

УДК 629.42

**В.И. НОСКОВ**, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**Н.И. ЗАПоловский**, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**М.В. Липчанский**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОХЛАЖДЕНИЕ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ**

Проведен анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза с помощью тепловой модели с учетом условий эксплуатации. На основе анализа определены энергозатраты для различных систем охлаждения тяговых двигателей. Полученные результаты позволяют разработать алгоритм функционирования системы управления охлаждением. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 9 назв.

**Ключевые слова:** энергозатраты, тяговый двигатель, тепловая модель, система охлаждения.

**Постановка проблемы.** В настоящее время, когда остро встал вопрос об экономии энергоносителей, активированы работы по повышению экономической эффективности тепловозов. Одним из направлений повышения экономической эффективности является оптимизация работы вспомогательных систем, которые обеспечивают работу силового оборудования в заданных режимах. В данной статье рассматривается вопрос повышения экономической эффективности тепловоза 2ТЭ116 за счет снижения энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей (ТД). В основу работы положены результаты математического моделирования системы охлаждения и данные эксплуатации.

**Анализ литературы.** Проблемами исследования тепловых процессов в тяговых электрических машинных занимались многие ученые, в том числе: Алексеев А.Е., Космодамианский А.С., Некрасов О.А., Щербаков В.В., Яковлев А.И. и др. [1 – 9]. Этими учеными исследованы и предложены методы анализа и расчета теплового состояния элементов и всей конструкции электрической машины как в установившихся, так и в переходных режимах работы. В то же время, использование этих методов на реальном объекте связано с определенными трудностями, поэтому авторами разработана упрощенная тепловая модель, учитывающая основные характеристики ТД и их

---

© В.И. Носков, Н.И. Заполовский, М.В. Липчанский, 2013

условия эксплуатации, что позволяет производить анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза.

**Цель статьи** – сравнительный анализ энергозатрат на охлаждение тяговых двигателей тепловоза с использованием разработанной тепловой модели.

**Описание тепловой модели тягового двигателя тепловоза.** В основу тепловой модели системы охлаждения ТД тепловоза 2ТЭ116 положена теория нагревания электрических машин, которая, в свою очередь, базируется на основных принципах теории нагревания однородного твердого тела [1].

Тепловая энергия, выделяемая ТД, обусловлена различными потерями и вызывает нагревание частей двигателя. Интенсивность нагревания ТД зависит от количества выделяемой тепловой энергии за единицу времени, и характеризуется мощностью теплового потока и теплоемкостью. Мощность теплового потока пропорциональна мощности двигателя. Интенсивность теплоотдачи обусловлена теплопроводностью самого двигателя и окружающей среды, теплорассеивающими способностями его поверхности, а также скоростью движения тепловоза. За счет теплоемкости ТД и незначительной доли пассивного охлаждения температура обмоток и корпуса ТД может существенно повышаться, что может привести к выходу из строя ТД. Как правило, температура окружающей среды ниже температуры ТД, однако теплоотдача, обусловленная процессами лучеиспускания и конвекции, в полной мере будет эффективна только при наличии принудительного охлаждения, как это реализовано в существующих конструкциях тепловозов.

В разработанной математической модели было использовано уравнение теплового баланса

$$Adt = Cd\tau + B\tau dt. \quad (1)$$

Левая часть представляет собой тепловую энергию, которая выделяется двигателем за бесконечно малый промежуток времени  $dt$ . Тепловой поток  $A$  представляет собой мощность потерь в отдельных частях двигателя  $\Delta P$ ;  $B$  и  $C$  – соответственно теплоотдача и теплоемкость ТД;  $\tau$  – превышение температуры.

Структурная схема модели тягового двигателя приведена на рис. 1.

**Определение экономии энергозатрат.** Экономия топлива при использовании системы регулируемого охлаждения ТД определялась как

разность между расходом топлива на охлаждение ТД для случая штатной схемы ( $Q_{шт}$ ) и анализируемой ( $Q_p$ ):

$$\Delta Q = Q_{шт} - Q_p. \quad (2)$$

Суточный расход топлива был получен по данным эксплуатации тепловозов №1 – №3 2ТЭ116 в депо. В эксплуатации доля холостого хода и работы дизеля на низших позициях КМ достаточно велика, поэтому для объективного анализа системы регулируемого охлаждения были определены параметры суточного расхода топлива для случая равномерного использования мощности дизеля по позициям КМ (тепловоз № 4). Расчет мощности, потребляемой штатной системой охлаждения по позициям контролера машиниста (КМ) производился по формуле:

$$P_i = P_n \left( \frac{n_i}{n_n} \right)^3, \quad (3)$$

где;  $P_i$  – мощность, потребляемая системой на  $i$ -й позиции КМ ( $i = \overline{0, 15}$ );  $P_n$  – мощность, потребляемая системой на 15-й позиции КМ;  $n_i$  и  $n_n$  – обороты дизеля на  $i$ -й и 15-й позициях КМ соответственно.

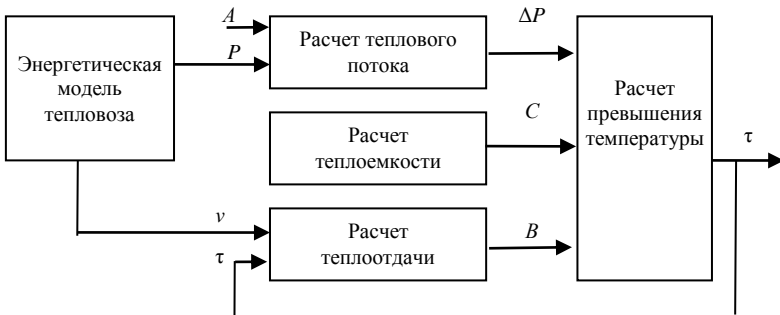


Рис. 1. Структурная схема машинной модели системы охлаждения ТД

Суммарный суточный расход топлива дизелем и расход, приходящийся на охлаждение ТД выполнялся по формулам (4) и (5), соответственно:

$$Q_{д} = \sum_{i=0}^{15} P_{дi} \tau_i q ; \quad (4)$$

$$Q_{шт} = \sum_{i=0}^{15} P_i \tau_i q , \quad (5)$$

где  $P_{дi}$  – мощность дизеля на  $i$ -й позиции КМ;  $\tau_i$  – время работы дизеля на  $i$ -й позиции КМ;  $q$  – удельный расход топлива (210 г/кВтч).

