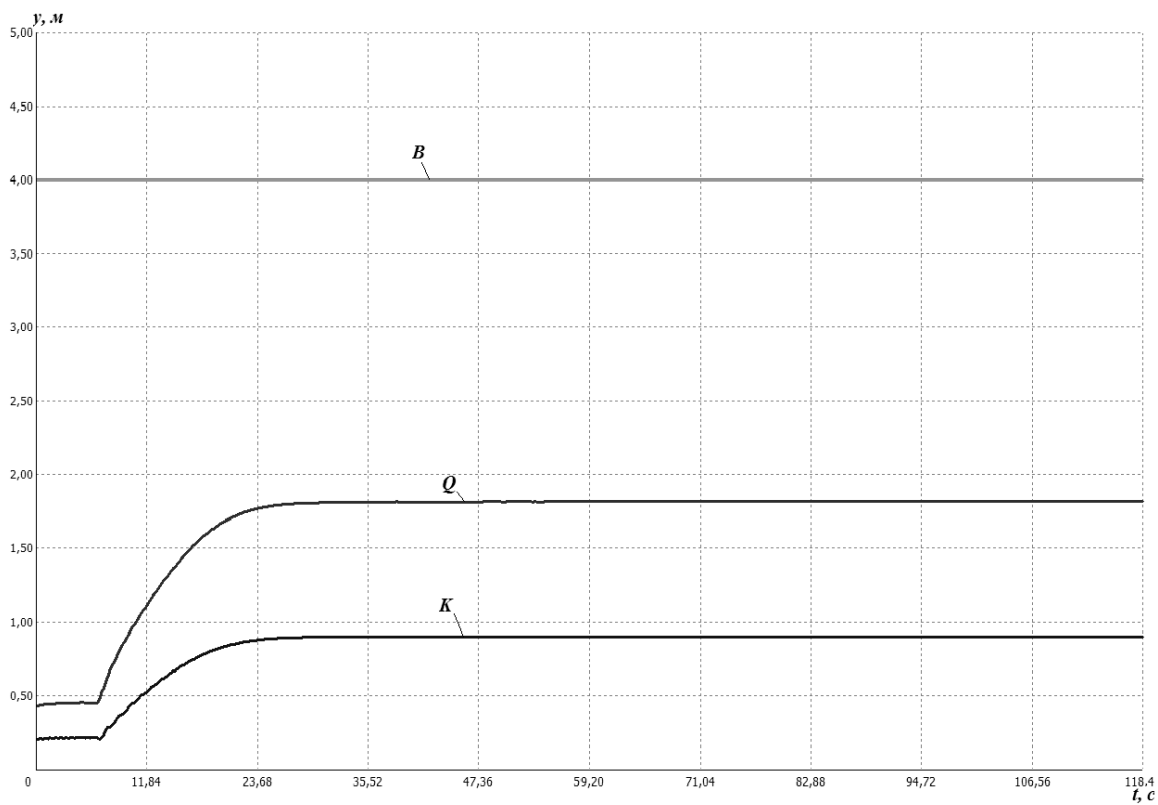


Рис. 4. Зависимость координат на оси OY от времени
 Fig. 4. Dependence of coordinates on the OY axis from time

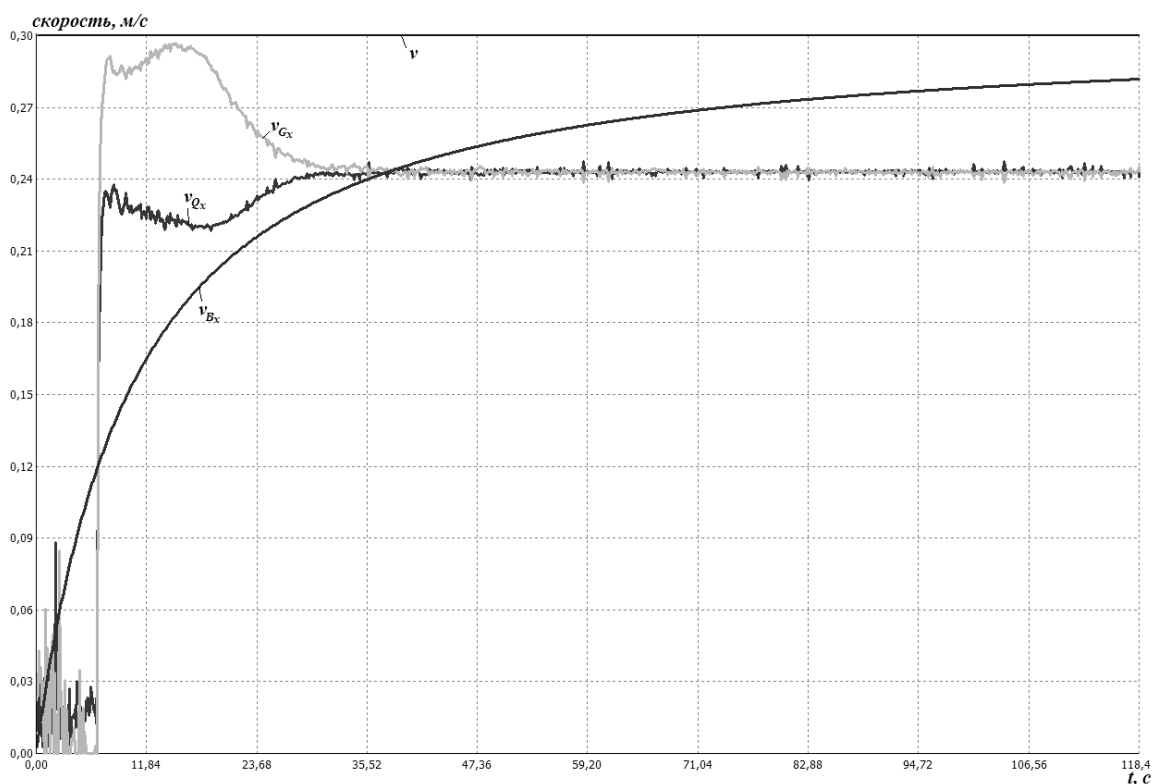


Рис. 5. Зависимость проекции скорости на ось OX от времени
 Fig. 5. Dependence of a projection of speed on the OX axis from time

