

ОБОСНОВАНИЕ ПРАВИЛ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ОРУДИЕМ РЫБОЛОВСТВА И ПОВЕРХНОСТЬЮ БАРАБАНА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

А. А. Недоступ, Е. К. Орлов, А. В. Дегутис, И. А. Чибисов
Калининградский государственный технический университет,
г. Калининград, Россия

В трибологии - науке о трении, износе, смазке и взаимодействии контактирующих поверхностей при их взаимном перемещении - физическое моделирование способствует установлению связи между трением и износом и помогает установить причины и закономерности процесса [1,2]. Так в промышленном рыболовстве два сопряженных под нагрузкой тела «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа», образуют фрикционную пару. Касание сопряженных тел фрикционной пары приходится в отдельных пятнах - узлах [3,4,5,6]. Так орудия рыболовства имеют неровности, обусловленные конструкцией сетного полотна и шероховатостью канатно-веревочных изделий, и поверхность тяговых барабанов промысловых механизмов фрикционного типа имеет неровности. Есть специально созданные неровности для увеличения сцепления. Физическое моделирование трибопар или фрикционного их взаимодействия является первым необходимым шагом при исследовании процесса трения и изнашивания орудий рыболовства. Оно способствует раскрытию механизма его протекания и создает предпосылки к научно обоснованному конструированию фрикционного узла и управлению его работой. Основным признаком трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа» является то, что качество выполняемых рабочим барабаном технологических операций, их надежность определяется не столько величиной среднего значения статического коэффициента трения (сцепления) на рабочих поверхностях в паре трения, сколько устойчивостью его реализации в независимости от влияния всех воздействующих факторов. В механической системе с фрикционным барабаном исследуемая физическая модель трения должна включать как равноправные: динамические характеристики трибопары «орудие рыболовства - поверхность бараба-

на фрикционного типа» с учетом случайного характера сил сцепления в зоне контакта, а также динамически изменяющиеся параметры механической системы. Комплексное моделирование механической системы необходимо начинать с оценки условий, обеспечивающих динамическое подобие составляющих ее частей и пары трения «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа». Исследование и учет динамических свойств трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа» при физическом моделировании важны еще и тем, что целью данных исследований является не только объяснение и динамическое описание процесса трения, но и описание способов, с помощью которых можно заранее задавать динамические качества вновь проектируемых или модернизируемых компонентов фрикционной пары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа», решать вопросы диагностики ее выходных трибохарактеристик и их прогноза.

Анализу процесса трения и износа в трибопарах при использовании методов физического моделирования трибологических воздействий уделяли внимание многие ученые из разных стран. Остановимся на некоторых из них. Так в 1968 г. Мамон Л.И. и Третьяков О.А. [7,8] на основании π -теоремы вывели следующие критерии подобия процесса трения (износа) трибопар

$$\frac{v\mu}{lp_y} = idem, \quad (1)$$

$$\frac{v\rho l}{\mu} = idem, \quad (2)$$

где v - скорость; μ - динамический коэффициент вязкости; l - характерный линейный параметр; p_y - удельное давление; ρ - плотность среды. Критерий (1) является критерием трения, а критерий (2) критерием Рейнольдса

ОБОСНОВАНИЕ ПРАВИЛ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ОРУДИЕМ РЫБОЛОВСТВА И ПОВЕРХНОСТЬЮ БАРАБАНА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

Re. Также авторы приводят симплексы геометрического подобия.

Щербак П.Н. [9] и Окулова Е.С. [10] из уравнений динамики колеса электропоезда получили критерии подобия. Окулова Е.С. [10] при моделировании фрикционного взаимодействия приводит следующие выводы, т.к. сила тяжести равна $F=Mg$ (M - масса, g - ускорение силы тяжести), а масштаб ускорения силы тяжести $C_g=1$, имеем масштаб сил $C_F=C_R=C_m$ (C_m - масштаб массы), а масштаб массы соответствует $C_m=C_l^2 C_\gamma$ (при использовании одинаковых материалов в модели и натуре $C_\gamma=1$, где C_l - линейный масштаб, C_γ - масштаб объемного веса) имеем $C_F=C_m=C_l^3$, при этом она указывает на противоречия, как и при моделировании гидродинамических процессов. Непременным условием реализации равных сил трения в контакте трибопар натурального образца и его модели является равенство контактных давлений, т.е. $C_p=1$. Для этого Окулова Е.С. предлагает обеспечить условие $C_F=C_A$ (C_A - масштаб площади контакта), так как из $p=F/A$ (A - площадь контакта) имеем индикатор подобия в константах подобия $C_F/C_p C_A=1$. С учетом того, что $C_A=C_l^2$ имеем $C_F=C_A=C_l^2$, что входит в противоречие с полученным ранее $C_F=C_m=C_l^3$. Для ликвидации указанного противоречия автор вводит понятие добавочной массы. Возможно, по словам автора, также изменить плотность материала модели. При этом авторы указывают, что необходимым условием моделирования фрикционного контакта являются соблюдение масштабов изгибной жесткости $C_{EI}=C_l$ и времени $C_t=1$. На основании анализа условий подобия фрикционного взаимодействия Щербак П.Н. и Окулова Е.С. приводят основные критерии подобия, а также критерии Фурье и Нуссельта.

