

**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ**

УДК 625.292:62-71

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.38830

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЕПЛОВОЗА**

© В. М. Башков, А. А. Бабаев, Н. И. Штефан, Н. В. Гнатейко

*В данной статье представлены особенности функционирования различных типов систем охлаждения тяговых электрических машин тепловозов. Дана оценка экономичности различных типов систем охлаждения.*

*Показано то, что надежность функционирования централизованной системы охлаждения зависит от надежности работы вентилятора, обслуживающего данную систему.*

*Для улучшения надежности работы подобных предлагается устанавливать дополнительный вентилятор; который может работать параллельно с основным вентилятором*

**Ключевые слова:** вентилятор, втулка, лопасть, воздухопровод, централизованная система охлаждения, тяговая электрическая машина, скорость, канал, рабочее колесо, тепловоз

*This article presents the peculiarities of different types of cooling systems of traction electrical machines of locomotives. The estimation of efficiency of different types of cooling systems is given.*

*It is shown that the reliability of the central cooling system depends on the reliability of the fan that operating this system.*

*To improve the reliability of such systems it is proposed to install an additional fan, which can operate in parallel with the main fan*

**Keywords:** fan, plug, blade, air duct, centralized cooling system, traction electrical machine, speed, channel, driving wheel, locomotive

**1. Введение**

Для обеспечения надежности работы централизованных систем охлаждения тяговых электрических машин тепловозов предлагается установить дополнительный вентилятор, который может работать параллельно с основным вентилятором, а при выходе его из строя обеспечить охлаждающим воздухом все тяговые электрические машины.

Тем самым повышается надежность работы всего тепловоза.

**2. Постановка проблемы**

Как известно существуют четыре основных типа систем охлаждения (СО) тяговых электрических машин (ТЭМ) тепловозов:

- 1) индивидуальная, для которой охлаждение каждой ТЭМ осуществляется отдельным вентилятором;
- 2) групповая, где охлаждение трех ТЭМ одной тележки осуществляется одним вентилятором;
- 3) комбинированная (КСО), включающая в себя как групповые так и индивидуальные системы охлаждения;
- 4) централизованная (ЦСО), где один вентилятор обслуживает все ТЭМ тепловоза (рис. 1).

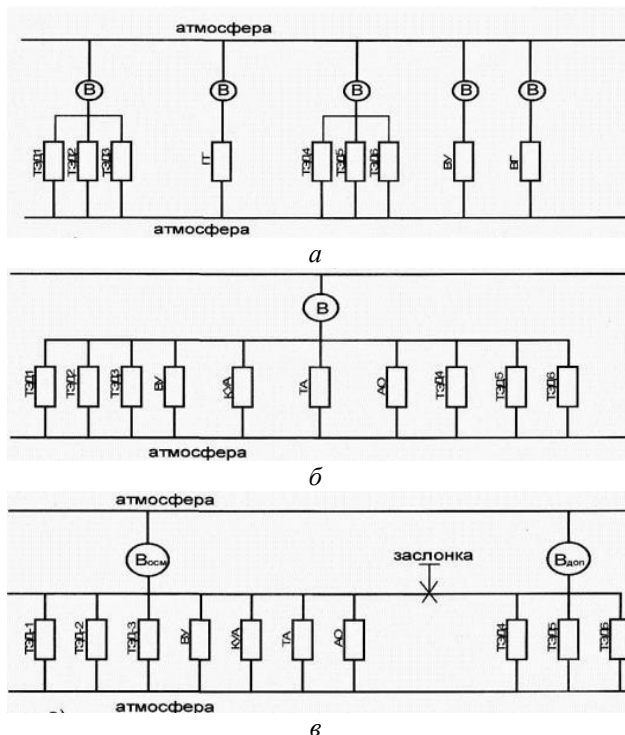


Рис. 1. Схемы: а – комбинированной; б – централизованной; в – бицентрализованной систем охлаждения тяговых электрических машин и аппаратов тепловозов

Обозначения на рис. 1 следующие:

- В – вентилятор;
- ТЭД – тяговые электродвигатели;
- ГГ – главный генератор;
- ВУ – выпрямительная установка;
- ВГ – вспомогательный генератор;
- КУА – компактное устройство автоматики;
- ТА – тяговый агрегат;
- АО – аккумуляторные отсеки.

Максимальные величины скоростей движения воздуха в каналах СО ТЭМ и ЭА, а также потери мощности в них.

