

А. А. Недоступ, А. О. Ражев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАВНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ВОЛНЕНИЯ РЕКИ¹

Плавная сеть представляет собой обьёчеивающее орудие внутреннего и прибрежного рыболовства. Различают три способа эксплуатации сетей: плав по поверхности, плав разноглубинный и плав донный. Необходимо рассчитать параметры сети так, чтобы при различных значениях скорости течения и характеристиках волнения ее форма и раскрытие удовлетворяли условиям промысла. Предлагается дискретная композитная математическая модель поверхностной одностенной плавной сети, позволяющая по заданной конструкции и параметрам элементов сети определить ее силовые и пространственно-временные характеристики с учетом волнения. Модель основана на композиции волновой модели Стокса – Релея и дискретной модели точечных масс. В процессе раскрытия и сплава сети рассчитываются соответствующие гидродинамические и гидростатические силы, действующие на различные элементы, определяются скорость различных элементов и их перемещение. На основе предложенной математической модели плавной сети был проведен численный эксперимент продолжительностью 120 секунд. В течение первых 70 секунд эксперимент проводился в отсутствие волнения, в течение остальных 50 секунд учитывалось влияние волнения при прочих равных условиях. Параметры волны: высота волны $h = 0,25$ м; длина волны $\lambda = 5$ м. В результате эксперимента были получены графики зависимостей силовых и геометрических характеристик сети от времени процесса моделирования. Показано, что при волнении раскрытие и, следовательно, уловистость сети увеличиваются, увеличивается также скорость плава, а сила гидродинамического сопротивления уменьшается.

Ключевые слова: плавная сеть, моделирование, динамика, волнение, точечная масса.

Введение

Лов ставными рыболовными сетями в местах с сильным течением, особенно там, где вода несет много посторонних предметов, бывает малоэффективным. Сильное течение и волнение деформируют рыболовную сеть, создавая большое натяжение нитей сетного полотна, что делает сеть малоуловистой. В таких местах эффективнее использовать плавные рыболовные сети, которые свободно сплывают по течению навстречу рыбе, поднимающейся вверх по реке.

Лов плавными сетями применяют в низовьях рек Волги и Дона для лова частиковых рыб, на р. Амур для лова лососевых, на р. Обь во время весеннего нерестового хода нельмы, муксуна, сырка, пыжьяна, стерляди, язя и других ценных промысловых рыб. Этот лов применяют и на таких небольших реках, как Кура и Печора, т. к. в этих водоемах он эффективнее, чем лов ставными сетями.

Плавная сеть представляет собой обьёчеивающее орудие внутреннего и прибрежного рыболовства. Различают три способа эксплуатации сетей: плав по поверхности, плав разноглубинный и плав донный [1, 2]. Целью исследования была разработка математической модели донной одностенной плавной сети, позволяющей по заданной конструкции и параметрам элементов сети определить ее силовые и пространственно-временные характеристики с учетом волнения.

Математическая модель

Донная плавная сеть 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. Вид донной плавной сети в плоскости Oxz показан на рис. 1.

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 значениях скорости течения и характеристиках волнения ее форма и раскрытие удовлетворяли условиям промысла.

¹ Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 15-08-464а.

