

**ANALYSIS OF THE APPLICATION OF SOME EMPIRICAL REGULARITIES
RELATED TO THE USE OF CERTAIN INDIVIDUALS
OF THE LAWS IN THE CONTROL SYSTEMS IN FISHING**

Likhter Anatoliy M., D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: Likhter@bk.ru

Churunov Vladimir N., Ph.D. (Engineering), corresponding member of MANEB, Senior Research Fellow, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation.

Novozhilov Yevgeniy P., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation.

In this paper some examples show how well-known laws of physics have been used in control systems for fishing. These include: finding the frictional resistance force in the various mechanisms of fishing and fishing gear when moving along the ground; efforts on finding the relationship to run off the end of the rope from the incoming forces, coefficients of friction and friction drum wrap angle with the Euler formula and its derivatives are obtained for more complex technical problems, especially when selecting gear harness.

Of great importance to fisheries is the formula of Newton, which determines the resistance of bodies in motion in the aquatic environment. Shows its transformation, including taking into account the work of some authors of the article.

Keywords: the laws of physics, Euler's formula, Newton, Friction, coefficient of friction, the exhausting effort to run off stress, wrap angle, rope, harness gear, the drag net

Развитие техники основывается на использовании физических законов, которые позволяют рационально решать задачи проектирования разнообразных механизмов, рассчитывать их рабочие параметры, определять области возможного применения [2]. Не является исключением и промышленное рыболовство (ПР). Например, ввиду того, что орудия ПР либо перемещаются в воде, либо стоят в водном потоке, большое значение имеет использование законов гидродинамики в приложении к сетным орудиям лова (СОЛ) рыб. Знание законов механики необходимо при выборе веревочных и канатных изделий различной прочности и износостойкости, при расчетах различных блоков и тяговых барабанов, применяемых для выборки и укладки СОЛ и канатов, при расчете поплавков, грузил и т.п. Целью данной статьи является анализ особенностей применения в системах управления промышленным ловом рыбы [4, 5] некоторых эмпирических закономерностей (основанных на законах механики и гидродинамики), которые слабо исследованы в существующей литературе. При проектировании рыбопромысловых машин используется известный в физике закон трения. В классической физике рассматривается движение тела по плоским горизонтальным или наклонной поверхностям и приводится формула для определения силы трения:

$$F_{\text{тр}} = N * f, \quad (1)$$

где N – сила нормального давления; f – коэффициент трения-скольжения, зависящий от сочетания материалов поверхности и самого тела. Влияние шероховатостей обеих поверхностей, наличие смазки учитывается через изменение коэффициента трения в (1).

В ПР силу трения нижней подборы и канатов о грунт учитывают при буксировке донных тралов, мутников и закидных неводов.

Учет силы трения особенно важен при выборке СОЛ на рыбопромысловых судах. В связи с этим большой интерес представляет задача взаимодействия вращающейся цилиндрической поверхности и перекинутой через нее длинной ленты. В свое время эту задачу рассмотрел академик Леонард Эйлер. Исходя из условия равномерного движения цилиндра с учетом сил, действующих на ленту (тяговых и трения), им было получено известное уравнение:

$$F_1/F_2 = e^{\mu\varphi}, \quad (2)$$

где F_1 – набегающее усилие; F_2 – сбегающее усилие; μ – коэффициент трения скольжения; φ – угол обхвата цилиндра лентой или канатом (в радианах).

В процессе использования СОЛ (включая тралы) на исполнительные органы вращающихся барабанов различного профиля накладываются канаты или жгут сетных орудий лова. При этом сила на сбегающей ветви зависит от угла обхвата φ барабана канатом или жгутом орудия лова и коэффициента трения μ о поверхность барабана (при известной F_1). Для достижения заданных тяговых характеристик барабана конструкторы подбирают такие материалы его поверхности, чтобы коэффициент μ был выше. Поверхность барабана вулканизируют резиной, используют ребра, направляющий блок, прижимные ролики, а также наложение на барабан дополнительных витков каната или жгута орудия лова, которые увеличивают угол φ .

Так, например, в лебедке ЛНР-1, используемой для выборки бежных урезов и крыльев закидных неводов, применены две пары желобчатых барабанов, угол обхвата которых канатом составляет 540–720°, что позволяет прикладывать к сбегающему канату большое усилие. С целью определения оптимального количества витков каната вокруг фрикционных барабанов (турачек) Торбан [8] предложил следующее выражение:

$$n = \frac{\lg(F_1/F_2)}{2\pi\mu * \lg(e)}, \quad (3)$$

а также дал в табличной форме материал, позволяющий найти наилучшее сочетание параметров F_1 , F_2 и μ .