Как групповая, так и индивидуальная системы имеют несколько общих недостатков:

- большие габариты, масса и низкий к.п.д. центробежных вентиляторов, применяемых для охлаждения ТЭМ;

- сложная конфигурация всасывающих и нагнетательных каналов;
- высокие скорости движения воздуха в каналах (20...30 м/с) (табл. 1) [1].

Все эти факторы характерны и для КСО, включающей в себя рассмотренные выше системы. В ЦСО забор воздуха осуществляется непосредственно из отсека крыши, где установлены жалюзи и фильтры и где скорость воздуха в 2...4 раза ниже (табл. 1). Нагнетательные каналы располагаются в раме тепловоза и имеют небольшие габариты. К тому же ЦСО обслуживают малогабаритные высокоэкономичные и высоконапорные осевые вентиляторы. Все эти факторы и позволяют значительно уменьшить затраты мощности на функционировании ЦСО.

Таблица 1

Характеристики систем охлаждения для разных типов тепловозов

Тепловоз	Система охлаждения	Каналы в сасывания	Каналы нагнетания	N* всасывания	ΣN* нагнетания
		V, м/с			
М62	ГГ	28,0	27,7	8,41	30,2
	ПТЭД	29,9	37,8	10,5	
	ЭТЭД	26,8	33,8	11,29	
2ТЭ10Л (В, М)	ГГ	33,5	34,0	17,24	55,57
	ПТЭД	24,7	38,6	17,53	
	ЭТЭД	32,3	33,3	20,8	
2ТЭ116	ГГ	24,1	37,9	27,76	69,18
	ПТЭД	21,0	33,1	18,18	
	ЭТЭД	23,8	33,5	18,52	
	ВУ	15,4	26,1	4,72	
ТЭ129 (V400)	ГГ	25,1	35,2	26,75	125,73 (119,39 без СО ВГ и ПЧТ)
	ПТЭД	11,2	31,9	43,10	
	ЭТЭД	11,4	33,6	45,78	
	ВУ	25,8	34,6	3,72	
	ВГ и ПЧТ	21,9	22,7	6,34	
2ТЭ121	ЦСО	7,4	21,1	9,12	109,13

(тут \* введены обозначения с учетом потерь на преодоление сопротивления объекта охлаждения)

Как видно из табл. 1, наибольшие значения скоростей имеют как всасывающие, так и нагнетательные каналы групповых СО. Это же подтверждается и затратами мощности на функционирование подобных систем, которые возрастают с ростом их секционной мощности.

Авторами была дана оценка экономичности различных типов СО. Основными показателями, характеризующими рассматриваемые системы являются:

- экономические, определяемые суммой годовых затрат на изготовление и функционирование систем охлаждения ТЭМ;
- габаритные, зависящие от объема занимаемого СО в дизельном помещении;
- массовые, включающие в себя затраты материалов, необходимых для изготовления систем охлаждения ТЭМ;
- энергетические, определяемые уровнем среднеэксплуатационных затрат на функционирование СО.

Эти показатели обладают зачастую противоречивыми свойствами. То есть, добиваясь минимально возможного значения одного показателя, мы ухудшаем другие. Например, уменьшая диаметр и массу рабочего колеса, мы ухудшаем экономичность вентилятора, из-за увеличения выходных динамических потерь.

### 3. Литературный обзор

Исследования по данному вопросу были посвящены изучению основных направлений совершенствования СО ТЭМ и ЭА и влиянию на них эксплуатационных и технологических факторов.

Так, В. Д. Кузьмичем рассматривались основные тенденции роста составляющих вспомогательной мощности тепловозов СО ТЭМ, которая имеет возрастающий характер [4]. Указывается на то, что отсутствие регулировки по фактической тепловой нагрузке ТЭМ приводит к постоянному перерасходу мощности на вентиляцию. Подчеркивается целесообразность регулирования режима

работы СО с сохранением весового расхода охлаждающего воздуха, а также сезонного регулирования режимов работы СО.

В. П. Епифанов на основании анализа схем компоновки СО отечественных и зарубежных локомотивов [5], сделал вывод о целесообразности организации на тепловозах централизованной системы очистки и раздачи воздуха. Им также указывается, что эта система по экономичности может оправдать себя при организации простых по конфигурации и относительно коротких воздушных каналов и использовании в качестве воздухопроводов межрамных пространств.

На основании эксплуатационных исследований, проведенных Н. В. Большаковым [6] были сделаны следующие выводы:

1) для улучшения обдува ТЭД набегающим потоком воздуха на их станинах и на раме тележки следует устанавливать аэродинамические козырьки;

2) причиной неравномерного распределения воздуха в групповых СО ТЭД являются недостатки в эксплуатации и недостаточная технологичность конструкции СО;

3) при движении локомотива со скоростью 22,2–27,8 м/с производительность вентилятора уменьшается на 0,125–0,167 м<sup>3</sup>/с.