Из представленных формул, потребляемая мощность и расход топлива штатной системой охлаждения ТД зависят только от частоты вращения дизеля и никак не связаны с его тепловым состоянием, т.е. нагрузкой, температурой окружающей среды и др., что приводит к неоправданному перерасходу топлива.

Исследования, проведенные на разработанной тепловой модели ТД, показали, что тепловая постоянная ТД равна, примерно, 40 мин., а время нагрева его до 85 °С составляет 120 мин.

Тепловое состояние ТД зависит не только от нагрузки, но и от температуры окружающей среды. Поэтому, предварительно, можно считать, что на низких позициях КМ система охлаждения ТД может быть отключена (либо включаться кратковременно), на более высоких позициях, с учетом тепловой постоянной ТД, ее работа может быть сокращена по времени, минимум на 20%.

Суточный расход топлива дизелем, штатной системой охлаждения секции тепловоза 2ТЕ116 и предлагаемой для его модернизации системой регулируемого охлаждения, приведены в таблице.

Таблица

Суточный расход топлива

Суточный расход топлива, кг	Тепловоз			
	№1	№2	№3	№4
Общий	2648,21	2061,52	2517,07	4935,73
Со штатной системой охлаждения	27,68	21,8	24,68	123,26
С предлагаемой системой охлаждения	11,39	8,83	10,45	87,2
Экономия топлива	16,29	12,97	14,23	36,04

При пересчете расхода топлива за год и стоимости дизельного топлива 10,00 грн. за 1 кг, затраты на приобретение топлива могут быть уменьшены от 40,0 тыс. грн. до 120,0 тыс. грн. на секцию.

**Выводы.** В результате проведенного анализа с использованием тепловой модели тягового двигателя определена экономия топлива для случая применения системы регулируемого охлаждения ТД для различных условий эксплуатации тепловоза, которая составляет от 40.0 до 120.0 тыс. грн. на секцию в год.

**Список литературы:** 1. *Алексеев А.Е.* Тяговые электрические машины и преобразователи / А.Е. Алексеев. – Л.: Энергия, 1987. – 432 с. 2. *Космодамианский А.С.* Теоретические основы и разработка систем регулирования температуры тяговых электрических машин локомотивов: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.07 / Космодамианский Андрей Сергеевич. – М., 2002. – 285 с. 3. *Некрасов О.А.* Взаимосвязь между условиями работы электроподвижного состава и нагреванием обмоток тяговых двигателей / О.А. Некрасов // Труды ВНИИ ж.-д. транспорта. – 1977. – Вып. 576. – С. 4 – 65. 4. *Щербаков В.В.* Моделирование теплового состояния тягового электродвигателя для прогнозирования ресурса / В.В. Щербаков, О.Л. Рапопорт, А.Б. Цукублин // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 156 – 159. 5. *Платов Н.А.* Разработка универсальной модели для тепловых расчетов тяговых электродвигателей локомотивов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.01 / Платов Николай Александрович. – М.: МИИТ, 2009. – 24 с. 6. *Грищенко М.А.* Повышение остаточного ресурса тяговых электродвигателей за счет ограничения максимальной температуры обмоток : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Грищенко Марина Александровна. – СПб., 2010. – 148 с. 7. *Грищенко М.А.* Математическое моделирование процесса теплопередачи в ядре тягового электродвигателя тепловоза / М.А. Грищенко // Известия Петербургского университета путей сообщений. – 2010. – №1 (22). – С. 33 – 44. 8. *Куликов Ю.А.* Система охлаждения силовых установок тепловозов / Ю.А. Куликов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с. 9. *Торба С.В.* Повышение экономичности режимов охлаждения тягового электрооборудования электровоза переменного тока: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Торба Сергей Витальевич. – М., 1989. – 22 с.

Поступила в редакцию 08.07.2013

УДК 629.42

**Аналіз енерговитрат на охолодження тягового двигуна тепловозу за допомогою теплової моделі / Носков В.І., Запоровський М.Й., Липчанський М.В.** // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 128 – 133.

Проведено аналіз енерговитрат на охолодження тягових двигунів тепловоза за допомогою теплової моделі з урахуванням умов експлуатації. На основі аналізу визначено енерговитрати для різних систем охолодження тягових двигунів. Отримані результати дозволяють розробити алгоритм функціонування системи управління охолодженням. Іл.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

**Ключові слова:** енерговитрати, тяговий двигун, тепла модель, система охолодження.

UDC 629.42

**Analysis of energy consumption for cooling traction engine locomotive with thermal model / Noskov V.I., Zaporovskiy N.I., Lipchanskiy M.V.** // Herald of the National Technical

University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 128 – 133.

The analysis of energy consumption for cooling the locomotive traction motors with thermal model taking into account the conditions of use. Based on the analysis, the power consumption for any cooling of traction motors. The obtained results allow us to develop an algorithm management system cooling. Figs.: 2. Tabl.: 1. Refs.: 9 titles.

**Keywords:** power consumption, drive motor, the thermal model, the cooling system.