

Одним из прогрессивных решений является установка утилизации сернисто-щелочных стоков фирмы «BAYER» с применением технологии Lorgox®. Целью очистки является окисление органических соединений, которые не подвергаются биологическому разложению, могут оказать негативное влияние на работу существующих биологических сооружений. Реакция окисления стоков осуществляется при температуре 160 °С и давлении 1,2 МПа в щелочных условиях. Во время процесса окисления сульфиды и меркаптаны значительно окисляются, и сточные воды дезодорируются. В процессе окисления снижение химического потребления кислорода (ХПК) достигает 70 %. Согласно технологии Lorgox® концентрация сульфидов из установки не будет превышать 1,0 мг/л.

Вывод. В результате применения технологии Lorgox® образуется очищенный сток с низким уровнем ХПК и без неприятных запахов, который может быть направлен в систему очистных сооружений без риска снижения эффективности работы биологической очистки.

УДК 621.1.016

НЕЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО ПРОЦЕССА ВО ФРИКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗОВ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Процесс торможения железнодорожного подвижного состава характеризуется высокой тепловой нагруженностью фрикционных элементов. Поэтому исследованиям температурного режима колодочных тормозов посвящено большое число работ. Для ряда частных задач, близких по своим условиям к задаче теплопереноса во фрикционной паре тормоза, также найдены решения. Однако использование полученных в этих работах аналитических зависимостей применительно к высокоинтенсивным тепловым процессам может приводить к значительным расчетным погрешностям из-за приближенного учета их нелинейности.

В связи с этим была разработана нелинейная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов. Исследовать математическую модель численным методом означает рассчитать значения искомой функции. В силу нелинейности разработанная одномерная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов, включающая два уравнения теплопроводности, начальные и граничные условия, может быть исследована, как правило, численными методами.

При составлении модели было принято, что в высокоинтенсивных режимах торможения необходимо учитывать зависимость теплофизических характеристик материалов фрикционных элементов от температуры. Математическая модель и включает два нестационарных уравнения теплопроводности:

$$C_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \quad (1)$$

$$C_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где $\lambda_1(T_1)$, $\lambda_2(T_2)$ – зависимости коэффициентов теплопроводности соответственно от температуры материала колеса и колодки; $C_1(T_1)$, $C_2(T_2)$ – зависимости удельной теплоемкости материалов колеса и колодки соответственно; τ – время; r – координата; $T_1(r, \tau)$ и $T_2(r, \tau)$ – искомые функции температуры двух переменных – координаты r и времени τ .

Функции $T_1(r, \tau)$ и $T_2(r, \tau)$ должны подчиняться начальным условиям

$$T_1(r, \tau) = g_1(r); \quad (3)$$

$$T_2(r; \tau) = g_2(r), \quad (4)$$

где $g_1(r)$ и $g_2(r)$ – в общем случае известные (задаваемые) функция координаты r , представляющие распределения температуры по толщине стенки в момент времени $\tau = 0$.

Граничное условие при $r = r_d$ примем в виде

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=r_d} = 0, \quad (5)$$

а на фрикционной поверхности $r = r_f$ зададим два граничных условия:

$$T_1(r_f, \tau) = T_2(r_f, \tau); \quad (6)$$

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=r_f} - \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_f} = q_s(\tau), \quad (7)$$

где $q_s(\tau)$ – плотность тепловыделения вследствие трения; r_d , r_f и r_u – геометрические характеристики колеса и колодки.

При $r = r_u$ зададим граничное условие третьего рода

$$\lambda \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_u} = \alpha [T_e(\tau) - T_2(r_u, \tau)], \quad (8)$$

где $\alpha(\tau)$ – зависимость коэффициента теплоотдачи; $T_e(\tau)$ – известная (задаваемая) функция времени τ [$T_e(\tau)$ – определяет закон, по которому изменяется с течением времени температура окружающей среды, граничащей с поверхностью $r = r_u$]. При необходимости входящие в начальные и граничные условия функции могут быть заменены постоянными значениями.

Итак, математическая модель исследуемого процесса включает уравнения (1) и (2), начальные условия (3) и (4) и граничные условия (5)–(8).

Необходимо заметить, что использование одномерной модели вместо двумерной позволяет при значительно меньших затратах получить верхнюю оценку для температурного поля, что повышает надежность расчета теплового состояния фрикционных элементов. При этом в силу того, что теплоперенос в направлении оси вращения колеса менее интенсивен, чем в радиальном направлении, верхняя оценка является достаточной для определения тепловой нагруженности фрикционных элементов.

Для данной задачи была составлена разностная схема, реализованная в среде программирования системы компьютерной математики *Mathcad*. Достоинством такого подхода является то, что расчетные формулы при кодировании записываются в естественной для математических описаний форме. Данная особенность языка *Mathcad*, по сравнению с другими языками программирования, позволяет создавать более наглядный код, что значительно облегчает отладку программы.

Тестирование разработанной программы на языке *Mathcad* проводилось на примере решения задачи определения температурного поля однородного цилиндра путем сравнения численных результатов по составленной разностной схеме с результатами, полученными при использовании аналитического решения.

Проведенные расчеты показали, что использование линейной одномерной модели теплопроводности вместо нелинейной может приводить к значительным погрешностям в расчете температур колодки и колеса.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании скоростных режимов торможения подвижного состава железнодорожного транспорта.