

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРКИ СТАВНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕВЫБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

А. А. Недоступ, А. О. Ражев, В. А. Наумов, Е. К. Орлов (Калининград)

Комплексная механизация процессов промышленного рыболовства включает в себя применение широкого спектра промысловых механизмов фрикционного типа (МФТ). Ставная сеть удерживается на поверхности тягового барабана фрикционного механизма при помощи силы трения и перемещается вместе с вращающимся барабаном без проскальзывания (буксования). В условиях промысла не всегда удается избежать эффекта проскальзывания, поэтому актуально изучение фрикционного взаимодействия ставной сети и тягового барабана.

В данной статье описана математическая модель взаимодействия барабана фрикционного типа со ставной сетью, определяющая поведение системы в динамике с учетом возможного проскальзывания сети по барабану. По полученной математической модели можно построить имитационную модель, на основе которой создать компьютерную программу, моделирующую процесс выборки.

На рис. 1 показана схема системы, для которой создается математическая модель взаимодействия МФТ и ставной сети. Рассматриваемая система состоит из тягового барабана и сети с уловом. Рассматривается случай, когда сеть с уловом полностью находится в воде в течение всего процесса моделирования. При этом вода не имеет течения, гидродинамическая сила вызвана только поступательным движением ставной сети с уловом при выборке, а вектор скорости движения параллелен вектору силы тяжести и направлен вверх.

Динамика вращения барабана с сетью и уловом, движения сети с уловом без проскальзывания и с проскальзыванием математически задается дифференциальными уравнениями (1), (2) и (3) соответственно.

$$J_1 \frac{d\omega}{dt} = M - \operatorname{sgn}\left(\omega \frac{D}{2} - v\right) F_{mp} \frac{D}{2}, \quad \omega = \dot{\psi}(0) \quad 0 = \omega(0) \quad 0, \quad (1)$$

$$v = \frac{\omega D}{2}, \quad \frac{dL_1}{dt} = -v, \quad L_1(0) = L_0, \quad (2)$$

$$m \frac{dv}{dt} = \operatorname{sgn}\left(\omega \frac{D}{2} - v\right) F_{mp} - S_1 + S_2, \quad \frac{dL_1}{dt} = -v, \quad L_1(0) = L_0, \quad v(0) = 0, \quad (3)$$

где M – вращающий момент, приложенный к валу барабана;

ψ – угол поворота вала;

t – модельное время;

J_1 – момент (приведенный) инерции вала с барабаном и сетью;

L_0 – длина набегающей ветви сети в начале процесса моделирования;

m – масса сети с уловом (с учетом присоединенной массы).

Вращающий момент M зависит от конструкции барабана, применяемого двигателя и системы управления и может быть функцией от угловой скорости вала. Сила трения ставной сети о барабан F_{mp} приложена к поверхности барабана по касательной (см. рис. 1) и вычисляется по формуле (4):

$$F_{mp} = S_1 - S_2. \quad (4)$$

На рисунке 1 обозначено: L_1 – длина набегающей ветви сети; L_2 – длина сбегающей ветви сети; H_n – высота палубы над уровнем воды; D – диаметр барабана; ω – угловая скорость вала; v – линейная скорость движения сети; α – угол дуги охвата барабана сетью; S_1

– натяжение в набегающей ветви сети в точке касания барабана; S_2 – натяжение в сбегающей ветви сети в точке отрыва от барабана; F_{mp} – сила трения сети о барабан, примененная к барабану; \mathcal{M}_c – нормальная нагрузка на поверхность барабана; G – вес сети с уловом в воде; R – гидродинамическая сила сопротивления движению сети с уловом; H – длина подводной части набегающей ветви сети.