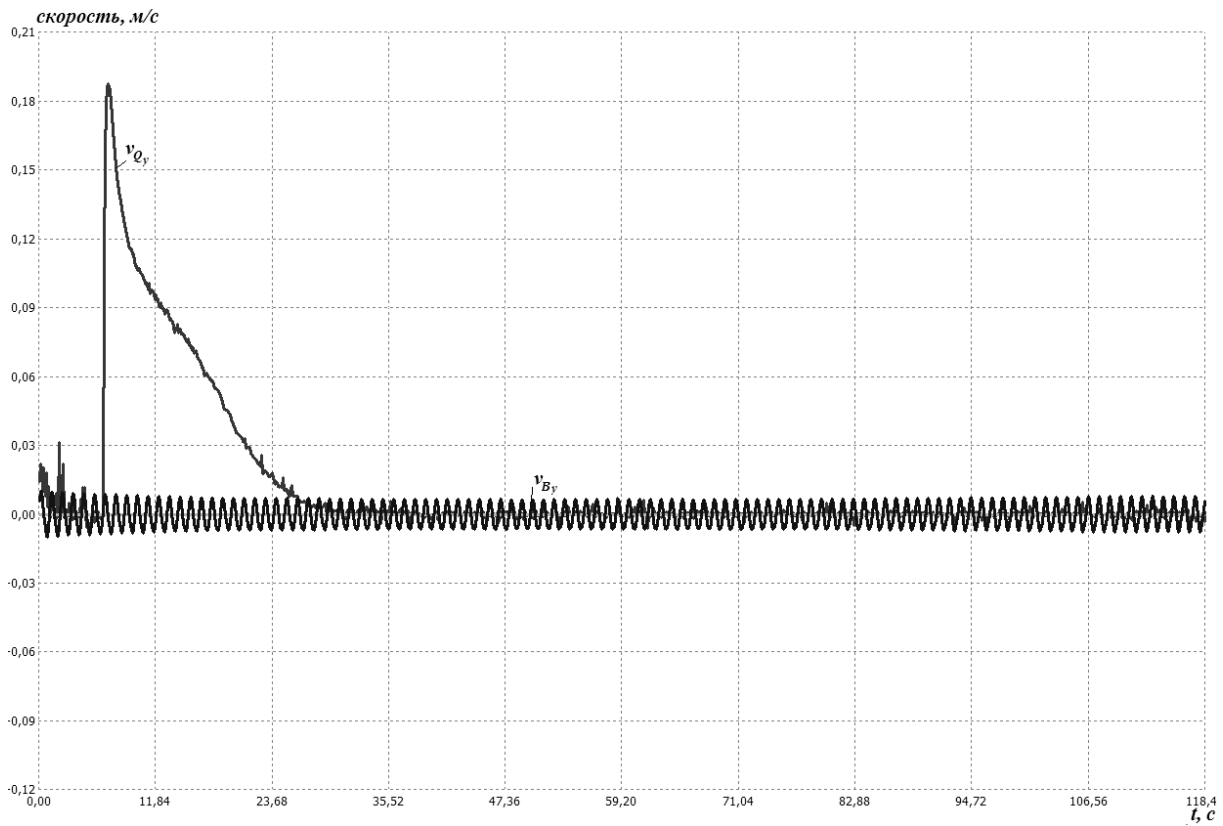


Рис. 6. Зависимость проекции скорости на ось OY от времени
 Fig. 6. Dependence of a projection of speed on the OY axis from time

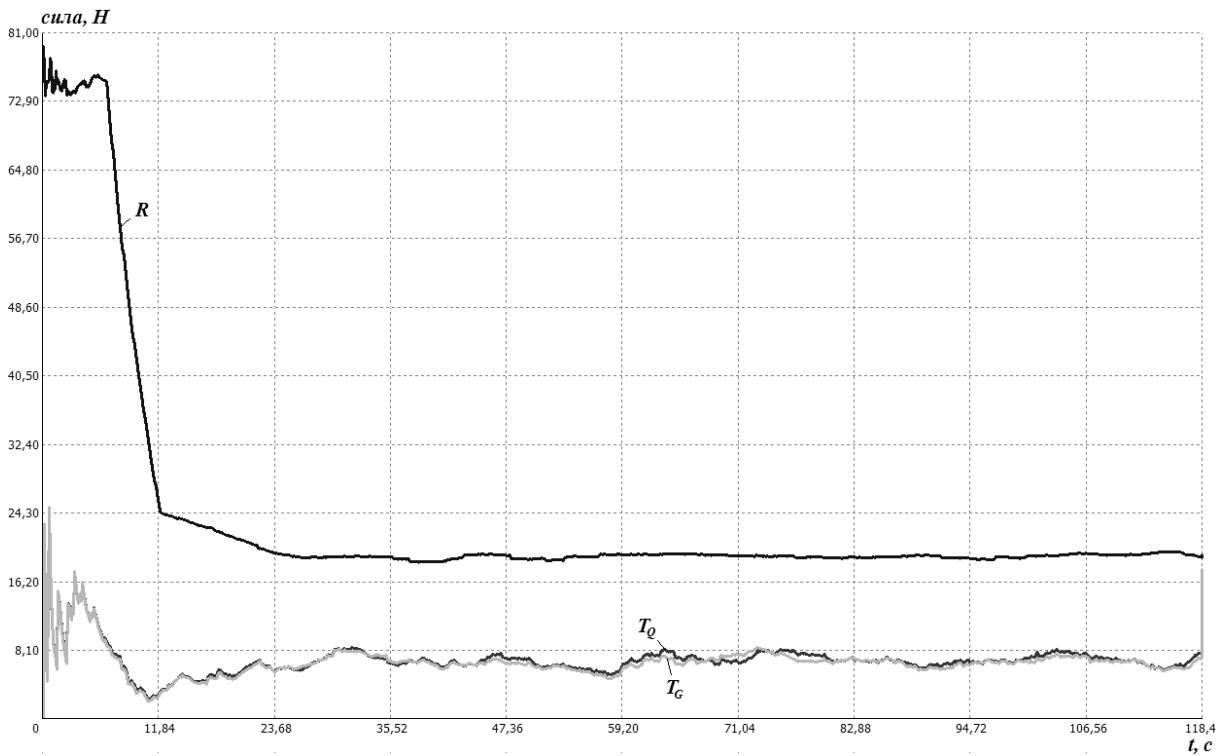


Рис. 7. Зависимость гидродинамической силы сопротивления и натяжений в поводках от времени
 Fig. 7. Dependence of hydrodynamic drag force and tension in streamer line from time



Рис. 8. Зависимость силы трения нижней подборы о дно водоема от времени
 Fig. 8. Dependence of frictional force leadline about a reservoir bottom from time

Список литературы

1. Баранов Ф.И. Теория и расчет орудий рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1948. – 436 с.
2. Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 696 с.
3. Литвиненко А.И. Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России: справ. Орудия промышленного рыболовства Сибири и Урала. – Тюмень: ГОСРЫБЦЕНТР, 2003а. – Т. 2. – 186 с.
4. Литвиненко А.И. Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России: справ. Орудия промышленного рыболовства южных районов Европейской части России. – Тюмень: ГОСРЫБЦЕНТР, 2003б. – Т. 3. – 248 с.
5. Литвиненко А.И. Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России: справ. Орудия промышленного рыболовства центрального, северного и северо-западного районов Европейской части России. – Тюмень: ГОСРЫБЦЕНТР, 2004. – Т. 4. – 242 с.
6. Недоступ А.А., Ражев А.О. Моделирование динамических характеристик ставной сети // Рыб. хоз-во. – 2013. – № 2. – С. 97-99.
7. Ламб Г. Гидродинамика / Пер. с англ. – М.; Л., 1947.
8. Риман И.С., Крепс Р.Л. Присоединенные массы тел различной формы. – М., 1947.
9. Недоступ А.А., Володько Д.А., Ражев А.О. Гидродинамический расчет рыболовной сети // Инженерные системы – 2012: сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. – М.: РУДН, 2012. – С. 27-31.
10. Дорофеев С.Н. Геометрические преобразования в примерах и задачах. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2002. – 189 с.

Сведения об авторах: Недоступ Александр Алексеевич, проректор по информатизации и развитию, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой промышленного рыболовства, e-mail: nedostup@klgtu.ru;
 Ражев Алексей Олегович, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра рыболовства и рыбохозяйственного образования, e-mail: progacpp@live.ru.

УДК 639.2.081.117

А.А. Недоступ, А.О. Ражев

Калининградский государственный технический университет,
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ПО РАСЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВНОЙ СЕТИ

Приводится описание компьютерных программ моделирования плавной сети с прямолинейными верхней и нижней подборах, находящимися перпендикулярно потоку воды.

Ключевые слова: плавная сеть, динамика, компьютерная программа.

A.A. Nedostup, A.O. Razhev

CREATING OF THE COMPUTER PROGRAM BY CALCULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE DRIFTING GILL NET

The article provides a description of computer programs of simulation a drifting net with headline and leadline, located perpendicular to the flow of water.

