

По результатам исследования вязкости нефти установлено, что среди индивидуальных растворителей наилучшей растворяющей способностью по отношению к асфальто-смолистым и парафиновым отложениям нефти обладают толуол, бензол и четыреххлористый углерод. Тем не менее, введение большинства индивидуальных растворителей незначительно влияет на вязкость нефти, особенно при повышенных температурах. По-видимому, это обусловлено отсутствием растворителей, у которых термодинамические критерии совместимости точно соответствовали бы аналогичным критериям нефти. Добиться приемлемого сочетания этих параметров можно, используя смесевые растворители, у которых термодинамические критерии совместимости с нефтью можно регулировать, изменяя их состав. Предложен метод подбора оптимального состава смесевых растворителей, основанный на аддитивности составляющих трехмерного параметра растворимости, в координатах которого построена треугольная диаграмма. С помощью метода симплекс-решетка-того планирования определен оптимальный состав трехкомпонентной смеси растворителей, наиболее эффективно снижающей вязкость нефти. Показано, что наименьшей вязкостью обладает композиция, полученная смешиванием однопроцентных растворов толуола, четыреххлористого углерода и бензола в исследованной нефти в соотношении 7:1,5:1,5, соответственно.

УДК 621.1.016

ДВУХМЕРНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА ВО ФРИКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗОВ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Исследование тепловой нагруженности колодочных тормозов показывает, что для быстродействующих пассажирских тормозов тепловая нагрузка в зоне фрикционных элементов тормозов растет очень быстро [1, 2]. В таких случаях применение для расчета теплового состояния одномерной математической модели может приводить к существенному завышению уровня температур в элементах тормозов [3].

В связи с этим была разработана двухмерная нелинейная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов, которая учитывает теплоотвод с их боковых поверхностей. При составлении модели было принято, что в высокоинтенсивных режимах торможения необходимо учитывать зависимость теплофизических характеристик материалов фрикционных элементов от температуры, а также зависимости коэффициентов теплоотдачи от времени и температуры поверхности фрикционных элементов.

Математическая модель включает два двухмерных нелинейных уравнения теплопроводности

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

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

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

Уравнения (1) и (2) дополним начальными и граничными условиями. Начальные условия примем в виде

$$T_1(r, y, 0) = T_{01}(r, y), \quad (3)$$

$$T_2(r, y, 0) = T_{02}(r, y), \quad (4)$$

где $T_{01}(r, y)$ и $T_{02}(r, y)$ – известные распределения температуры в массивах колеса и колодки соответственно в момент времени $\tau = 0$.

Граничное условие на оси колеса при $r = 0$ зададим в виде

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

На фрикционной поверхности сформулируем два граничных условия:

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

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

где $q_s(y, \tau)$ – плотность тепловыделения вследствие трения, которую предполагаем независимой от продольной координаты y .

На поверхности колодки $r = r_u$ зададим граничное условие третьего рода

$$\lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_u} = \alpha [T_e(\tau) - T(r_u, y, \tau)], \quad (8)$$

где $\alpha(\tau)$ – зависимость коэффициента теплоотдачи от времени; $T_e(\tau)$ – зависимость температуры окружающей среды от времени.

На боковых поверхностях колеса и колодки сформулируем четыре граничных условия третьего рода:

– для колеса

$$-\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial y} \right|_{y=0} = \alpha_{01} [T_e(\tau) - T_1(r, 0, \tau)], \quad (9)$$

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial y} \right|_{y=\delta_1} = \alpha_{\delta 1} [T_e(\tau) - T_1(r, \delta, \tau)]; \quad (10)$$

– для колодки

$$-\lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial y} \right|_{y=0} = \alpha_{02} [T_e(\tau) - T_2(r, 0, \tau)], \quad (11)$$

$$\lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial y} \right|_{y=\delta_2} = \alpha_{\delta 2} [T_e(\tau) - T_2(r, \delta, \tau)], \quad (12)$$

где δ_1 и δ_2 – толщина колеса и колодки соответственно.