Решение уравнения Эйлера (2) дает вполне приемлемый и достаточно точный результат. Натурными экспериментами были получены значения коэффициентов для разных типов канатов и сетматериалов [3, 6, 9].

При использовании фрикционных барабанов для выборки жгута орудия лова расчеты по формуле Эйлера приводят к значительным ошибкам. Это связано с тем, что формула Эйлера не учитывает изменяемость ряда факторов: коэффициента трения; особенности профилей желобов барабанов; формы и способа футеровки; изменения давления между трущимся жгутом невода и барабаном вдоль дуги охвата. Анализируя все эти факторы, Ф.И. Баранов получил формулу для расчета силы тяги гибкого жгута сетного полотна в иной форме:

$$F_1 = \frac{1}{\frac{1}{e^{b\varphi}} \left(\frac{1}{F_2} + \frac{a}{Rbl} \right)} - \frac{a}{Rbl}, \quad (4)$$

где φ – угол обхвата барабана жгутом сетного полотна; R – радиус поверхности барабана, на которой происходит трение; l – нормальная ширина контакта сетного полотна с поверхностью барабана; a и b – параметры трения, зависящие от материалов футеровки и сетного полотна, наличия узлов сетки и водяной смазки; а для барабана с трапецидальной конфигурацией сечения:

$$F_1 = \frac{1}{\frac{1}{e^B} \left(\frac{1}{F_2} + \frac{A}{B} \right)} - \frac{A}{B}, \quad (5)$$

где A , B , B – параметры, учитывающие среднюю толщину жгута, угол наклона щек барабана, ширину втулки барабана, а также материалы и структуру элементов сетного полотна, футеровки поверхности и т.п.

Таким образом, во всех случаях, когда жгут орудия лова выбирается из воды, для вычисления тяговых характеристик фрикционных машин можно пользоваться формулами (4) и (5), обеспечивающими достаточную точность вычислений.

Из анализа приведённых формул следует, что они сложны, а для достижения высокой точности результатов расчета требуется знание многочисленных коэффициентов.

Одной из важных экспериментальных задач является определение статического коэффициента трения системы «Рыболовные сетематериалы – тяговые барабаны» как в лабораторных, так и в промысловых условиях [5]. Например, Полуляк [7] при работах на машинах типа ПМВК применил разделение дуги обхвата на дугу покоя АС с углом $\varphi_{\text{п}}$ и дугу скольжения ВС с углом $\varphi_{\text{ск}}$ (рис.).

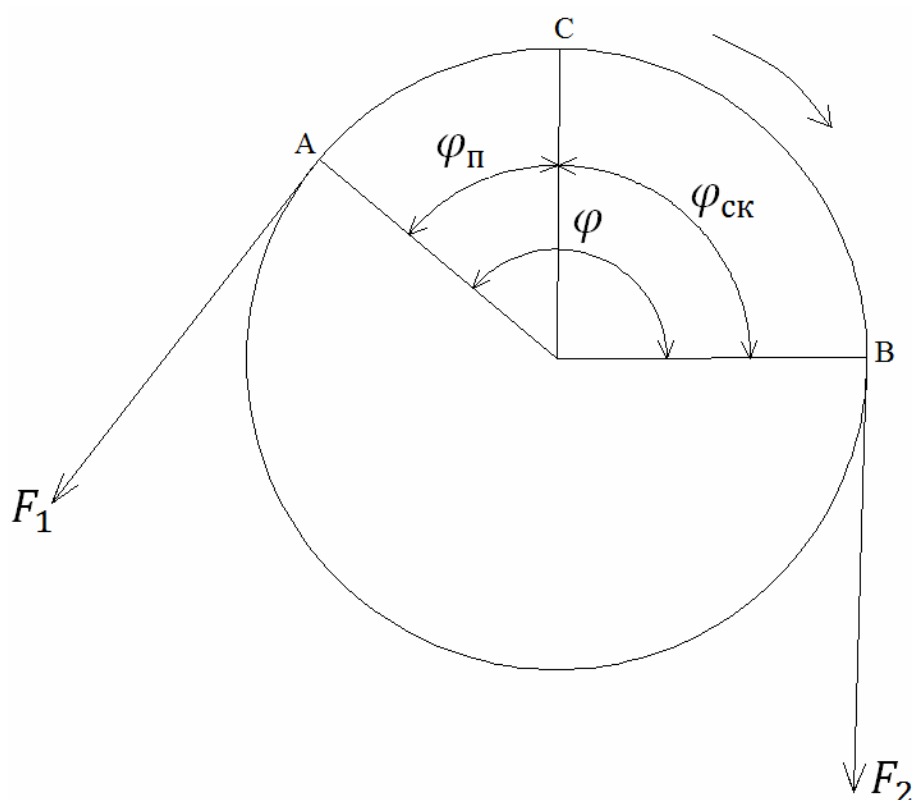


Рис. Схема расположения зон покоя и скольжения на фрикционном барабане:
 угол $\varphi_{\text{п}}$ – зона покоя; угол $\varphi_{\text{ск}}$ – зона скольжения; φ – угол обхвата;
 F_1 – усилие на набегающем конце каната; F_2 – усилие на сбегающем конце каната

Так как смещение реализуется на дуге покоя, то формула Эйлера принимает вид:

$$F_1 = F_2 * e^{\mu c \varphi}, \quad (6)$$

где c – коэффициент дуги покоя.