Keywords: drifting net, dynamic, computing program.

Введение

Проектирование плавных сетей требует проведения колоссальных объемов вычислений, так как сетная часть состоит из огромного количества ячеей. Зачастую требуется изучить поведение натурального орудия рыболовства, что практически невозможно путем натурального эксперимента. Поэтому возникает необходимость в разработке способов, позволяющих достаточно просто рассчитывать сложные системы, такие как плавные сети, состоящие из тысячи и более элементов.

Плавная сеть представляет собой обьечеивающее орудие внутреннего и прибрежного рыболовства. Различают три способа эксплуатации сетей: плав по поверхности, плав «в полводы», или разноглубинный, и плав донный [1-5]. Конструкция плавной сети состоит из сетной оболочки, посадочных нитей, верхней, нижней и боковых подбор, оснастки верхней подборы (плава), оснастки нижней подборы (загрузки), угловых огонов сети, отяжек, поводцов и вешек (рис. 1).

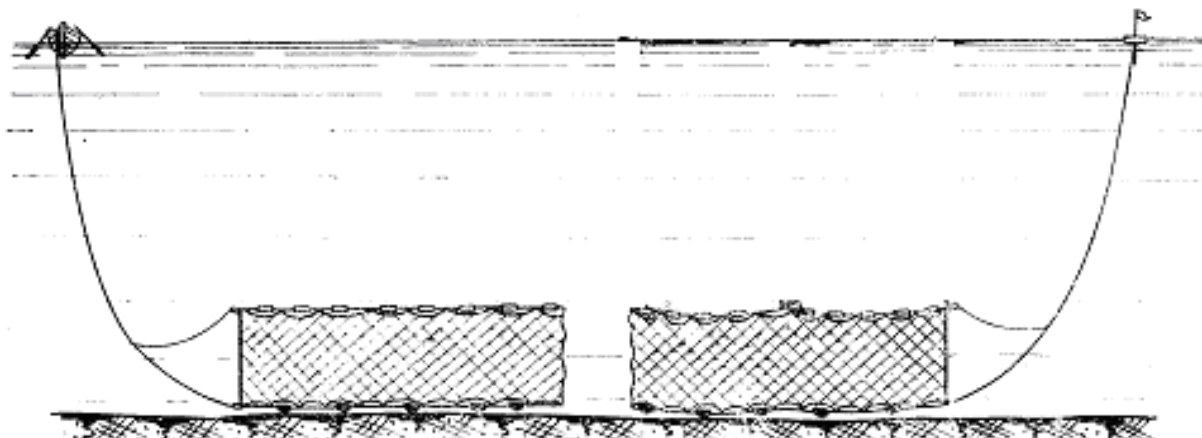


Рис. 1. Донная плавная сеть
Fig. 1. Drifting net

В процессе раскрытия и сплава сети рассчитываются соответствующие гидродинамические и гидростатические силы, действующие на различные элементы, определяется скорость различных элементов и их перемещение. Необходимо рассчитать параметры сети так, чтобы при различных скоростях течения ее форма в плане удовлетворяла условиям промысла, то есть имела ловистость.

В данной статье предлагается описание компьютерных программ по расчету динамических характеристик плавной сети.

Объекты и методы исследований

Компьютерные программы моделирования плавных сетей в динамике разработаны в системе Embarcadero RAD Studio XE2. Программный код написан на объектно-ориентированном языке высокого уровня C++ с использованием вставок на языке низкого уровня Ассемблер. Применение таких вставок обусловлено необходимостью максимальной оптимизации алгоритмов моделирования, критичных к скорости исполнения.

Embarcadero RAD Studio – мультязыковая среда быстрой разработки приложений (RAD) от Embarcadero Technologies для платформ Microsoft Windows, .NET, Mac OS, iOS, ARM, объединяющая Delphi и C++ Builder в единую интегрированную среду разработки. Это единственная интегрированная среда разработки (IDE), в которой одновременно реализована поддержка приложений Delphi (Windows и .NET), C и C++.

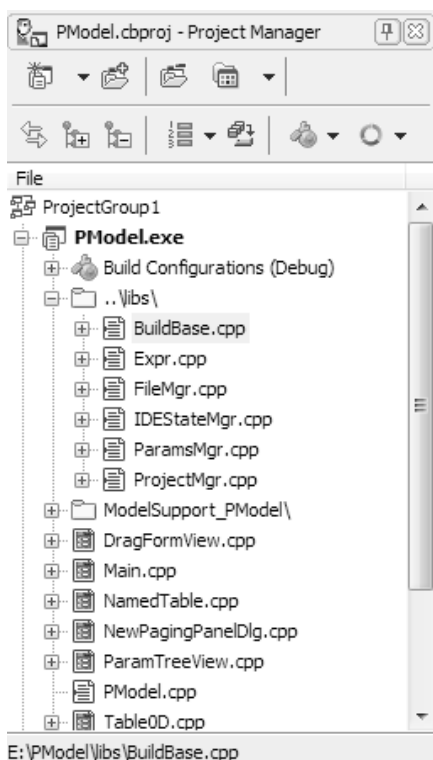


Рис. 2. Менеджер проекта Embarcadero RAD Studio XE2
Fig. 2. Project Manager of Embarcadero RAD Studio XE2

Первым шагом в разработке приложения является создание проекта. Файлы проекта (рис. 2) содержат сгенерированный автоматически исходный текст, который становится частью приложения, когда оно скомпилировано и подготовлено к выполнению.

После создания проекта к нему необходимо добавить одну или несколько форм. Информация о каждой форме хранится в отдельных файлах исходного кода и файлах ресурсов. При добавлении формы на экране в дизайнера форм отображается пустая форма.

Далее на форму помещаются необходимые компоненты: визуальные и невидимые. Визуальные компоненты предназначены для взаимодействия с пользователем (рис. 3). Эти компоненты впоследствии будут отображаться в программе. Невизуальные компоненты отображаются только на этапе создания приложения. Они инкапсулируют функциональность определенных объектов системы. Например, компонент «таймер» предназначен для вызова на исполнение участка программы через заданные промежутки времени.

Далее у форм и компонентов необходимо установить свойства и назначить обработчики событий (рис. 4). Это делается в инспекторе объектов.

Свойства определяют поведение объектов (форм и компонентов). Например, у многих визуальных компонентов и форм есть свойства, определяющие их размер и положение. Обработчики событий предназначены для определения реакции объекта на какое-либо событие. Например, событие нажатия левой кнопки мышки на компоненте ввода. Обработчики событий пишутся на языке исходного кода (C++ или Object Pascal) в файле с исходным кодом для соответствующей формы.