В обозначениях коэффициентов теплоотдачи первый индекс относится к боковым поверхностям фрикционных элементов, а второй – к их типу.

Итак, математическая модель рассматриваемого процесса включает уравнения (1) и (2), начальные условия (3) и (4) и граничные условия (5)–(12).

При реализации данная система уравнений, граничных и начальных условий была приведена к безразмерному виду [4]. Это позволила сократить число используемых параметров.

При исследовании таких моделей наиболее эффективным является применение численных методов.

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.

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

Список литературы

- 1 Галай, Э. И. Испытания и тепловой расчет колодочных тормозов железнодорожного подвижного состава / Э. И. Галай, В. А. Балакин // Трение и износ. – 1999. – № 5. – С. 480–488.
- 2 Галай, Э. И. Расчет приращения температуры в ободу колеса железнодорожного подвижного состава при торможении / Э. И. Галай, В. А. Балакин // Трение и износ. – 2000. – № 3. – С. 365–367.
- 3 Пшеничнов, Ю. А. Нелинейная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов / Ю. А. Пшеничнов // Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки (23 нояб. 2017 г.): в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 246–247.
- 4 Пшеничнов, Ю. А. Расчёт трёхмерных температурных полей в телах сложной формы при малых значениях времени / Ю. А. Пшеничнов // Теплофизические исследования. – 1977. – Новосибирск : И-т теплофизики СО АН СССР. – С. 144–148.

УДК 628.179

АНАЛИЗ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА РЕЗЕРВОВ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

А. М. РАТНИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Вопросы энергосбережения и рационального использования ресурсов всегда являются актуальными для любого предприятия. Одной из приоритетных проблем использования воды на производственные нужды, согласно Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 г., являются значительные потери воды и ее высокий расход на выпуск единицы продукции.

При разработке водохозяйственного баланса и нормативов в состав потерь обычно включают:

- а) безвозвратное потребление – унос с продуктом и отходами;
- б) потери воды на испарение при охлаждении;
- в) потери воды в брызгальных бассейнах, градирнях и оросительных теплообменных аппаратах;
- г) сброс воды из системы оборотного водоснабжения (продувка), определяемый в зависимости от качества оборотной и добавочной воды, а также способа ее обработки.

Кроме вышеперечисленных составляющих безвозвратного водопотребления также имеются потери воды из системы ее подачи и распределения, которые при разработке водохозяйственных балансов и разработке нормативов водопотребления обычно не учитываются. Если провести параллель с потерями из системы коммунального водоснабжения, определяемыми в соответствии с Инструкцией по расчету потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. № 43, то можно заметить, что большая часть составляющих потерь и неучтенных расходов характерна и для предприятий: потери воды через повреждения водоводов и водопроводной сети, при которых вода выходит на поверхность земли (разрывы труб, разгерметизация и разрушение стыков труб, коррозионные повреждения труб), потери воды при опорожнении трубопроводов для проведения ремонтных работ, замены оборудования и устройств; скрытые утечки воды из системы подачи и распределения воды (ПРВ), емкостных сооружений и сетевой арматуры, неучтенные расходы воды: недоучет воды водосчетчиками из-за их нечувствительности к малым расходам воды и из-за ухудшения метрологических характеристик водосчетчиков в процессе эксплуатации, противопожарные расходы воды.

Неучтенные расходы и потери воды из систем ПРВ составляют от 5 до 25 % от общего объема воды, подаваемого в систему. Протяженность водопроводной сети предприятия иногда составляет десятки километров, а расходы воды, с учетом оборотных систем, могут достигать нескольких миллионов метров кубических в год, поэтому пренебрегать данным видом потерь нельзя.

Наибольший удельный вес (более 50 %) в структуре общих потерь и неучтенных расходов воды составляют скрытые утечки воды из системы ПРВ.