Экспериментально было доказано, что для различных сетематериалов и стального барабана при $\varphi = 180^\circ$ $c = 0,66$ [3].

Более широкие возможности для вычисления статического коэффициента трения на поверхности тяговых барабанов дает формула Г. Амонтона:

$$\varphi_{\text{СТ}} = F_{\text{п}} / N, \quad (7)$$

где $N = F_1 + F_2$ – нормальная нагрузка; $F_{\text{п}}$ – сила трения покоя.

Зависимость (7) действительна только при угле обхвата $\varphi = 180^\circ$. Калининградские исследователи [3] для расчета статического коэффициента трения предложили другую формулу, полученную по результатам работы на лабораторной установке с тензодатчиками:

$$\mu_{ст} = 0,6 \sqrt{\left(\frac{F_1}{F_2} - 1\right) / \varphi}. \quad (8)$$

Эта формула наиболее универсальна для описания взаимодействия сетных полотен из полиамида, полиэтилена и полистирола со стальными и обрешеченными барабанами.

Еще одной важной для практики задачей, с которой сталкиваются инженеры при конструировании орудий рыболовства, является расчет гидродинамического сопротивления, которое испытывает сетное полотно при движении в воде.

Для решения этой задачи используют формулу Исаака Ньютона:

$$R = g F V^2, \quad (9)$$

где R – сопротивление, испытываемое телом, находящемся в потоке жидкости; F – площадь сечения тела (перпендикулярно потоку); V – скорость течения; g – плотность среды.

В дальнейшем для решения задач рыболовства эта формула была преобразована [1]:

$$R = K_0 \rho F V^2 = K F V^2 = K_1 F V^n, \quad (10)$$

где K_0 – коэффициент, учитывающий форму тела и условия движения; F – площадь сопротивления сети; ρ – плотность воды; K и K_1 – коэффициенты сопротивления.

Для сетных полотен, движущихся перпендикулярно потоку, формула (9) приобретает следующий вид:

$$R = 75 L d V^{1.75} = K_1 \frac{d}{a} F V^{1.75} = 180 F V^2 \frac{d}{a}, \quad (11)$$

где L – длина нити сети; d – диаметр нити, a – шаг ячеек сети.

Коэффициент K в опытах изменялся для разных сетей от 150 до 280.

Для расчета сопротивления сетей, буксируемых в воде под углом β , Ф.И. Барановым было предложено иное выражение:

$$R_\beta = R_0 + (R_{90} - R_0) \beta / 90, \quad (12)$$

или

$$R_\beta = \left[1.8 + \frac{\left(\frac{180d}{a} - 1.8\right)\beta}{90} \right] E V^2 = \left[1.8 + 2\left(\frac{d}{a} - 0.01\right)\beta \right] E V^2. \quad (13)$$

К сожалению, в формулах (11) и (13) не учтены требования правила размерностей, поэтому согласование размерностей слагаемых приходится осуществлять с помощью размерных коэффициентов.

Как известно, в системах управления ловом рыбы, орудия лова в процессе использования принимают различную форму и для измерения их сопротивления формулы (11–13) не подходят, поэтому для получения значений усилий применяют прямые измерения с использованием динамометров. Так, например, Торбан [8] многократно измерял сопротивления закидных неводов в дельте Волги в момент выборки бежного уреза и крыла. Для неводов длиной от 250 до 450 м были получены следующие максимальные усилия на динамометрах: при тяге бежных урезков – до 9310 Н, а при тяге бежных крыльев – до 3920 Н.

Наши наблюдения и замеры показали [9], что натяжение бежного уреза невода при его тяге (выборке) зависит от большого числа параметров. Выделяя главные из них (в первом приближении), мы получили эмпирическую зависимость:

$$T_{\text{беж}} = R_{\text{общ}} = CK_{\text{тр}} g V_{\text{беж}}^2 * L_{\text{н}} / L_{\text{ур.ост.}} * H, \quad (14)$$

где C – коэффициент сопротивления; $K_{\text{тр}}$ – коэффициент трения невода о грунт; $L_{\text{н}}$ – длина невода, g – средняя загрузка одного метра невода; $V_{\text{беж}}$ – скорость выборки уреза; $L_{\text{ур.ост.}}$ – невыбранный остаток бежного уреза.