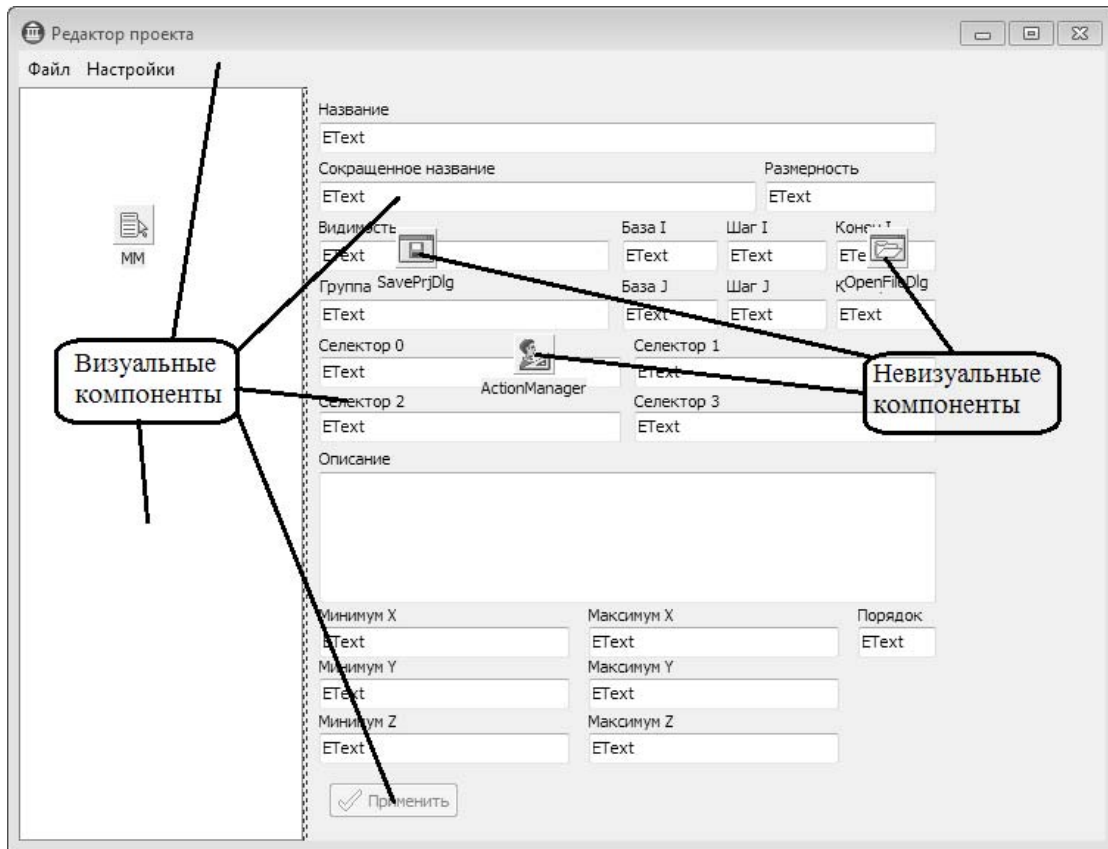


Рис. 3. Дизайнер форм
Fig. 3. Form Design

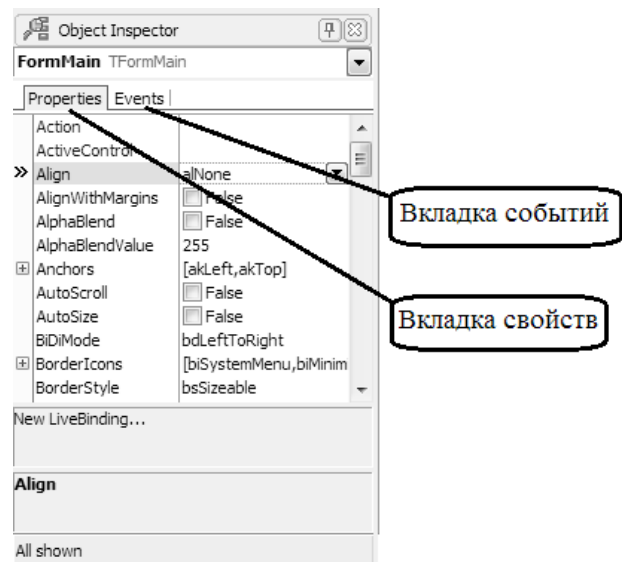


Рис. 4. Инспектор объектов
Fig. 4. Objects Inspector

Наконец, приложение нужно скомпилировать и собрать. Это делается нажатием на кнопку «F9». После сборки при отсутствии ошибок приложение автоматически запускается в режиме отладки.

Более подробно с процессом создания приложений в RAD Studio вы можете ознакомиться в [6]. В [7] описаны принципы объектно-ориентированного программирования. В [8] описан синтаксис языка высокого уровня C++.

Для моделирования динамики плавных сетей с прямолинейными верхней и нижней подборками были созданы две компьютерные программы: «(с)2013 Расчет динамических характеристик плавной сети» и «(с)2013 Расчет динамических характеристик плавной сети с буями». Эти компьютерные программы имеют схожий интерфейс пользователя. Поэтому, освоив одну компьютерную программу, можно без труда работать и в другой. Поток воды направлен параллельно поверхности воды, перпендикулярно горизонтальным подборкам. При таких условиях моделирование можно проводить в плоскости, перпендикулярной подборкам ОХУ, т.е. в двухмерном пространстве.

Рассмотрим работу программ на примере КП «(с)2013 Расчет динамических характеристик плавной сети с буями».

Окно программы (рис. 5) разделено на несколько основных частей:

- главное меню – для управления программой;
- вкладки – для выбора необходимой страницы;
- область отображения активной страницы;
- панель быстрого доступа – для дублирования некоторых пунктов главного меню.

Главное меню программы состоит из трех подменю: «Файл», «Моделирование» и «Справка». В подменю «Файл» находятся команды загрузки и выгрузки файлов входных параметров модели. В подменю «Моделирование» находятся команды управления процессом моделирования:

- «Старт» – запуск сначала процесса моделирования;
- «Стоп» – приостановка процесса моделирования;
- «Продолжить» – продолжение процесса моделирования после приостановки.

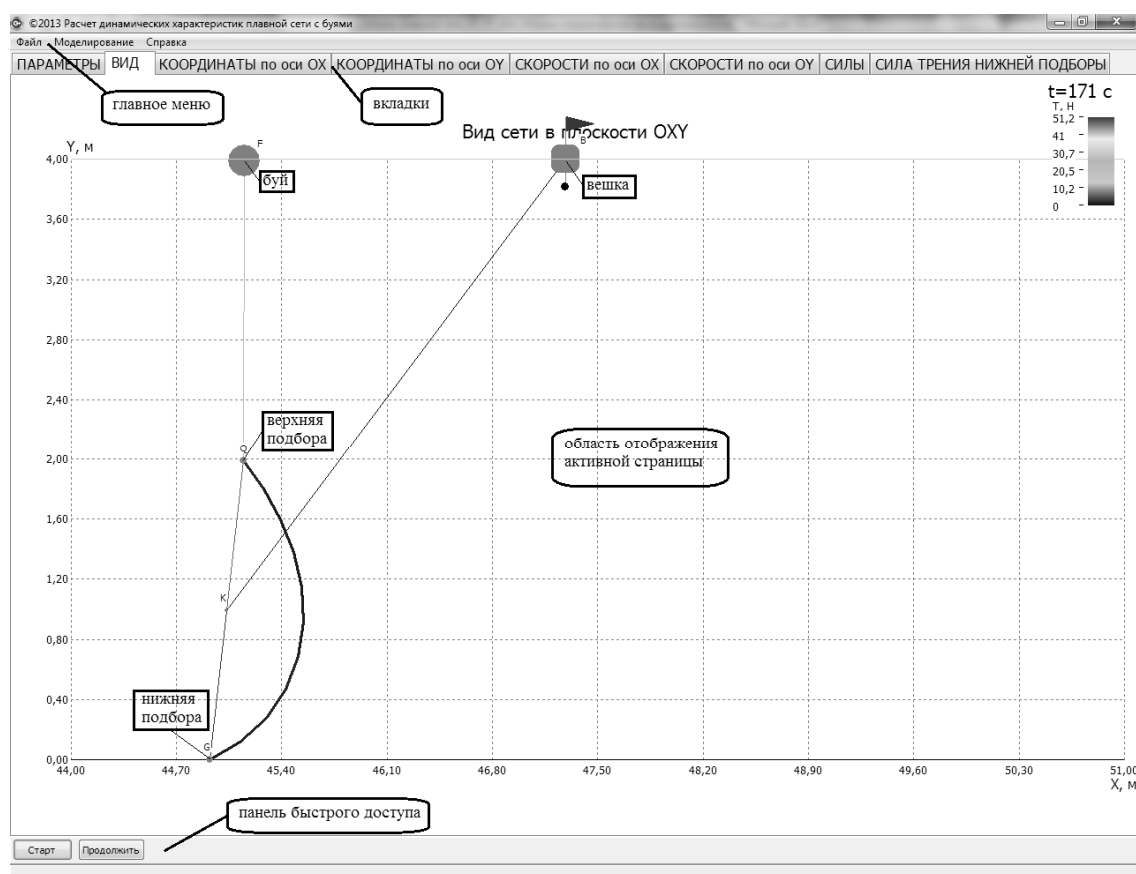


Рис. 5. Компьютерная программа «(с)2013 Расчет динамических характеристик плавной сети с буями»
 Fig. 5. Computing program «©2013 Расчет динамических характеристик плавной сети с буями»