В настоящей статье рассматриваем физическое моделирование абразивного трения (изнашивания). Выделим параметры, влияющие на процесс трения [11]. К ним отнесем: путь трения l , окружную скорость v , плотность материала поверхности барабана ρ_6 , твердость материала HB , номинальную площадь контакта A , тягу барабана P_6 , диаметр барабана D , модуль упругости материала поверхности барабана E_6 , потребляемую мощность на валу барабана N , угловую скорость барабана ω_6 , вращательный момент на валу барабана M_6 , давление на номинальную площадь контакта p , нагрузку в ветвях орудия рыболовства S_1 (S_2) (S_1 - натяжение в набегающей ветви; S_2 - натяжение в сбегающей ветви), объемный вес материала орудия рыболовства γ^* , относительное удлинение материала орудия рыболовства ε , шероховатость ξ , изгибную жесткость EI , коэффициент кинематической вязкости воды ν , амплитуду колебаний $\bar{A}$, частоту колебаний f , время t , статический коэффициент трения μ_d , силу трения F_d , ускорение силы тяжести g , ускорение w .

При этом будем рассматривать процесс трения с точки зрения механического процесса (Наумов, 1994), т.е. не рассматриваем такие параметры, как температуру трибопар, характеристики пленки и др. В качестве основных величин выберем путь трения (длину дуги охвата) l (также можно принять за характерную геометрическую характеристику r - радиус барабана), окружную скорость v , плотность материала поверхности барабана ρ_6 . Их размерности не зависимы. Функциональная зависимость процессов трения и изнашивания трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа» представляется в общем виде

$$I = f(l, v, \rho_6, A, S_1, F_d, P_6, D, g, w, \gamma^*, E_6, \nu, N, \omega_6, HB, M_6, \bar{A}, f, p, EI, t, \varepsilon, \xi, \mu_d) \quad (3)$$

Выделим из (3) безразмерные комплексы ε , ξ и μ_d . Запишем выражение (3) в виде безразмерного комплекса

$$\bar{I}_i = l^{\alpha_1} v^{\alpha_2} \rho_6^{\alpha_3} A^{\alpha_4} S_1^{\alpha_5} F_d^{\alpha_6} P_6^{\alpha_7} D^{\alpha_8} g^{\alpha_9} w^{\alpha_{10}} \gamma^{*\alpha_{11}} E_6^{\alpha_{12}} \nu^{\alpha_{13}} N^{\alpha_{14}} \omega_6^{\alpha_{15}} HB^{\alpha_{16}} M_6^{\alpha_{17}} \bar{A}^{\alpha_{18}} f^{\alpha_{19}} p^{\alpha_{20}} EI^{\alpha_{21}} t^{\alpha_{22}}$$

Далее на основании π -теоремы определяем критерии подобия фрикционного взаимодействия трибопары «орудие рыболовства - поверхность барабана фрикционного типа». Запишем функциональную зависимость (4) в виде:

$$I = f\left(\frac{A}{l^2}, \frac{D}{l}, \frac{\bar{A}}{l}, Ne, Fr, Re, Sh, \frac{wr}{v^2}, \frac{F_d}{E_d l^2}, \frac{N}{\rho_d l^2 v^3}, \frac{r \omega_d}{v}, \frac{F_d}{HBl^2}, \frac{M_d}{\rho_d l^3 v^2}, \frac{lf}{v}, \frac{F_d}{pA}, \frac{EI}{\rho_d l^4 v^2}, \frac{v \rho \nu}{lp}, \varepsilon, \xi, \mu_d\right) \quad (4)$$