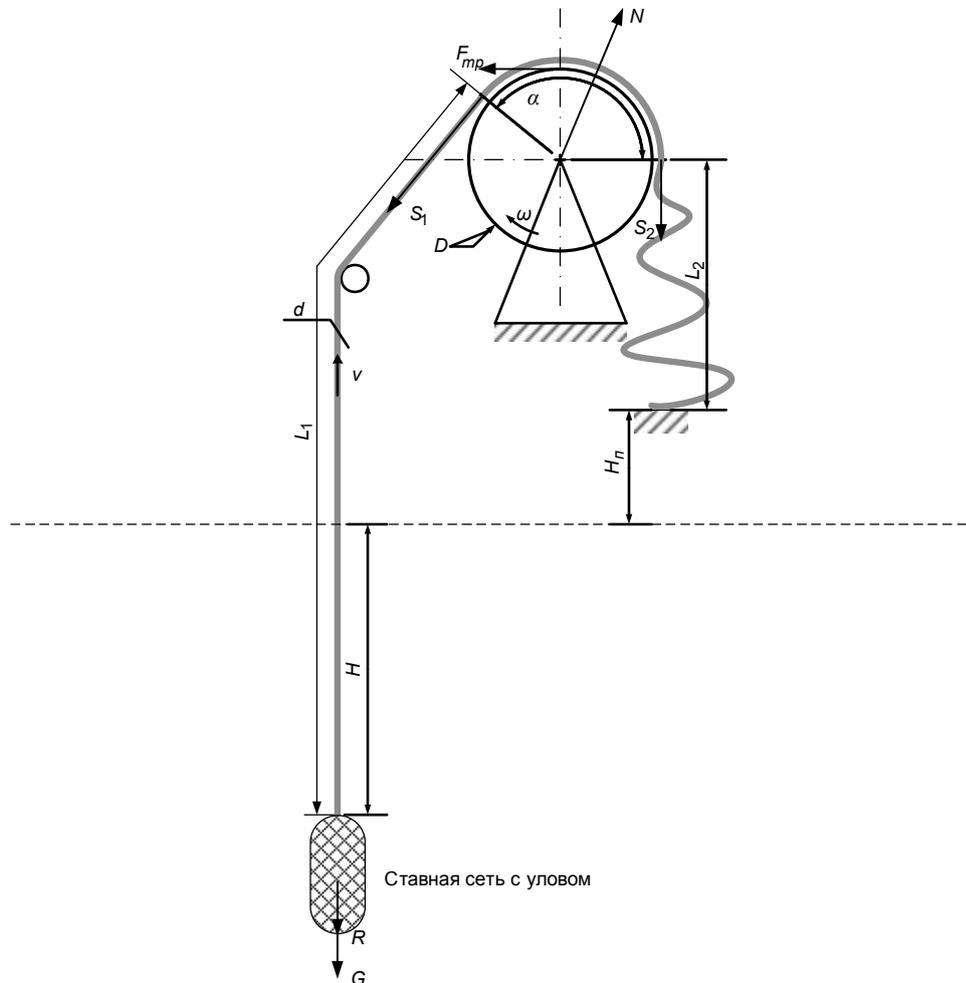


Рис. 1. Барабан фрикционного типа и ставная сеть с уловом

При вращении барабана без проскальзывания сети приведенный момент инерции вала с барабаном и сети с уловом вычисляется по формуле (5):

$$J_1 = J + m \frac{D^2}{4}, \quad (5)$$

где J – момент инерции вала с барабаном (приведенный).

При вращении с проскальзыванием барабан теряет жесткую связь с сетью, поэтому приведенный момент инерции $J_1=J$ не зависит от масс сети и улова.

При отсутствии проскальзывания выполняется условие (6):

$$\omega \frac{D}{2} = v. \quad (6)$$

Масса m сети с уловом является суммой масс (7):

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_c + m_n, \quad (7)$$

где m_1 – масса набегающей ветви сети;
 m_2 – масса сбегающей ветви сети;
 m_3 – масса участка сети на барабане;
 m_c – масса сети с уловом;
 m_n – присоединенная масса сети с уловом.

Массы m_1 , m_2 , m_3 , m_c и m_n определяются по зависимостям (8)–(12):

$$m_1 = \frac{\pi}{4} d^2 L_1 \rho_\kappa \quad 8)$$

$$m_2 = \frac{\pi}{4} d^2 L_2 \rho_\kappa, \quad 9)$$

$$m_3 = \frac{\pi}{8} D d^2 \alpha \rho_\kappa, \quad 10)$$

$$m_c = \frac{G_a}{g}, \quad 11)$$

$$m_n = \frac{G_a}{g \rho_c} \rho, \quad 12)$$

где d – усредненный диаметр сети;
 ρ_κ – плотность намокшей сети;
 ρ – плотность воды;
 ρ_c – усредненная плотность сети с уловом;
 G – вес в воде сети с уловом;
 G_a – вес в воздухе сети с уловом;
 g – ускорение свободного падения.

В формуле (12) предполагается, что присоединенная масса сети с уловом равна массе воды в объеме сети и улова.

Вес в воздухе сети с уловом (13):

$$G_a = \frac{G}{\rho_c - \rho} \rho_c. \quad 13)$$

Натяжение в набегающей ветви сети в точке касания барабана, вызванное весом каната, сети с уловом и гидродинамической силой сопротивления движения сети с уловом, рассчитывается по формулам (14)–(16):

$$S_1 = \left(m_1 - \frac{\pi}{4} d^2 H \rho \right) g + G + (m_1 + m_c + m_n) \frac{dv}{dt} + R, \quad 14)$$

$$H = L_1 - L_2 - H_n, \quad 15)$$

$$R = c v^2, \quad 16)$$

где c – обобщенный гидродинамический коэффициент сопротивления сети с уловом.

Натяжение в сбегающей ветви сети в точке отрыва от барабана (17) постоянно в течение всего процесса моделирования:

$$S_2 = m_c g \frac{L_2}{L_0 + L_2}. \quad 17)$$

Сила трения (статическая и динамическая) каната о барабан при проскальзывании в общем случае имеют сложную зависимость от скорости проскальзывания сети и нормальной нагрузки на поверхность барабана с учетом фактора окружающей среды [1].

Зависимости для коэффициента трения сети о барабан, при значении которого не будет проскальзывания (18) и нормальной нагрузки на поверхность барабана (19), получены экспериментально [2,3].

$$\mu = 0,6 \sqrt{\frac{S_1 / S_2 - 1}{\alpha}}, \quad 18)$$

$$N = 2,778 S_2 \mu \alpha, \quad 19)$$

где μ – коэффициент трения.

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

Литература

1. **Чичинадзе А.В.** и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник для технических вузов. 2-е изд. переработ. и доп.; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение. – 2001. – 664 с.
2. **Недоступ А.А., Орлов Е.К.** Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа. «Трение и износ». Международный научный журнал, 2010. – Т. 31. – № 4. – С.403–411.
3. **Орлов Е.К., Недоступ А.А.** Результаты экспериментального исследования нормальной нагрузки при фрикционном взаимодействии орудия рыболовства с тяговым барабаном промыслового механизма // Рыбное хозяйство. – 2012. – № 5. – С. 97–101.