Все три команды дублируются кнопками на панели быстрого доступа. Возможность приостановки с последующим продолжением процесса моделирования используется для корректирования входных параметров в ходе моделирования.

В подменю «Справка» находятся команда вызова справки по условным обозначениям, используемым в программе, а также команда открытия диалога «О программе».

Для выбора необходимой страницы предназначены восемь вкладок, расположенных над областью отображения страниц. Все страницы в КП можно разделить на три группы:

- 1) ввода входных и отображения выходных параметров;
- 2) видов графических отображений моделируемого орудия рыболовства;
- 3) графиков зависимостей.

В первой группе содержится страница «ПАРАМЕТРЫ», во второй – «ВИД», а в третьей – страницы: «КООРДИНАТЫ по оси OX», «КООРДИНАТЫ по оси OY», «СКОРОСТИ», «СИЛЫ» и «ДЕРЖАЮЩАЯ СИЛА ЯКОРЯ».

Страница «ПАРАМЕТРЫ» (рис. 6) разделена на четыре области:

- 1) ввода входных параметров;
- 2) вывода выходных параметров в виде числовых значений;
- 3) графика зависимости скорости течения от времени, построенного по входным параметрам;
- 4) информационной области с изображением плавной сети и функции зависимости скорости течения от времени.

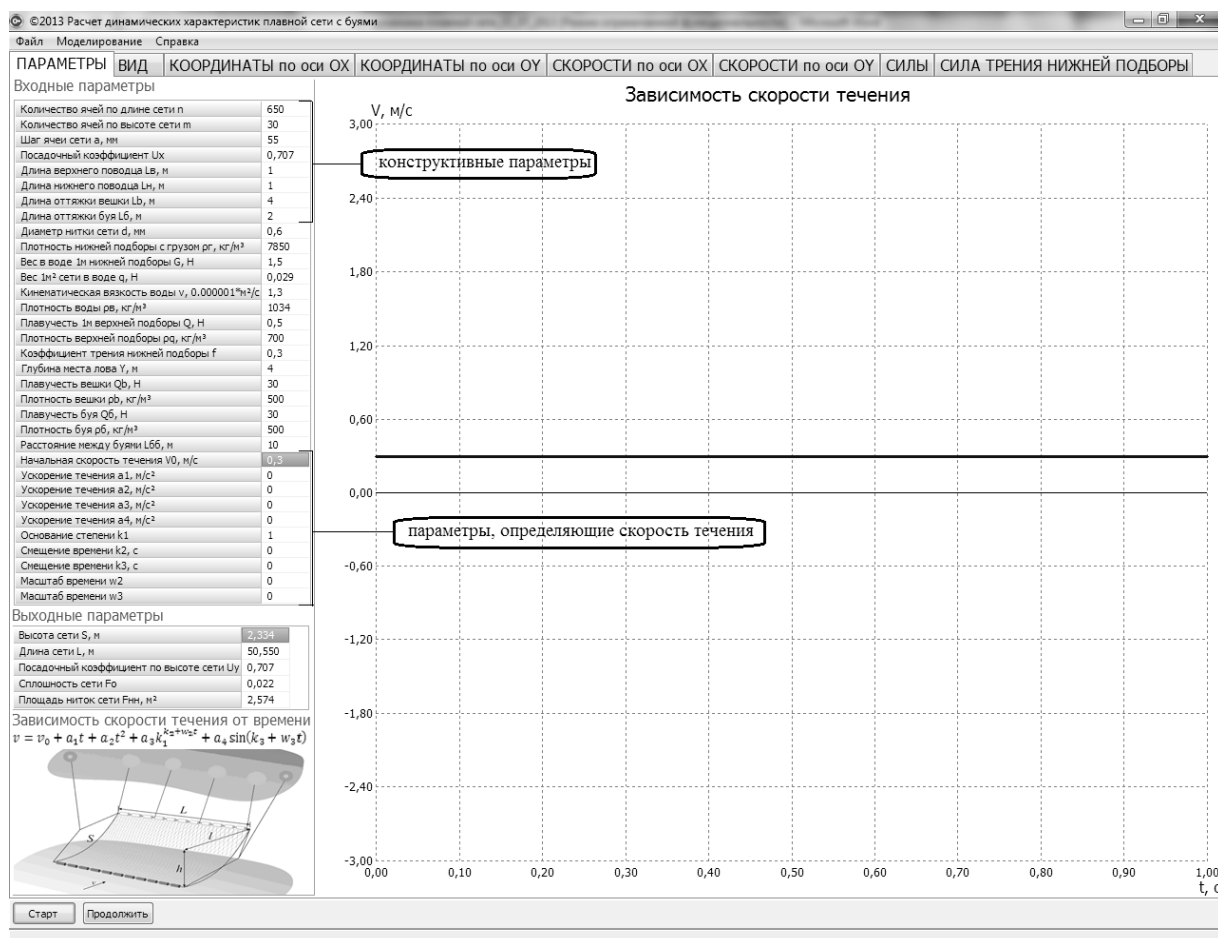


Рис. 6. Страница «ПАРАМЕТРЫ»
Fig. 6. Page «ПАРАМЕТРЫ»

Входные параметры программы можно разделить на три группы:

- 1) конструктивные параметры;
- 2) параметры, определяющие скорость течения воды;
- 3) параметры, не входящие в первые две группы.

Конструктивные параметры влияют на геометрию сети, поэтому при их изменении дальнейшее продолжение процесса моделирования после приостановки невозможно. Параметры, определяющие скорость течения воды, задают начальную скорость течения и коэффициенты, используемые в выражении зависимости скорости течения от времени. После изменения данной группы параметров автоматически обновляется график зависимости скорости течения от времени.

К конструктивным параметрам относятся параметры, задающие:

- количество ячей по длине и высоте сети n, m ;
- шаг ячеей a , мм;
- посадочный коэффициент по вертикальной подборе U_x ;
- длины оттяжек и поводцов $L_b, L_{\bar{b}}, L_{\bar{v}}, L_{\bar{n}}$, м.

К параметрам, определяющим скорость течения, относятся: скорость течения в начале процесса моделирования v_0 и коэффициенты $a_1 - a_4, k_1 - k_3, w_2, w_3$ в функции зависимости скорости течения от времени:

$$v = v_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 k_1^{k_2 + w_2 t} + a_4 \sin(k_3 + w_3 t).$$

В третью группу собраны все остальные параметры:

- диаметр ниток сети d , мм;
- плотности подбор, вешек, буюв и воды $\rho_r, \rho_q, \rho_b, \rho_{\bar{b}}, \rho_v$, кг/м³;
- вес и плавучесть подбор, сети, вешек и буюв $G, Q, q, Q_b, Q_{\bar{b}}, H$;
- расстояние между буюми $L_{\bar{b}\bar{b}}$, м;
- глубина места лова Y , м;
- кинематическая вязкость воды ν , м²/с;
- коэффициент трения нижней подборы f .

