

increase of the plant efficiency up to 48,5% which is 25% higher than in the initial scheme. In this case the electrical capacity of the station increases up to 419 MWt, where share of GTU is 139,5 MWt and steam power unit (SPU) is 279,5 MWt.

Comparison the energy characteristics of CCGU with substitution of feed water heating and steam reheating in comparison with general variant are showed in figures 4 and 5 (where 1 - general scheme of turbine K-300-240, 2 - scheme CCGU wit substitution of feed water heating, 3 - scheme CCGU wit substitution of steam reheating).

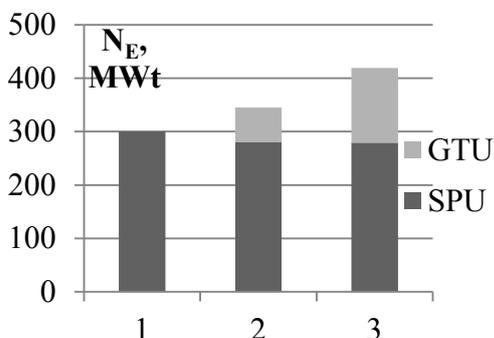


Fig. 4 – Power gain of the station by virtue of gas turbine topping

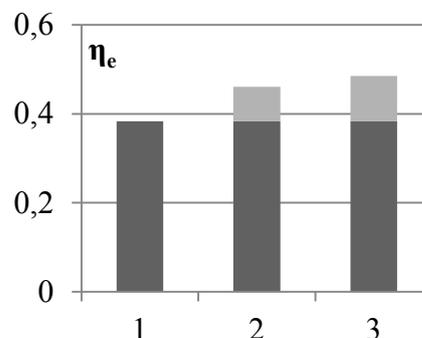


Fig. 5 – Efficiency of the ordinary power station scheme and schemes with application of gas turbine topping

CONCLUSION

- 1) Two different variants of gas turbine topping intended to increase the efficiency of the K-300-240 steam-turbine power generating unit with the substitution of feed water regeneration and substitution of steam reheating were considered.
- 2) Gas turbine topping increases the thermal power plant efficiency up to 20-40 % and power generation efficiency up to 15-25 %.
- 3) The combined-cycle plant scheme with the substitution of steam reheating has the highest efficiency ($\Delta\eta_{\Sigma} > 25\%$) compared to the scheme with substitution of feed water regeneration ($\Delta\eta_{\Sigma} \approx 15 - 20\%$).
- 4) The maximum of power generation efficiency is achieved by the optimal value of t_G^{HP} and G_{TC} .

REFERENCES

1. Berezinets P.A. Gas-turbine topping of 300 MWt Kostroma Hydro power station //Electrical plants. – 1999. - №7 С.64-72 (Berezinets P.A. Installation gas turbine block 300 MVt Kostromskoi GRES//Power station
2. K-300-240 KhTGZ Vapor turbine / edited by Yu.F.Kosyak – M.:, 1982. – 272 p. (Vapor turbine K-300-240 KhTGZ/ Edited by Yu.F.Kosyaka – M.: Energoatomizdat M.:, 1982. – 272 p.)
3. Tsanev S.V. Gas-turbine and vapor-gas plants. Textbook for institutes of higher education. – M.: Publishing House MPI, 2002.– 584p. (Tsanev S.V. Gas-turbines and vapor installation of thermal power plants. Textbook for high schools. – M.: Publishing house MEI, 2002.– 584p.)

Scientific advisers: O.Y. Romashova, Ph.D in Engineering Science, Department of Nuclear and Thermal Power Plants, National Research Tomsk Polytechnic University;
E.Ya. Sokolova, senior instructor, Department of Foreign Languages, National Research Tomsk Polytechnic University.

Современные системы контроля и оценки теплового состояния тяговых электродвигателей Кондаков Д.О.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск.
E-mail: kondackov.d@gmail.com

В настоящее время достаточно остро стоит вопрос тепловых перегрузок тягового оборудования электроподвижного состава. Данное обстоятельство является следствием эксплуатации тягового электропривода электровозов в постоянно тяжелых условиях работы. Другим фактором тепловых перегрузок электродвигателей являются перегрузки оборудования, возникающие в результате превышения весовых норм эксплуатируемого подвижного состава. При

этом основными типами отказов тяговых электродвигателей (ТЭД), работающих в таких условиях, становятся пробой изоляции обмоток (до 40 %) [1], возникающие в результате ускоренного старения изоляции. Как известно, превышение температуры на 10 °С снижает ресурс изоляции в два раза [2]. Следовательно, для предотвращения преждевременного выхода тяговых электродвигателей из строя и определения остаточного ресурса ТЭД необходимо иметь полную и верную информацию о температурах всех его элементов.