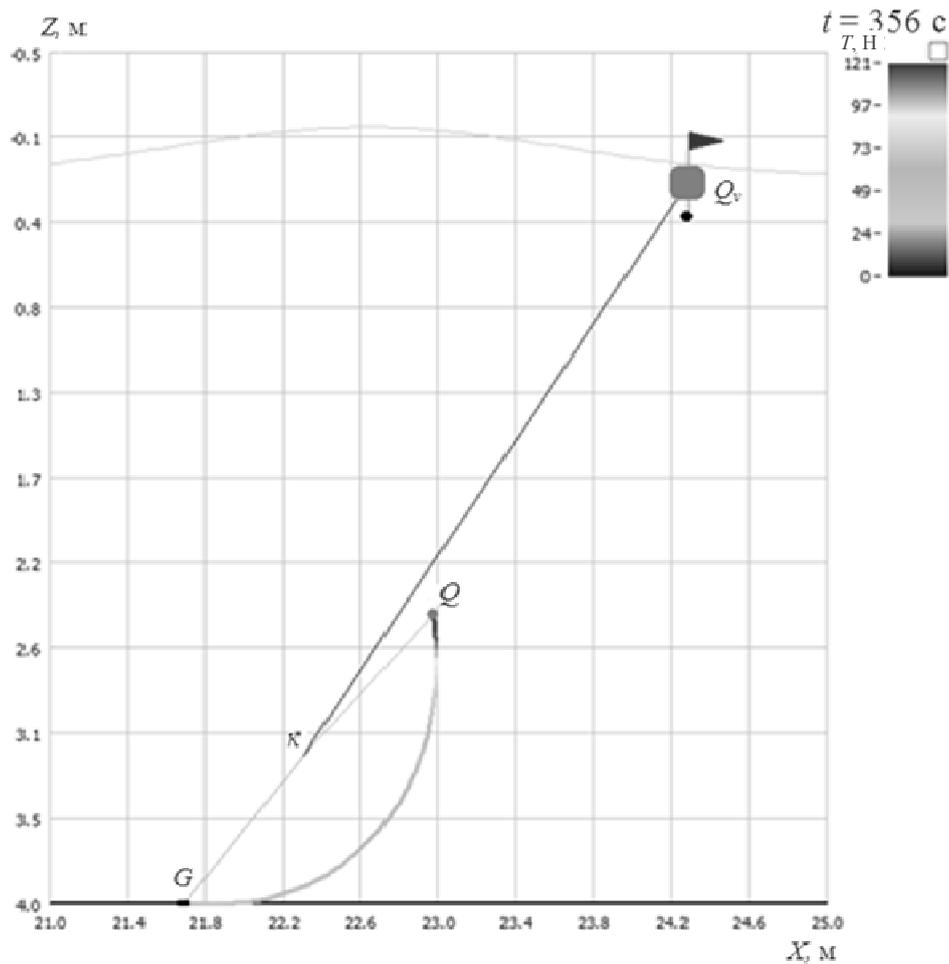


Рис. 1. Вид донной плавной сети в плоскости OXZ :
 Q – верхняя подбора; Q_v – вешка; G – нижняя подбора;
 K – точка соединения оттяжки и поводцов; T – сила натяжения

Рассмотрим экстремальный случай, когда фронт волны распространяется противоположно направлению сплава сети. В указанных условиях задачу можно свести к двумерному случаю, рассматривая процесс в плоскости, перпендикулярной течению и фронту волны.

В данной плоскости, согласно волновой модели Стокса – Релея, описанной в [3], частицы воды у поверхности движутся по эллиптическим траекториям (рис. 2).

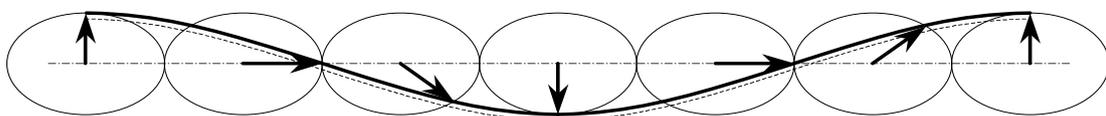


Рис. 2. Профиль волны, соответствующий модели Стокса – Релея

Вектор скорости воды (u, w) относительно дна водоема в точке (x_0, z_0) является суммой трех составляющих:

$$(u, w) = (v, 0) + (u_b, 0) + (u_w, w_w),$$

где v – скорость вынужденного течения (речного); u_b – скорость волнового течения; u_w и w_w – горизонтальная и вертикальная проекции скорости вращения воды, вызванного волной, на оси декартовой системы координат.