Анализ опытных данных по эксплуатации первых тепловозов ТЭП70, сделанный В. А. Миончинским, показал, что применение ЦСО позволяет более чем в 2 раза сократить затраты мощности на воздухообращение ТЭМ, по сравнению с групповым воздухообращением центробежными вентиляторами [7].

Ряд исследовательских работ по доводке ЦСО тепловозов ТЭП70 и ТЭП75 был проведен во ВНИТИ под руководством Р. М. Назарова.

Показано, что экономичность ЦСО, имеющих механические приводы может существенно снизиться при понижении температуры окружающей среды, что вызвано повышением вязкости масла в картере редуктора вентилятора. В связи с этим следует обращать внимание на выбор сортов масел при эксплуатации в различных климатических условиях.

#### 4. Направления совершенствования систем охлаждения тяговых электрических машин тепловоза

Проведенные исследования позволили установить зависимость СО ТЭМ от показателей основных групп, характеризующих различные аспекты функционирования этих систем охлаждения.

На основании проведенных исследований были доказаны преимущества централизованных систем охлаждения. Они имеют лучшие комплексные показатели как с учетом их аэродинамических качеств, так и мощности охлаждаемого оборудования [2].

К недостаткам ЦСО можно отнести зависимость работы всего тягового оборудования от функционального состояния вентилятора. Это связано с тем, что лопасти и втулки рабочих колес осевых вентиляторов имеют очень большие окружные скорости и, соответственно, подвергаются значительным разрывным усилиям. В связи с этим было

предложено установить дополнительный вентилятор, который может иметь два режима работы (рис. 2) [3]:

а) работать параллельно с основным, охлаждающая тяговые электродвигатели задней тележки, наиболее отдаленные от основного вентилятора и облегчения тем самым ему условия работы;

б) при выходе из строя основного вентилятора, дополнительный автоматически включается в работу и, через нагнетательный воздухопровод, расположенный в раме тепловоза, обеспечивает охлаждение всех тяговых электрических машин, без установки дополнительного воздухопровода (рис. 2). Тем самым обеспечивается надежность (живучесть) работы всего тепловоза.

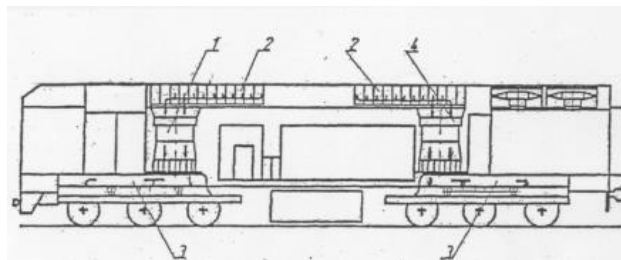


Рис. 2. Бицентрализованная система охлаждения

Дополнительный вентилятор может иметь меньше параметры чем основной, но достаточные для того, чтобы обеспечить охлаждающим воздухом ТЭМ при работе тепловоза на промежуточных режимах. Это позволит тепловозу добраться своим ходом до ближайшего депо для проведения ремонта.

Привод дополнительного вентилятора может быть осуществлен от заднего редуктора.

Отсек крыши для всасывания воздуха дополнительным вентилятором может быть расположен перед отсеком охлаждающего устройства дизеля. Предлагаемая система охлаждения ТЭМ может носить название бицентрализованной.

Подобный подход применим и для групповых систем охлаждения, при установке между системами охлаждения ТЭМ передней и задней тележек соединительного (резервного) воздухопровода.

#### 5. Выводы

Как известно обеспечения надежности работы централизованных систем охлаждения тяговых электрических машин тепловозов связано с работой вентиляторов. В данном случае предлагается установить дополнительный вентилятор, который может работать параллельно с основным вентилятором, а при выходе его из строя обеспечить охлаждающим воздухом все тяговые электрические машины. Данный подход применим и для групповых систем охлаждения, при установке между системами охлаждения ТЭМ передней и задней тележек соединительного (резервного) воздухопровода. Это в свою очередь приведет к повышению надежности работы всего тепловоза.

#### Литература

1. Башков, В. М. Оценка аэродинамических показателей систем охлаждения тяговых электрических машин и аппаратов тепловозов [Текст] / В. М. Башков, В. П. Епифанов, В. Д. Кузьмич // В кн.: Повышение надежности и

экономичности агрегатов и систем тепловозов. Труды МИИТ. – 1980. – Вып. 663. – С. 139–146.