На странице «ВИД» (см. рис. 5) отображается проекция плавной сети в плоскости ОХУ.

В правом верхнем углу отображаются текущее время процесса моделирования и цветовая гистограмма сил натяжения в элементах сети. Текущие значения таких параметров, как координаты и силы натяжения для различных элементов сети можно определить как по координатной сетке и цветовой гистограмме, так и наведя указатель мыши на соответствующий элемент. Отдельные элементы сети на виде подписаны буквенными обозначениями, расшифровку которых можно найти по команде «Условные обозначения» в подменю «Справка»: В – вешка, Q – верхняя подбора, G – нижняя подбора, К – точка соединения оттяжки вешки и поводцов, F – буй.

На страницах «КООРДИНАТЫ по оси ОХ» (рис. 7) и «КООРДИНАТЫ по оси ОУ» (рис. 8) отображаются графики зависимостей координат различных точек плавной сети от времени. По мере хода процесса моделирования графики постоянно обновляются. При перемещении указателя мыши по графикам одновременно отображаются значения времени и координат в точке под указателем.

На странице «СКОРОСТИ по оси ОХ» (рис. 9) и «СКОРОСТИ по оси ОУ» (рис. 10) графически отображаются зависимости горизонтальных и вертикальных скоростей течения, подбор, буюв и вешек от времени процесса моделирования.

На страницах «СИЛЫ» (рис. 11) и «СИЛА ТРЕНИЯ НИЖНЕЙ ПОДБОРЫ» (рис. 12) графически отображаются зависимости от времени сил натяжения в оттяжках, поводцах, гидродинамического сопротивления сети и трения нижней подборы.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-а.

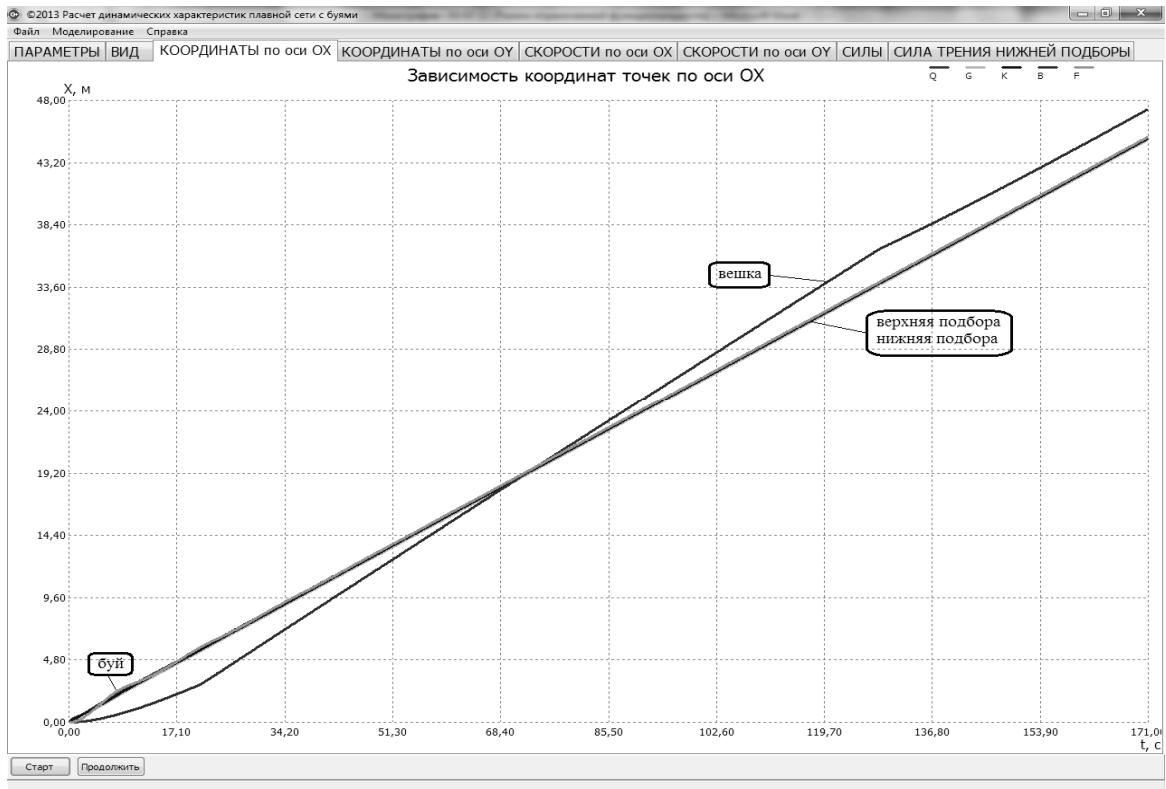


Рис. 7. Зависимость координат на оси OX от времени
 Fig. 7. Dependence of coordinates on the OX axis from time

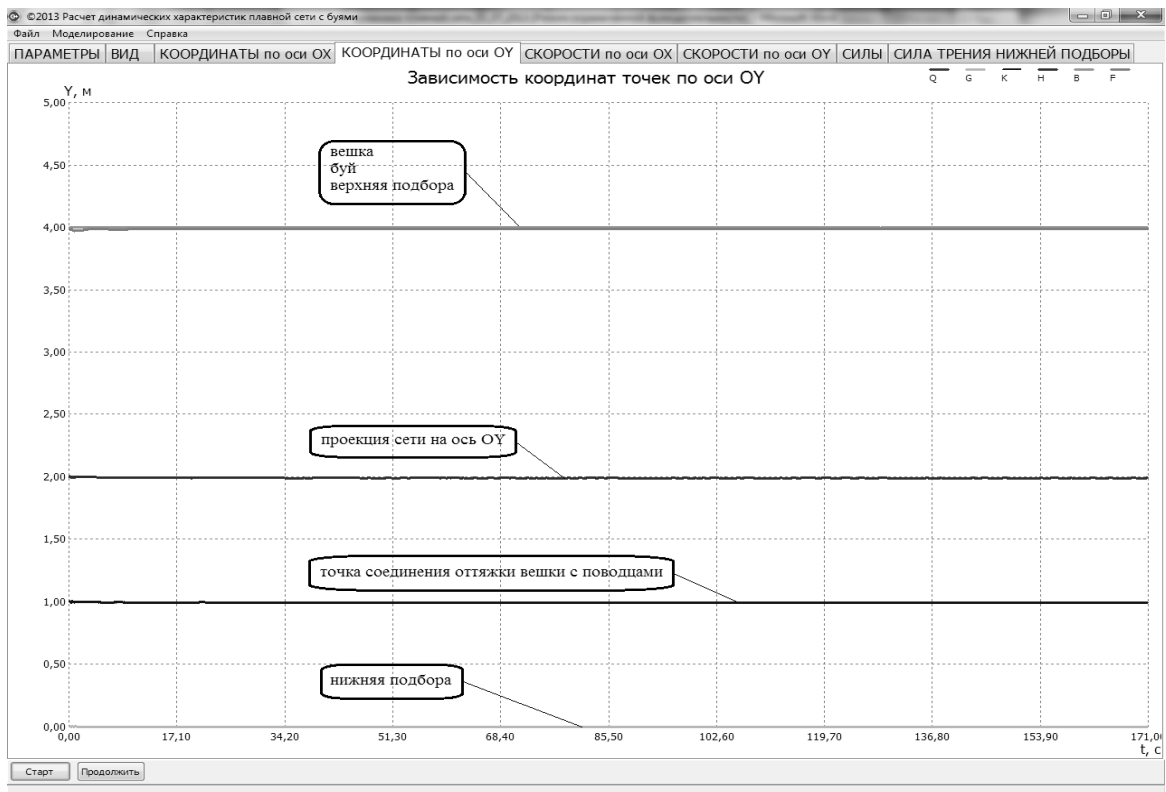


Рис. 8. Зависимость координат на оси OY от времени
 Fig. 8. Dependence of coordinates on the OY axis from time