Проекции скорости вращения воды, вызванного волной, на оси декартовой системы координат определяются системой параметрических уравнений [4]:

$$\begin{cases} u_w = \frac{hg}{2c} \frac{\cos h(kz_0)}{\cosh(kH)} \cos t_w, \\ w_w = \frac{hg}{2c} \frac{\sin h(kz_0)}{\cosh(kH)} \sin t_w, \end{cases}$$

где h – высота волны; c – скорость распространения волны; g – ускорение свободного падения; $k = 2\pi/\lambda$; λ – длина волны; H – глубина места лова; z_0 – высота от дна водоема; t_w – промежуточная величина системы параметрических уравнений.

Скорость распространения волны определяется зависимостью

$$c = \sqrt{gR \tanh(kH)}, R = 1/k.$$

Скорость волнового течения [5]:

$$u_b = u_{\text{вп}} \frac{\cosh(kz_0)}{\cosh(kH)},$$

где $u_{\text{вп}} = 0,25h^2k^2c$ – скорость ветрового течения на поверхности.

Скорость вынужденного течения на высоте от дна водоема z_0 определяется зависимостью

$$v = v_n \sqrt{1 - (0,57 + 3,3/C) \frac{(H - z_0)^2}{H^2}},$$

где v_n – скорость вынужденного течения на поверхности; C – коэффициент формулы Шези, изменяющийся для рек в пределах 10–60 м^{1/2}/с.

При создании математической модели необходимо учесть, что элементы плавной сети могут находиться на поверхности воды. В связи с этим необходимо знать зависимость профиля волны от времени в декартовой системе координат (x, z) . Данная зависимость определяется системой параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x = Rt_w + a_0 \sin t_w + ct, \\ z = H + d_0 - b_0 \cos t_w, \end{cases}$$

где t – модельное время; a_0 и b_0 – горизонтальная и вертикальная полуоси эллипса (рис. 2); $d_0 = 0,25\pi h^2/\lambda$ – поднятие центра орбит, вызванное несимметричностью волны относительно линии, определяющей положение воды в покое [5].

Согласно волновой модели Стокса – Релея, размер полуосей эллипса определяется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} a_0(z_0) &= \frac{h}{2} \frac{\cosh(kz_0)}{\sin h(kH)}, \\ b_0(z_0) &= \frac{h}{2} \frac{\sin h(kz_0)}{\sin h(kH)}. \end{aligned}$$

При расчете сил гидродинамического сопротивления необходимо учитывать скорость движения элементов плавной сети относительно воды. Результирующий вектор мгновенной скорости в произвольной точке невода определяется как разность вектора скорости движения этой точки и вектора движения воды относительно дна водоема (u, w) .

Рассмотрим процесс дискретного моделирования плавной сети. Разобьем сеть на множество дискретных элементов, обрабатываемых по одному алгоритму. Представим плавную сеть

в виде пяти групп элементов: сетное полотно; верхняя подбора; нижняя подбора; оттяжки и поводцы; вешки. Выведем зависимости, связывающие силовые и геометрические характеристики элементов сети по каждой группе [3].

Для элементов сетного полотна, оттяжек и поводцов в модели точечных масс [6] проекции сил гидродинамического сопротивления на оси декартовой системы координат, в которой ось OX направлена по скорости движения элемента сети относительно воды, имеют следующие эвристические зависимости [7]:

$$R_x = \frac{1}{2} \left(c_0 + (c_{90} - c_0) \frac{\sqrt{r^2 - r_x^2}}{r} \right) v^2 \rho S F_0, \quad R_z = \frac{1}{2} c_{90} \frac{r_x r_z}{r^2} v^2 \rho S F_0, \quad (1)$$

где R_x, R_z – проекции сил гидродинамического сопротивления; c_0 – гидродинамический коэффициент для сети, расположенной параллельно потоку воды; c_{90} – гидродинамический коэффициент для сети, расположенной перпендикулярно потоку воды; r – длина связи между узлами модели точечных масс; r_x, r_z – длина проекции элемента на оси прямоугольной декартовой системы координат, ось OX которой направлена в направлении скорости перемещения узла относительно воды; v – абсолютное значение скорости перемещения узла относительно воды; ρ – плотность воды; S – площадь участка сети; F_0 – сплошность участка сети.