2. Башков, В. М. Комплексная оценка степени совершенства систем охлаждения электрических машин тепловозов [Текст] / В. М. Башков, Г. М. Басов, В. И. Могила – Локомотив – информ, 2011. – С. 14–16.

3. Декларацийний патент України на винахід "Система охолодження тягових електричних машин тепловозів" 67220 від 15.06.2004 р. [Текст] / Башков В. М. та ін. – Бюл. № 6.

4. Кузьмич, В. Д. Вентиляционные системы тягових електрических машин тепловозов [Текст] / В. Д. Кузьмич // Научные труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта. Воздухоочистители и системы воздушного охлаждения тяговых электрических машин тепловоз. – 1970. – Вып. 335. – С. 15–22.

5. Епифанов, В. П. Компановка охладящих устройств тепловозов. [Текст] / В. П. Епифанов, Ю. А. Куликов, В. И. Рязузов, В. С. Таля. – М. НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968. – 54 с.

6. Большаков, Н. В. Условия эксплуатации системы вентиляции электрических машин тепловозов ТЭП60(2ТЭП60) [Текст] / Н. В. Большаков // Научные труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта. Вспомогательное оборудование тепловозов. – 1971. – Вып. 394. – С. 59–63.

7. Миончинский, В. А. Система охлаждения электрических машин на тепловозе ТЭП70 [Текст] / В. А. Миончинский. – Электрическая и тепловозная тяга. – 1976. – № 8. – С. 23–24.

**References**

1. Bashkov, V. M., Epifanov, V. P., Kuzmich, V. D. (1980). Estimation of aerodynamic indexes of the systems of cooling of hauling electric machines and vehicles of diesel engines. In book: Increase of reliability and economy of aggregates and systems of diesel engines. Labours MIIT., 663, 139–146.

2. Bashkov, V. M., Basov, G. M., Mogula, V. I. (2011). Comprehensive assessment of the degree of perfection of cooling systems of electric machines locomotives. Locomotive - Inform, 14–16.

3. Bashkov, V. N. Patent for the invention of Ukraine "Cooling system of locomotive traction electric cars" 67220 of 15.06.2004. Bull. Number 6.

4. Kuzmich, V. D. (1970). Ventilation systems of traction electric machines locomotives. Proceedings of the Moscow Institute of Railway Engineers - Air and air cooling systems locomotive traction electric machines, 335, 15–22.

5. Epifanov, V. P., Kulikov, Y. A., Ryaguzov, V. I., Tala, V. S. (1968). The line of cooling devices locomotives. Moscow: NIINFORMTYAZHMASH, 54.

6. Bolshakov, N. V. (1971). Operating conditions of the ventilation system of electrical machines locomotives ТЕР60 (2ТЕР60). Proceedings of the Moscow Institute of Railway Engineers. Accessories locomotives, 394, 59–63.

7. Mionchinsky, V. A. (1976). The cooling system of electric cars on the locomotive ТЕР70. Electric and diesel traction, 8, 23–24.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Ткаченко В. П.  
Дата надходження рукопису 15.02.2015*

**Башков Вадим Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической механики, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056  
E-mail: vadim.qwert@ukr.net

**Бабаев Александр Арташесович**, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической механики, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, м. Киев, Украина, 03056  
E-mail: babaevaa@ukr.net

**Штефан Наталья Ильинична**, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической механики, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, м. Киев, Украина, 03056  
E-mail: nishtefan@gmail.com

**Гнатейко Нонна Валентиновна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической механики, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056  
E-mail: nonna.gnatyjko@gmail

УДК 537.32

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.38847

**УЧЕТ РАССЕЯНИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ЛАНДАУЭРА-ДАТТЫ-ЛУНДСТРОМА**

© Ю. А. Кругляк

*Качественно рассматривается рассеяние носителей тока и тепла в транспортной модели ЛДЛ по ходу изменения времен рассеяния в процессе столкновений. На примере 1D проводника выводится базовое соотношение между коэффициентом прохождения  $T$  и средней длиной свободного пробега  $\lambda$ . В качестве примера анализируются экспериментальные данные для Si MOSFET с привлечением моделей различной достоверности*

**Ключевые слова:** нанополитика, наноэлектроника, рассеяние электронов, рассеяние фононов, коэффициент прохождения, длина свободного пробега, коэффициент диффузии, подвижность, Si MOSFET