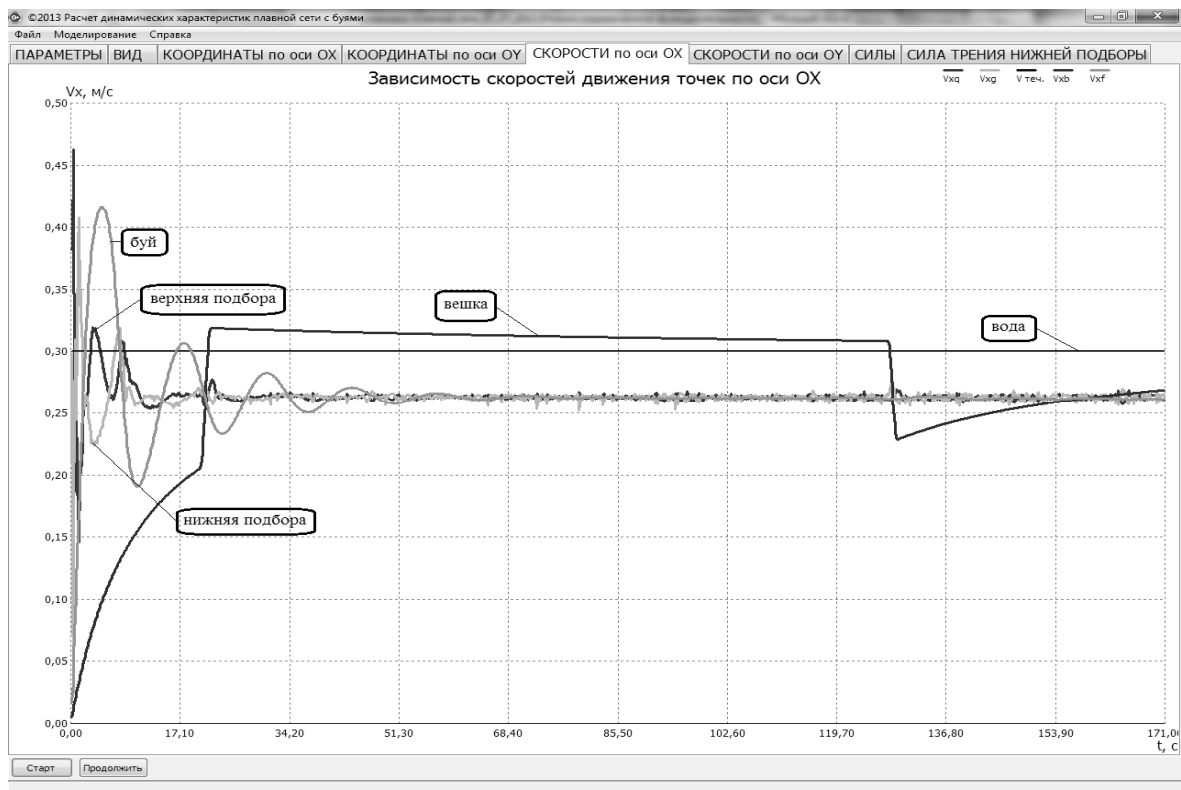


Рис. 9. Зависимость проекции скоростей на ось OX от времени
 Fig. 9. Dependence of a projection of speeds on the OX axis from time

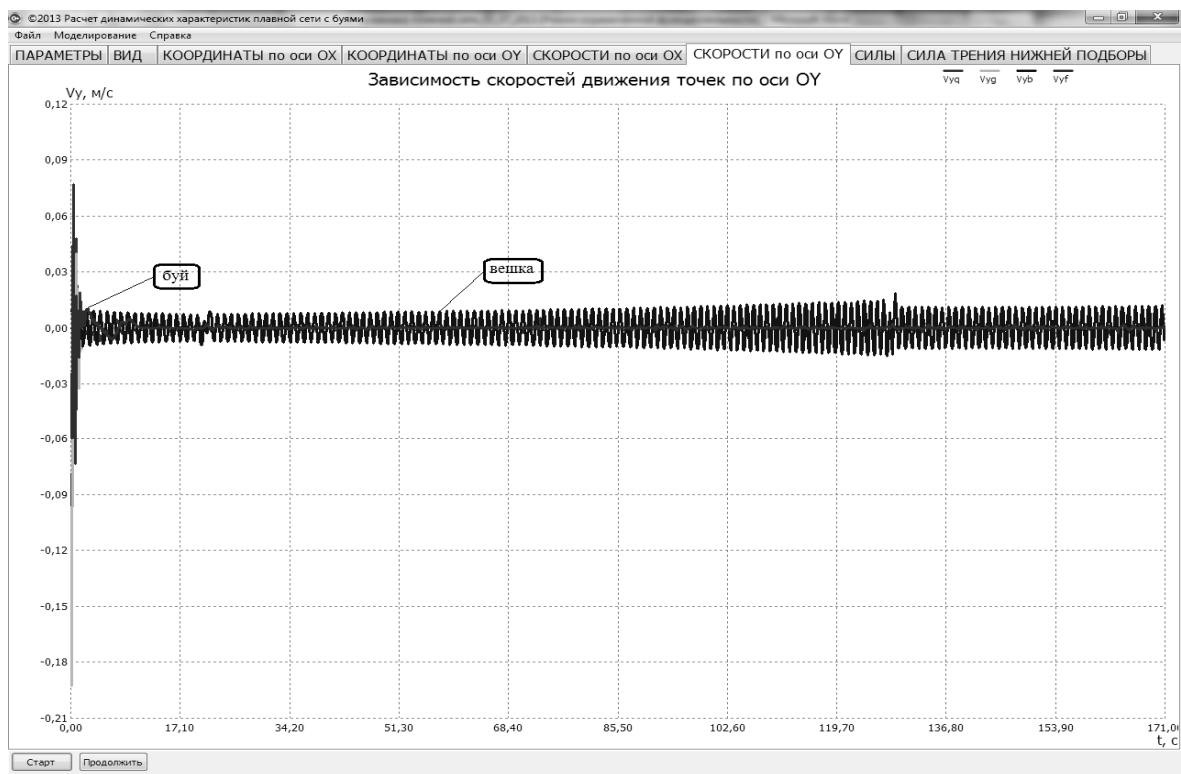


Рис. 10. Зависимость проекции скоростей на ось OY от времени
 Fig. 10. Dependence of a projection of speeds on the OY axis from time