Решением данной задачи является применение устройств для **контроля и оценки теплового состояния тягового двигателя** электровозов и тепловозов в процессе их эксплуатации. Такие устройства помогают выявить наиболее нагретые узлы ТЭД, в целях управления мотор-вентиляторами, подающими охлаждение на ТЭД, изменения режима работы машины, а также оценить остаточный ресурс электродвигателя. Оценить тепловые нагрузки на двигатель можно с помощью разработанных полезных моделей, которые позволяют получить интересующие данные и контролировать температурные нагрузки ТЭД. Существует ряд отечественных и зарубежных систем контроля теплового состояния тягового электродвигателя. Чаще всего, в имеющихся системах защиты и контроля используются встроенные датчики температуры обмоток. Обычно, в промышленных двигателях для этого используют резистивные датчики температуры, вмонтированные в статорные обмотки для тщательного контроля температуры в статорной обмотке [3]. Более сложное оборудование – аналоговое реле с конструкцией, основанной на знании тепловой схемы вращающейся машины, и содержащей обратную связь от встроенного датчика температуры [4]. Известна тепловая модель, которая позволяет прогнозировать температуры вращающегося ротора [5]. В ней по известной температуре статора и токи статорной обмотки происходит вычисление температуры двигателя. Данная система обеспечивает сигнал отключения, при превышении предельных условий, установленных изначально.

Исторически в отличие от промышленных двигателей, тяговые двигатели не были защищены от тепловых перегрузок. Расположение двигателей, само по себе изначально подвергает кабели температурных датчиков ударам и вредному воздействию окружающей среды. Возможность ложных показаний или повреждений датчиков обычно влияют на надежность системы, которая мешает использовать встроенные датчики.

Для тяговых электродвигателей существует ряд патентных разработок. Так, патент США №5298842 [6] описывает тепловую защиту двигателя локомотива, основанную на измерении трех переменных: температуру воздуха на входе системы охлаждения, температуру статорной обмотки, измеренную встроенным датчиком, и ток статорной обмотки двигателя. Так же, известна система тепловой защиты, содержащая электронное моделирующее устройство [7], по величине выходного сигнала с помощью которого автоматически ступенями изменяется подача воздуха мотор-вентиляторов в системе охлаждения тяговых электродвигателей электровозов. В основе: аналогия между динамическими процессами нагревания и остывания якорных обмоток электрических машин и процессами заряда и разряда конденсатора в R-C цепи. Необходимо отметить, что данная система имеет недостаток: вследствие ее разомкнутости система имеет большую статическую неравномерность и повышенные затраты электроэнергии на функционирование.

Также известна математическая модель системы охлаждения тяговых электрических машин локомотивов как объекта регулирования температуры [8]. Данная система охлаждения рассматривается здесь теоритически автоматического регулирования как элемент автоматической системы регулирования температуры. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, составленную на основании уравнений теплового баланса, описывающую процессы изменения средней температуры обмотки одного добавочного полюса в зависимости от регулирующего и возмущающих (напряжение, ток электрической машины, температура охлаждающей среды) воздействий.

Наиболее близким к заявляемой полезной модели является устройство для автоматического регулирования температуры обмоток электрической машины постоянного тока (РФ №2177669) [9]. Данная полезная модель содержит математическую модель электрической машины как объекта подачи тепла. На входы блока, содержащего математическую модель, подаются сигналы с выходов датчиков тока и напряжения электрической машины, частоты вращения вала электрической машины, частоты вращения вала вентилятора, температуры охлаждающей среды, а также воздействие, корректирующее процесс вычисления значений максимальной локальной температуры якорной обмотки, обмоток главных и добавочных полюсов. Устройство выполняет вычисление максимальной локальной температуры якорной обмотки, обмоток главных и добавочных полюсов. К недостаткам данной системы можно отнести сложность устройства, заключающееся в том, что для его функционирования необходимо знать падения напряжения на

обмотках главных и добавочных полюсов электрической машины. В тяговом двигателе это является большой проблемой из-за невозможности размещения кабелей в пространстве двигателя. Проблемой также является измерение скорости вращения вала двигателя. Кроме того, данное устройство производит вычисление температуры якорной обмотки, обмоток главных и добавочных полюсов, которая может не соответствовать локальным температурам наиболее нагретых областей, а соответственно, и перегревам.