Гидродинамические коэффициенты [8] находятся отдельно для сетного полотна и оттяжек с поводцами:

$$c_0 = F_0 \text{Re}^{-b}, \quad c_{90} = 16 \left(\frac{2F_0}{\text{Re}} \right)^{0,28}, \quad \text{Re} = \frac{d}{\vartheta} v, \quad (2)$$

где Re – число Рейнольдса для сети; d – диаметр ниток сети; ϑ – кинематическая вязкость воды; b – коэффициент, учитывающий тип материала сети ($b = 0,165$ для капроновой сети, $b = 0,16$ – для полиэтиленовой сети).

Для вычисления гидродинамических коэффициентов используется математическая операция возведения в степень. Данная операция достаточно трудоемка при вычислениях на ЭВМ. Рассмотрим метод оптимизации вычисления сил гидродинамического сопротивления, основанный на разложении их функции от скорости в ряд Тейлора [9] и применении SIMD-инструкций [10] центрального и графического процессоров.

Подставив (2) в (1) можно преобразовать (1) к виду

$$R = k_0 v^{2-b} + (k_{90} v^{1,72} - k_0 v^{2-b}) \chi, \quad (3)$$

где R – одна из проекций сил гидродинамического сопротивления; k_0, k_1 – постоянные для участка сети коэффициенты, зависящие от параметров посадки и материала участка сети; χ – безразмерный параметр, определяющий ориентацию участка в сети относительно вектора относительной скорости v .

Коэффициент k_{90} одинаков для каждой проекции R . Коэффициент k_0 различен для каждой проекции R . Данные коэффициенты постоянны в течение всего процесса моделирования и вычисляются перед началом работы основного цикла алгоритма.

Параметр χ является переменным и вычисляется на каждой итерации алгоритма моделирования для каждой проекции R .

В выражении (3) математические операции возведения переменной v в степень запишем в виде

$$f(v) = v^p, \quad (4)$$

где $p = 2 - b$ для k_0 и $p = 1,72$ для k_{90} .

Разложим выражение (4) в ряд Тейлора четвертого порядка [9]. Общий вид разложения задается выражением

$$f(v) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{f^{(i)}(a)}{i!} (v-a)^i,$$

где $f^{(i)}(a)$ – значение производной i -го порядка разлагаемой функции в точке a .

При $a = 1$ при разложении четвертого порядка получим

$$f(v) = 1 + p(v-1) \left(1 + \frac{1}{2}(p-1)(v-1) \left(1 + \frac{1}{3}(p-2)(v-1) \left(1 + \frac{1}{4}(p-3)(v-1) \right) \right) \right). \quad (5)$$

В выражении (5) используются только операции умножения, сложения и вычитания. Данные операции на современных процессорах выполняются аппаратно и быстро.

Для преобразования длин проекций участка сети из системы координат, ось OX которой параллельна дну водоема, в систему координат, ось OX которой совпадает с направлением движения элемента, а также для обратного преобразования проекций сил гидродинамического сопротивления элементов сети используется аффинное преобразование [11].

Для подбор и вешек при расчете гидродинамических сил сопротивления используем следующие зависимости (как для цилиндра):

$$R_G = \frac{1}{2} b_1 k_{1G} \left(\frac{d_G v}{v} \right)^{-0,16} v^2 \rho d_G L,$$

$$R_Q = \frac{1}{2} b_1 k_{1Q} \left(\frac{d_Q v}{v} \right)^{-0,16} v^2 \rho d_Q L,$$

$$R_v = \frac{1}{2} b_v k_v \left(\frac{d_v v}{v} \right)^{-0,16} v^2 \rho d_v h_v,$$

$$k_{1G} = \frac{1}{1 + (d_G / L)^{1/3}}, \quad k_{1Q} = \frac{1}{1 + (d_Q / L)^{1/3}}, \quad k_v = \frac{1}{1 + (d_v / h_v)^{1/3}},$$