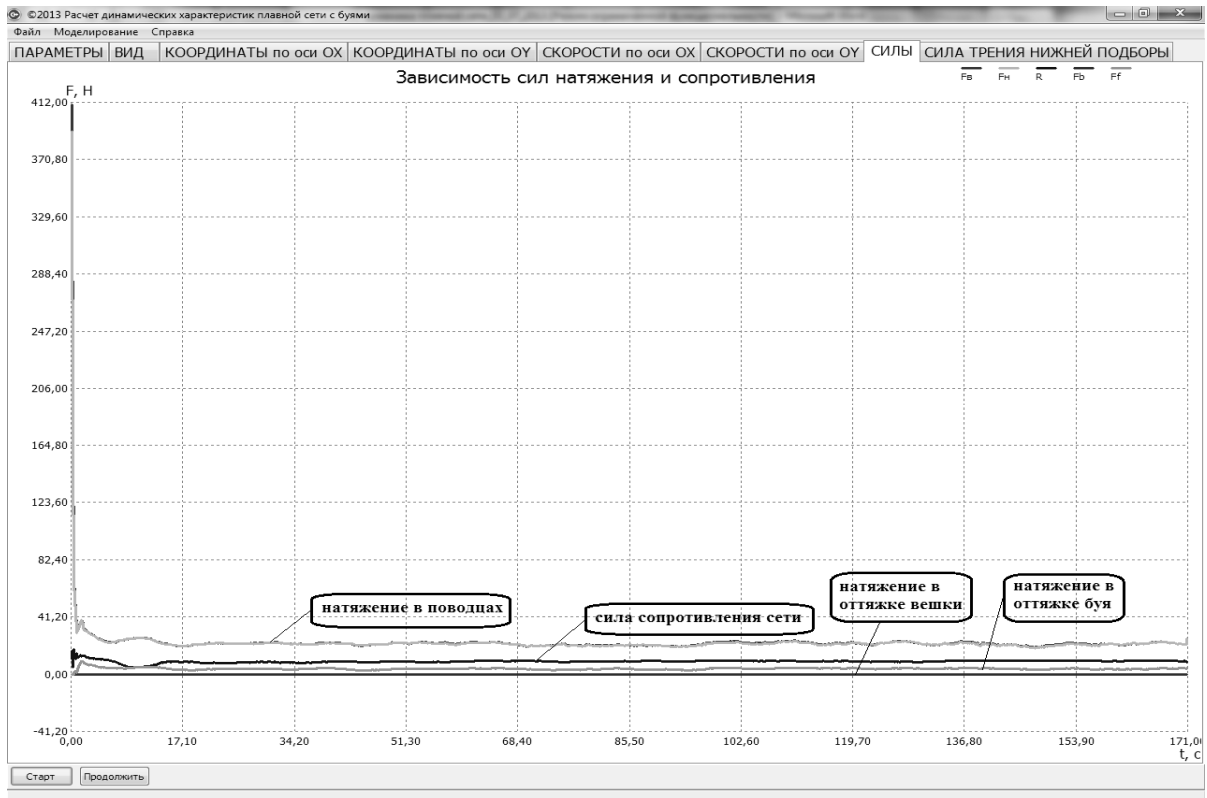


Рис. 11. Зависимость сил сопротивления сети и натяжения в оттяжках и поводцах от времени
 Fig. 11. Dependence of drag force of a net and tension in streamer lines from time

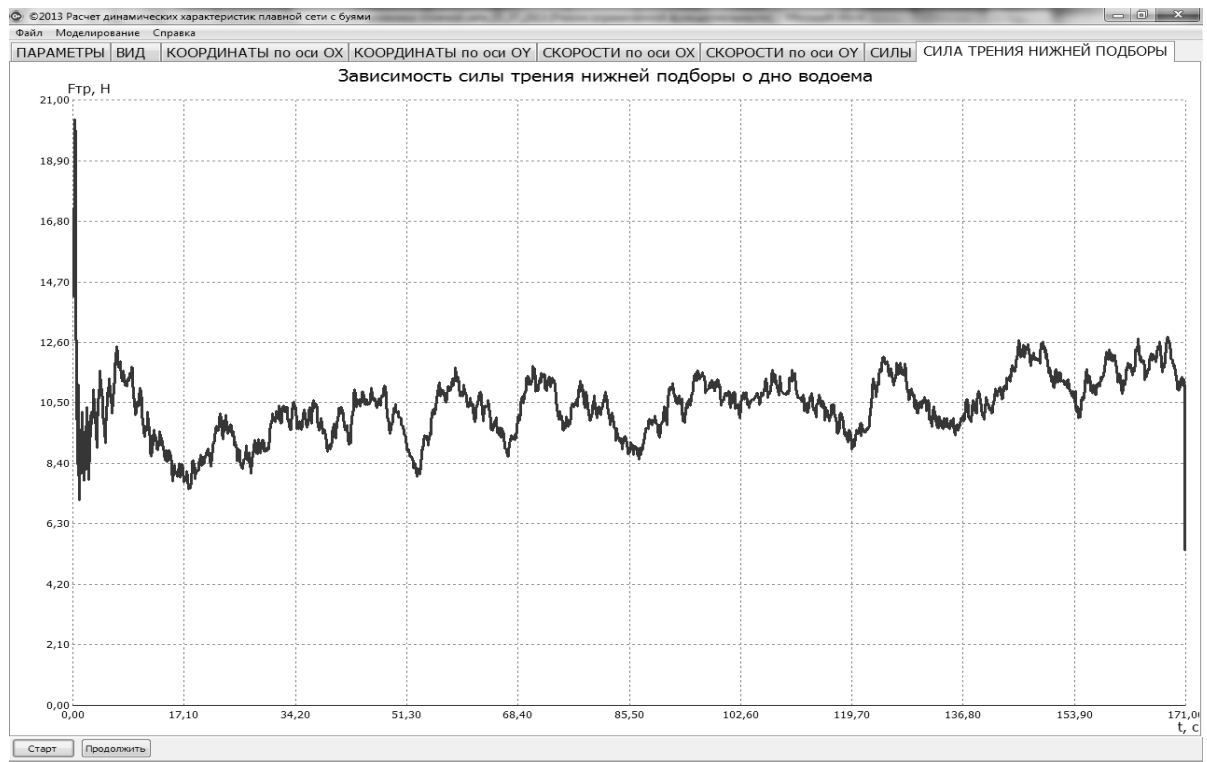


Рис. 12. Зависимость силы трения нижней подборы о дно водоема от времени
 Fig. 12. Dependence of frictional force lower selections about a reservoir bottom from time

Список литературы

1. Баранов Ф.И. Теория и расчет орудий рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1948. – 436 с.
2. Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 696 с.
3. Литвиненко А.И. Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России: справ. Орудия промышленного рыболовства Сибири и Урала. – Тюмень: ГОСРЫБЦЕНТР, 2003а. – Т. 2. – 186 с.
4. Литвиненко А.И. Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России: справ. Орудия промышленного рыболовства южных районов Европейской части России. – Тюмень: ГОСРЫБЦЕНТР, 2003б. – Т. 3. – 248 с.
5. Литвиненко А.И. Орудия промышленного рыболовства внутренних водоемов России: справ. Орудия промышленного рыболовства центрального, северного и северо-западного районов Европейской части России. – Тюмень: ГОСРЫБЦЕНТР, 2004. – Т. 4. – 242 с.
6. Официальный сайт Embarcadero RAD Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.embarcadero.com/ru/products/rad-studio>.
7. Страуструп Б. Программирование: принципы и практика использования C++, исправленное издание = Programming: Principles and Practice Using C++. – М.: Вильямс, 2011.
8. Страуструп Б. Язык программирования C++ = The C++ Programming Language / Пер. с англ. – 3-е изд. – СПб.; М.: Невский диалект — Бином, 1999. – 991 с.

Сведения об авторах: Недоступ Александр Алексеевич, проректор по информатизации и развитию, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой промышленного рыболовства, e-mail: nedostup@klgtu.ru;
Ражев Алексей Олегович, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра рыболовства и рыбохозяйственного образования, e-mail: rogaspp@live.ru.