Практика показала, что максимальное сопротивление возникает в тот момент, когда остаточная длина бежного уреза равна ~ 1 м. При этом скорость выборки должна снижаться до 6–10 м/мин, так как в противном случае может произойти обрыв каната.

Из соображений соблюдения правил размерности в формуле (14) вместо площади невода используется его длина. При этом учтено, что сопротивление невода мало зависит от его высоты. Влияние скорости потока и других факторов учитывается коэффициентом «С».

В заключение необходимо отметить, что современный рыбопромысловый комплекс представляет собой сложную систему управления ловом, в которой ее элементы взаимосвязаны и состоят, в свою очередь, из отдельных узлов. Их параметры определяются на основе законов механики, гидродинамики и других разделов физики. Знание этих законов и вытекающих из них эмпирических закономерностей является необходимым условием для подготовки грамотных специалистов в области ПР, отвечающих всем современным требованиям этой отрасли.

Список литературы

1. Баранов Ф. И. Техника промышленного рыболовства / Ф. И. Баранов. – Москва : Пищепромиздат, 1960. – 695 с.
2. Григорьян А. Т. Механика от античности до наших дней / А. Т. Григорьян. – Москва : Наука, 1971. – 311 с.
3. Зеброва Е. М. Исследование процесса трения скольжения жгута дели во фрикционных рабочих органах рыбопромысловых механизмов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. М. Зеброва. – Калининград : Издательство КГТУ, 2007. – 17 с.
4. Лихтер А. М. Управление физическими полями в рыбопромысловых системах / А. М. Лихтер, А. В. Мельников. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2005. – 204 с.
5. Мельников В. Н. Биофизические основы промышленного рыболовства / В. Н. Мельников. – Москва : Пищевая промышленность, 1973. – 391 с.
6. Недоступ А. А. Эмпирическая формула расчета статического коэффициента трения для канатно-веревочных изделий / А. А. Недоступ, Е. К. Орлов // Рыбное хозяйство. – 2010. – № 3. – С. 75–77.
7. Полуляк С. И. Исследование тяговых свойств рабочих органов неводоуловочных машин методом тензометрии / С. И. Полуляк // Рыбное хозяйство. – 1966. – № 8.
8. Торбан С. С. Механизация рыболовства во внутренних водоемах / С. С. Торбан. – Москва : Пищевая промышленность, 1969. – 322 с.
9. Чурунов В. Н. Комплексный анализ и совершенствование речного закидного неводного лова рыб : монография / В. Н. Чурунов. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет» 2012. – 262 с.

References

1. Baranov F. I. *Tekhnika promyshlennogo rybolovstva* [Technology of industrial fishing]. Moscow, 1960. 695 p.
2. Grigoryan A. T. *Mekhanika ot antichnosti do nashikh dnei* [Mechanics from antiquity to the present day]. Moscow, Science, 1971. 311 p.
3. Zebrova Ye. M. *Issledovanie protsessa treniya skolzheniya zhguta deli vo friktsionnykh rabochikh organakh rybopromyslovykh mekhanizmov* [Research of the process of sliding friction of harness Delhi in friction bodies of fishing mechanisms]. Kaliningrad, Publishing House of Kaliningrad State Technical University, 2007. 17 p.
4. Likhter A. M., Melnikov A. V. *Upravlenie fizicheskimi polyami v rybopromyslovykh sistemakh* [Physical field control in fishery systems]. Astrakhan, Publishing House “Astrakhan University”, 2005. 204 p.

5. Melnikov V. N. *Biofizicheskie osnovy promyshlennogo rybolovstva* [Biophysical bases of commercial fishing]. Moscow, Food Processing Industry, 1973. 391 p.
6. Nedostup A. A., Orlov Ye. K. Empiricheskaya formula rascheta staticheskogo koeffitsienta treniya dlya kanatno-verevochnykh izdeliy [The empirical formula for calculating the static coefficient of friction for rope making]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fish Industry], 2010, no. 3, pp. 75–77.
7. Polulyak S. I. Issledovanie tyagovykh svoystv rabochikh organov nevodovyborochnykh mashin metodom tenzometrii [Research of traction properties of the working bodies of seine cars by strain measurement method]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fish Industry], 1966, no. 8.
8. Torban S. S. *Mekhanizatsiya rybolovstva vo vnutrennikh vodoemakh* [Mechanization of fishery in inland reservoirs]. Moscow, Food Processing Industry, 1969. 322 p.
9. Churunov V. N. *Kompleksnyy analiz i sovershenstvovanie rechnogo zakidnogo nevodnogo lova ryb* [Comprehensive analysis and improvement of river haul seine fishing]. Astrakhan, Publishing House “Astrakhan University”, 2012. 262 p.