где R_G – сила гидродинамического сопротивления нижней подборы; d_G – диаметр нижней подборы; R_Q – сила гидродинамического сопротивления участка верхней подборы; d_Q – диаметр верхней подборы; R_v – сила гидродинамического сопротивления вешки; d_v – диаметр пенопласта вешки; h_v – высота пенопласта вешки; $b_v = 3,0$ – коэффициент для гладкого цилиндра; $b_1 = 4,2$ – коэффициент для шестипрядных полиэтиленовых канатов [4]; k_{1G}, k_{1Q}, k_v – поправочные коэффициенты, определяющие удлинение цилиндра; L – длина сети; v – кинематическая вязкость воды.

При расчете внешних сил, действующих на узлы сети в модели точечных масс, необходимо также учесть гидростатические гравитационные силы, действующие на ее элементы и силы (силы натяжения) взаимодействия между элементами сети.

Суммарная сила натяжения на произвольном участке сети определяется из уравнения

$$T = \begin{cases} (r/r_0 - 1)EA & | r > r_0, \\ 0 & | r \leq r_0, \end{cases}$$

где A – сумма площадей поперечного сечения элементов на участке плоскостью, проходящей между его узлами параллельно плоскости OXZ ; r_0 – длина участка при $T = 0$ (без растяжения); E – модуль упругости материала.

Составим дифференциальные уравнения движения и определим начальные условия для каждого узла:

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

$$m_i \bar{w}_i = \sum_{j \in N_i} \left(\frac{(\bar{r}_j - \bar{r}_i)}{r} T - \frac{\bar{F}_{ij}}{2} \right) + \bar{F}_i,$$

где v_i – скорость узла i ; r_i^0 – начальные координаты узла i ; t – время процесса моделирования; m_i – сосредоточенная масса в узле i с учетом присоединенной массы; w_i – узловое ускорение; F – внешняя сила, действующая со стороны среды на участок сети; r_i – координаты узла i ; r_j – координаты узла j ; F_i – равнодействующая внешних сил, действующая со стороны среды на узел i ; N_i – множество всех узлов, смежных узлу i по ребру (i, j) .

Найдем массы, сосредоточенные в узле, по каждой группе элементов сети:

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

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

Для узлов сетного полотна примем $m_{0i} = 0$.

Для нижней подборки

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

где G – вес нижней подборки; ρ_G – усредненная плотность нижней подборки с нагрузкой.

Для верхней подборки и вешки

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

где Q – плавучесть верхней подборки или вешки; ρ_Q – усредненная плотность верхней подборки или вешки.

На основе предложенной математической модели плавной сети был проведен численный эксперимент, который длился 120 секунд: в первые 70 секунд эксперимент проводился без волнения, в течение остальных 50 секунд – с учетом влияния волнения при прочих равных условиях. Параметры волны: высота волны $h = 0,25$ м; длина волны $\lambda = 5$ м. Графики зависимости различных величин от времени процесса моделирования, построенные по результатам эксперимента, приведены на рис. 3–5.

