

сократить расход энергии на 15–30 % в зависимости от характера эксплуатации ЭПС постоянного тока. В частности, расчеты показали, что применение тиристорных систем на метрополитеновском составе позволит сэкономить около 2,5 млн кВт·ч электроэнергии в год. Это снижает годовые расходы по эксплуатации городского электротранспорта примерно на 4,2 млрд сум.

Эксплуатация опытных образцов трамвая и троллейбуса достаточно подтверждает отмеченную экономичность в расходе электроэнергии.

На рисунке 1 изображена пусковая диаграмма $i(t)$ при ступенчатом и плавном регулировании. Хотя среднее значение тока при ступенчатом пуске I_{cp} меньше тока I при ТИП, однако из-за большей неравномерности в точке А будет нарушено сцепление и начнется боксование.

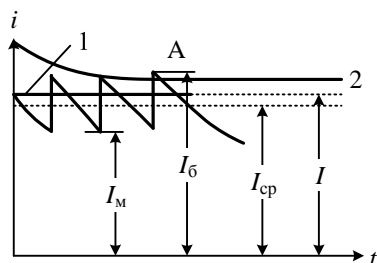


Рисунок 1 – Пусковая диаграмма:

1 – плавный пуск; 2 – ограничение по сцеплению

Плавное изменение тока при пуске позволяет не только реализовать более высокие пусковые ускорения, но и обеспечить изменение тока, которое исключает ощущение толчков у пассажиров. Установлено, что толчки не ощущаются, если вторая производная скорости по времени не превышает $0,3 \text{ м/с}^3$.

Быстродействие ТИП в замкнутой системе регулирования обычно достаточно для того, чтобы изменить протекание переходного процесса в цепи тяговых двигателей. Поэтому в системах с контролем по току допустимо переключение групп двигателей даже с полным их отключением от контактной сети, а в системах регулирования сопротивления возможно закорачивание ступеней сопротивления, не охваченных ТИП.

Список литературы

- 1 Кабалык, Ю. С. Системы управления электроподвижным составом : учеб. пособие / Ю. С. Кабалык. – Хабаровск : ДВГУПС, 2013. – 119 с.
- 2 Мелешин, В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. – М. : Техносфера, 2005. – 632 с.

УДК 536.24

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО СНИЖЕНИЮ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВАГОНОВ

В. Г. ЯКИМЧЕНКО

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Точность расчетов процессов кипения в теплообменном оборудовании систем кондиционирования и вентиляции влияет на оптимальные габаритные размеры аппаратов, их стоимость, энергетические затраты для транспорта хладоносителей в контуре. Из-за отсутствия достоверных аналитических решений эмпирические соотношения параметров теплообмена до сих пор остаются единственными, принятыми в расчетах теплообмена в испарителях. Поэтому энергетическая эффективность таких аппаратов может быть обеспечена только повышенной точностью расчетов тепло-гидродинамических параметров процесса кипения.

С помощью методики многокритериальной оптимизации получены результаты математического описания интенсивности процессов кипения озонобезопасного хладагента R407C в испарителях. Это было достигнуто путем использования оптимизации в обработке экспериментальных данных этого процесса с получением оценки отклонений модельных параметров интенсивности теплообменных процессов с используемыми в настоящее время эмпирическими методами. Полученные результаты обработки экспериментальных данных были использованы в тепловом расчете фреонового испарителя-воздухоохладителя холодопроизводительностью 28 кВт [1].

В данной работе для получения параметров теплофизической модели, описывающих интенсивность теплообмена при кипении, используется зависимость, базирующаяся на уравнении С. С. Кутателадзе следующего вида [2, 3]:

$$Nu = c Re^{n_1} K_p^{m_1} Pr^{m_2}, \quad (1)$$

где c , n_1 , m_1 и m_2 – коэффициент и показатели степени данной теплофизической модели.

В качестве составляющих данной зависимости – чисел Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля и числа давления были взяты следующие соотношения:

$$Nu = \frac{\alpha l_0}{\lambda_{ж}}, \quad Re = \frac{q}{r p_{ж} a} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_{ж} - \rho_{п})}}, \quad K_p = \frac{P_n}{\sqrt{\sigma g(\rho_{ж} - \rho_{п})}}, \quad Pr = \frac{\nu}{a}. \quad (2)$$

Алгоритм оптимизации осуществлял поиск максимума целевой функции $Nu \rightarrow \max$ на сетке Грея специальным перебором значений [4].

В результате многокритериальной оптимизации было получено уравнения С. С. Кутателадзе со следующими оптимальными значениями параметров:

$$Nu = 0,304 Re^{0,586} K_p^{0,754} Pr^{0,552}. \quad (3)$$

Полученное уравнение с погрешностью $\pm 1,9\%$ описывает результаты экспериментальных исследований, что позволяет использовать полученное соотношение для инженерных расчетов испарителей.

Далее зависимость (3) использовалась для оценки отклонения результатов расчета, выполненных эмпирическими методами, от методов имитационного моделирования, которая связана с затратами на циркуляцию хладагентов в контуре холодильных установок и систем кондиционирования воздуха.

Расчет интенсивности теплообмена в испарителе производился с учетом использования медных трубок с наружным диаметром 18×2 мм, температуре кипения холодильного агента $t_n = 5^\circ\text{C}$, средних температуре $t_{ср.в} = 21,5^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\phi = 65\%$ воздуха в вагоне [1].

Результаты теплового расчета испарителя-воздухоохладителя системы кондиционирования вагона и сравнительного анализа точности расчетов по эмпирической и предлагаемой методикам с использованием зависимости (3) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты параметров теплообмена в испарителе-воздухоохладителе с использованием хладагента R407C

Число Nu		Коэффициент теплоотдачи фреона α , Вт/(м ² ·К)			Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)		
Предлагаемая методика	Эмпирическая методика	Предлагаемая методика	Эмпирическая методика	Отклонение, %	Предлагаемая методика	Эмпирическая методика	Отклонение, %
279	307	4813	5294	10	599	628	4,8

Таким образом, отклонение на 10 и 5 % соответственно, в расчетах эмпирической методики от предлагаемой методики по определению коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи в процессах кипения хладагентов, на примере фреона R407C (см. таблицу 1), приведет к завышению расчетного значения холодопроизводительности испарителя-воздухоохладителя на 4,8 % вследствие изменения расчетных объемов циркулирующих через него хладагента и воздуха.

Применение методов имитационного моделирования и многокритериальной оптимизации для расчета испарителя-воздухоохладителя вагона холодопроизводительностью $Q_0 = 28$ кВт (хладагент R407C с температурой кипения $t_n = 5^\circ\text{C}$) показывает, что снижение энергозатрат в компрессоре в среднем составляет до $\pm 4,8\%$. Это позволит снизить затраты на циркуляцию хладагента в контуре машины в размере 552 руб./год.

Список литературы

- 1 Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности / Г. Н. Данилова [и др.]. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 240 с.
- 2 Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена. / С. С. Кутателадзе. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М. : Атомиздат, 1979. – 416 с.
- 3 Овсянник, А. В. Моделирование процессов теплообмена при кипении жидкостей / А. В. Овсянник. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 284 с.
- 4 Лоу, А. М. Имитационное моделирование. Классика CS / А. М. Лоу, В. Д. Кельтон. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2004. – 847 с.