где $Al^2=idem$, $Dl=idem$, $\bar{A}/l=idem$ и $\xi=idem$ - критерии геометрического подобия. Данные критерии выполнимы. Критерии силового подобия $Ne=idem$ - критерий Ньютона, $Fr=idem$ - критерий Фруда, $Re=idem$ - критерий Рейнольдса, $Sh=idem$ - критерий Струхала, $l/v=idem$, $\varepsilon=idem$, $El/\rho_0 l^4 v^2=idem$, $\mu_d=idem$ выполнимы при физическом моделировании фрикционного взаимодействия трибопары.

На основании выводов Недоступа А.А. [12] правила физического моделирования динамических процессов необходимо соблюдать при условии выполнения критерия подобия

$$\frac{C_F C_l}{C_t^2 C_m C_\omega} = 1 \quad (5)$$

где C_ω - масштаб ускорения. При этом основные масштабы подобия [12]

$$C_t = C_l^{\frac{5}{4}}, \quad (6)$$

$$C_v = C_l^{-\frac{1}{4}}, \quad (7)$$

$$C_F = C_l^{\frac{3}{2}}, \quad (8)$$

$$C_\omega = C_l^{-\frac{3}{2}}, \quad (9)$$

$$C_m = C_l^3, \quad (10)$$

$$C_\mu = C_v = C_l^{\frac{3}{4}}, \quad (11)$$

где C_v - масштаб окружной скорости на барабане; C_μ - масштаб динамической вязкости среды между трибопарами; C_v - масштаб кинематической вязкости среды между трибопарами.

Таким образом, на основании основных масштабов (6) - (7) можно получить оставшиеся масштабы физических величин зависимости (4). Минимизация масштабного эффекта физического моделирования трибологического процесса выполняется при условии $\mu_{dm} \rightarrow \min$, причем по полученным экспериментальным данным получена формула для расчета статического коэффициента трения μ_d [11]

$$\mu_d = 0,6 \sqrt{\frac{S_1/S_2 - 1}{\alpha}}, \quad (12)$$

где α - угол дуги охвата.

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

Список литературы

1. Чичинадзе А.В. Основы трибологии: Учебник для технических вузов/ Под ред. А.В. Чичинадзе.- М: Центр «Наука и техника», 1945.-778 с.
2. Чичинадзе А.В., Матвиевский Р.М., Браун Э.Д. Материалы в триботехнике нестационарных процессов. М.:Наука.-1986.- 248 с.
3. Крагельский, Марочкин В.Н. Модели фрикционного контакта при исследовании процесса трения и изнашивания твердых тел. Доклады пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. Секция: моделирование применительно к задачам механики, строительства и машиностроения. М. - 1968. - С. 176-180.
4. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
5. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбаров В.С.. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение. 1977. - 526 с.
6. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. М.: Машиностроение. - 1968. - 503 с.
7. Мамон Л.И., Третьяков О.А. Анализ процесса износа контактных торцевых уплотнений с применением теории подобия. Доклады пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. Секция: моделирование применительно к задачам механики, строительства и машиностроения. М. - 1968а. - С. 166-169.
8. Мамон Л.И., Локшин М.А., Губенков М.Г., Волкобоев Г.К. Применение теории подобия к исследованию механизма герметичности в контактах торцевых уплотнениях. Доклады пятой межвузовской конференции по физическому и математическому моделированию. Секция: моделирование применительно к задачам механики, строительства и машиностроения. М. - 1968б. - С. 170-175.
9. Щербак П.Н. Оптимизация фрикционных механических систем на базе модельного эксперимента. Дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. - Ростов-на-Дону. - 2001. - 379 с.
10. Окулова Е.С. Модельная оптимизация и прогнозирование трибохарактеристик системы путь - подвижной состав (на примере магистрального электровоза ВЛ-80). Дисс. на соиск. уч. степени к.т.н. - Ростов-на-Дону. - 2006. - 255 с.
11. Недоступ А.А., Орлов Е.К. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа. Трение и износ. 2010. - Том 31. - №4. - С. 403-411.
12. Недоступ А.А. Обоснование правил физического моделирования динамических процессов орудий рыболовства// Сборник тезисов докладов VII Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании - 2009»/ КГТУ. - 2009. - С. 160-164.