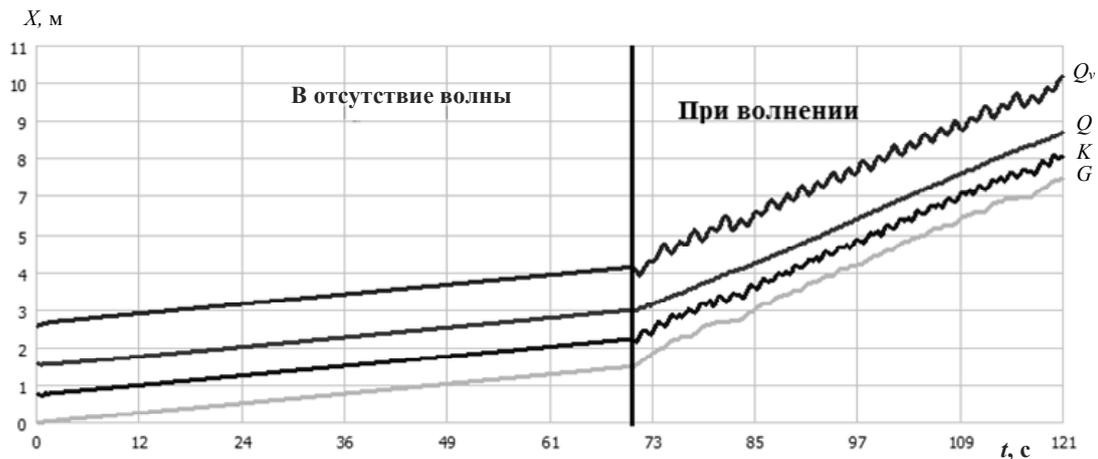


Рис. 3. Динамика плавания сети:

Q_v – вешка; K – точка соединения поводков с оттяжкой вешки;
 G – нижняя подборка с грузом; Q – верхняя подборка с плавками

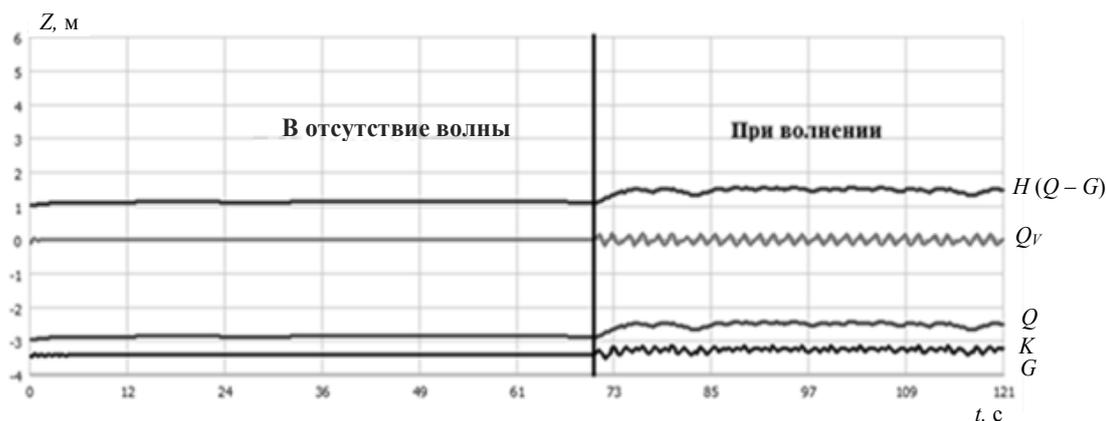


Рис. 4. Динамика величины раскрытия сети и вертикальных координат ее элементов:
 $H(Q - G)$ – высота раскрытия сети, остальные обозначения соответствуют рис. 3

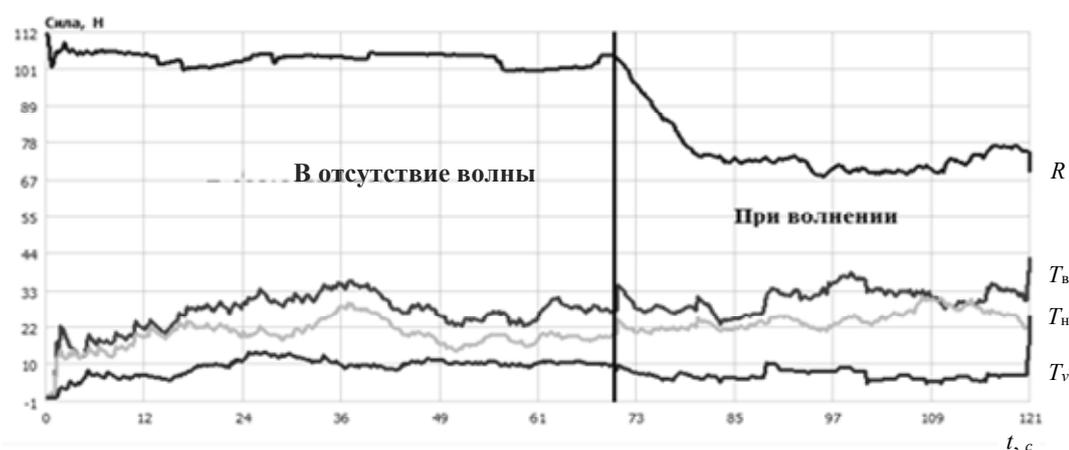


Рис. 5. Динамика силы гидродинамического сопротивления и сил натяжения сети:
 T_v – натяжение в оттяжке вешки; T_n – натяжение в нижнем поводце;
 T_v – натяжение в верхнем поводце; R – сила гидродинамического сопротивления сети

По графикам можно сделать вывод, что при волнении раскрытие и, соответственно, уловистость сети увеличиваются, скорость плава увеличивается, а сила гидродинамического сопротивления уменьшается. Происходящее обусловлено «подбрасыванием» сети на вершинах волны вверх, что приводит к уменьшению силы трения нижней подборы о грунт водоема. В свою очередь, уменьшение силы трения (уменьшение торможения сети) приводит к увеличению скорости плава сети.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования получены следующие результаты.

1. Разработана математическая модель динамических процессов, происходящих в плавной сети в условиях волнения, основанная на композиции двух математических моделей: модели волнения Стокса – Релея и модели точечных масс.
2. Предложен метод оптимизации вычисления сил гидродинамического сопротивления на ЭВМ, основанный на разложении в ряд Тейлора.
3. Проведен численный эксперимент, по результатам которого построены графики зависимости различных величин от времени процесса моделирования.
4. Установлено, что при волнении раскрытие и, соответственно, уловистость сети увеличиваются, скорость плава увеличивается, а сила гидродинамического сопротивления уменьшается.

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. Недоступ А. А., Ражев А. О. Разработка математической модели крыла ставного подвесного невода на волнении и в условиях шторма // Изв. Калининград. гос. техн. ун-та. 2014. № 35. С. 66–74.
4. Недоступ А. А., Володько Д. А., Ражев А. О. Гидродинамический расчет рыболовной сети // Сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. «Инженерные системы-2012». М.: РУДН, 2012. С. 27–31.
5. Чеботарев А. И. Общая гидрология (воды суши): учеб. пособие. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 530 с.
6. Nedostup A. A., Razhev A. O. A discrete model of gill nets for static and dynamic problems // 11th International workshop – Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems DEMAT 2013. Germany, Rostock, 2013. Vol. 8. P. 13–22.
7. Недоступ А. А. Методы расчета сетных пассивных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. 280 с.
8. Недоступ А. А., Наумов В. А., Ражев А. О., Белых А. В. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2013. Ч. 1. 253 с.
9. Ильин В. А., Садовничий В. А., Сендов Б. Х. Математический анализ / под ред. А. Н. Тихонова. М.: Проспект, 2004. Ч. 1. 660 с.
10. Patterson David A., Hennessy John L. Computer Organization and Design, Fourth Edition: The Hardware/Software Interface. Morgan Kaufmann, 2011. 914 p.
11. Дорофеев С. Н. Геометрические преобразования в примерах и задачах: учеб. пособие. Пенза: Информ.-изд. центр ПГУ, 2002. 189 с.

Статья поступила в редакцию 16.06.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой промышленного рыболовства; nedostup@klgtu.ru.

Ражев Алексей Олегович – Россия, 236022, Калининград; Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры промышленного рыболовства; progacpp@live.ru.



A. A. Nedostup, A. O. Razhev

MATHEMATICAL MODELING OF DRIFTING NET OPERATIONS IN THE RIVER DISTURBANCE

Abstract. Drifting net is an enmeshing gear of inland and coastal fisheries. There are three ways of nets operations: float on the surface, mid-water float and bottom float. It is necessary to calculate the parameters of the net so that at different velocities and characteristics of disturbance its form and disclosure meet the conditions of the fishery. The paper proposes a discrete composite mathematical model of the surface single-walled drifting net, allowing, in accordance with the given structure and parameters of the network elements, to determine its power and spatial-temporal characteristics under the river disturbance. The model is based on the composition of Stokes – Relay's wave model and discrete model of material point. While releasing and drifting of the net, the corresponding hydrodynamic and hydrostatic forces effecting different elements are calculated, the speed of the different elements and their replacements are determined. Based on the proposed mathematical model of the drifting net a numerical experiment that lasted 120 seconds was carried out. During the first 70 seconds the experiment was carried out without disturbance, during the rest 50 seconds the effect of disturbance at ceteris paribus was taken into account. The wave parameters: wave height $h = 0.25$ m, wave length $\lambda = 5$ m. As a result of the experiment the dependence

of force and geometrical characteristics of the net on the time of the modeling process was obtained. It is shown that under disturbance release and, therefore, catching capacity are increased, drifting rate is increased as well, but the power of hydrodynamic resistance is decreased.

Key words: drifting net, modeling, dynamics, disturbance, material point.

REFERENCES

1. Baranov F. I. *Teoriia i raschet orudii rybolovstva* [Theory and calculation of fishing gears]. Moscow, Pishchepromizdat, 1948. 436 p.
2. Baranov F. I. *Tekhnika promyshlennogo rybolovstva* [Commercial fishery engineering]. Moscow, Pishchepromizdat, 1960. 696 p.
3. Nedostup A. A., Razhev A. O. Razrabotka matematicheskoi modeli kryla stavnogo podvesnogo nevoda na volnenii i v usloviakh shtorma [Development of mathematical model of side of the stationary suspended net in disturbance and hurricane waves]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 5, pp. 66–74.
4. Nedostup A. A., Volod'ko D. A., Razhev A. O. Gidrodinamicheskii raschet rybolovnoi seti [Hydrodynamic calculation of fishing net]. *Sbornik trudov V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Inzhenernye sistemy-2012»*. Moscow, RUDN, 2012. P. 27–31.
5. Chebotarev A. I. *Obshchaia gidrologiia (vody sushi)* [General hydrology (inland waters)]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1975. 530 p.
6. Nedostup A. A., Razhev A. O. A discrete model of gill nets for static and dynamic problems. *11th International workshop – Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems DEMAT 2013*. Germany, Rostock, 2013. Vol. 8. P. 13–22.
7. Nedostup A. A. *Metody rascheta setnykh passivnykh orudii vnutrennego i pribrezhnogo rybolovstva* [Methods of calculation of net stationary gears of inland and coastal fishery]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2010. 280 p.
8. Nedostup A. A., Naumov V. A., Razhev A. O., Belykh A. V. *Matematicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva* [Mathematical modeling of gears and fishery processes]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2013. Part 1. 253 p.
9. Il'in V. A., Sadovnichii V. A., Sendov B. Kh. *Matematicheskii analiz* [Mathematical analysis]. Pod red. A. N. Tikhonova. Moscow, Prospekt Publ., 2004. 660 p.
10. Patterson David A., Hennessy John L. *Computer Organization and Design, Fourth Edition: The Hardware/Software Interface*. Morgan Kaufmann, 2011. 914 p.
11. Dorofeev S. N. *Geometricheskie preobrazovaniia v primerakh i zadachakh* [Geometrical transformations by examples and tasks]. Penza, Informatsionno-izdatel'skii tsentr PGU, 2002. 189 p.

The article submitted to the editors 16.06.2016

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nedostup Alexander Alekseevich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Commercial Fishery; nedostup@klgtu.ru.

Razhev Alexey Olegovich – Russia, 236022, Kaliningrad; Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Commercial Fishery; progacpp@live.ru.