Более точную информацию о температурном поле машины можно получить теоретическим путем на основе уравнения теплопроводности (Богаенко И.Н. Контроль температуры электрических машин. - Киев:Техника, 1975. - 176 с.; Попов А.А., Логинова Е.Ю. Результаты экспериментального и расчетного определения температур обмоток тягового электродвигателя. Вестник ВНИИЖТ, 1999, №6, с.34-39) [10]. Математическая модель обеспечивает полную картину поля, при условии получения надежных сведений о распределении потерь, свойствах материалов и течении охлаждающих агентов. Для этого в вычислительный блок закладывается математическая модель теплового состояния двигателя, построенная на основании тепловых схем замещения и позволяющая по нескольким информационным значениям температуры конкретных частей машины определять общую картину температурных полей двигателя, и, соответственно, температуру наиболее нагретых точек. Используя тепловую модель ТЭД, можно контролировать температуру таких частей машины, как коллектор или якорная обмотка при вращении машины, имея информацию с ограниченного числа нескольких неподвижных точек (например, корпуса, охлаждающего воздуха).

Все представленные патентные решения дают погрешность результатов расчета с результатами испытаний не превышающую 10%, а с результатами литературы 5% [1]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что нет оптимального решения, каждая из моделей имеет свои положительные и отрицательные черты и свою область применения, однако их применение позволит предупредить перегрев и преждевременный выход из строя ТЭД.

Список литературы:

1. ПолезнаяМОДЕЛЬ.RU [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://poleznayamodel.ru/model/7/79840.html> (дата обращения 9.10.2015 г.).
2. NTPRO [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.ntpo.com/patents_electronics/electronics_6/electronics_443.shtml (дата обращения 9.10.2015 г.).
3. Bankpatentov [Электронный ресурс]. Режим доступа
4. <http://bankpatentov.ru/node/344886> (дата обращения 19.10.2015 г.).
5. Freepatent [Электронный ресурс]. Режим доступа
6. <http://www.freepatent.ru/patents/2177669> (дата обращения 11.10.2015 г.).
7. Findpatent [Электронный ресурс]. Режим доступа
8. <http://www.findpatent.ru/patent/225/2251779.html> (дата обращения 18.10.2015 г.).
9. Freepm [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.freepm.ru/Models/79840> (дата обращения 10.10.2015 г.).
10. Cyberleninka [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplovogo-sostoyaniya-tyagovogo-elektrodvigatelya-dlya-prognozirovaniya-resursa> (дата обращения 12.10.2015 г.).
11. Пат. 2256996 Российская Федерация, МПК⁷ H02K9/04. Автоматическая система регулирования температуры обмоток тяговых электрических машин с электрическим на переменном токе приводом вентилятора / Луков Н. М., Ромашкова О. Н., Космодамянский А. С., Алейников И. А., Попов Ю. В. ; заявитель и патентообладатель: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации (РГОТУПС) (RU) – № 2003132783/11 ; заявлен 11.11.2003 ; опубл. в БИ № 20, 20.07.2005.
12. Пат. 2256996 Российская Федерация МПК⁷ H02K9/04. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ПРИВОДОМ ВЕНТИЛЯТОРА. Луков Н.М. (RU); Ромашкова О.Н. (RU); Космодамянский А.С. (RU); Алейников И.А. (RU); Попов Ю.В. (RU) ; заявитель и патентообладатель: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации (РГОТУПС)– № 2003132783/11; заявлен 11.11.2003 ; опубл. в БИ № 20, 20.07.2005.

13. Пат. 2177669 Российская Федерация МПК⁷ Н02К9/04. Устройство для автоматического регулирования температуры обмоток электрической машины постоянного тока / Космодамианский А.С.; Луков Н.М.; Попов В.М.; заявитель и патентообладатель: Российский государственный открытый технический университет путей сообщения (РГОТУПС)– № 2000105953/09; заявлен 14.03.2000; опубл. в БИ № 20, 27.12.2001

Подходы к моделированию функционирования теплового аккумулятора в системе теплоснабжения с солнечным коллектором

Онучин Е.М., Остащенко А.П.

Поволжский государственный технологический университет, ФГБОУ ВПО «ПГТУ», Россия, г. Йошкар-Ола,

E-mail: aostashenkov@gmail.com

Естественной формой существования солнечного излучения, как вида возобновляемого источника энергии, является периодически возникающий в окружающей среде поток энергии [1], что обуславливает применение технических средств, позволяющих скомпенсировать переменный характер поступления энергии от преобразователя возобновляемой энергии. В контексте рассмотрения систем солнечного теплоснабжения одним из распространенных методов компенсации колебаний мощности солнечного коллектора в зависимости от интенсивности солнечного излучения является применение тепловых аккумуляторов. Однако применение данного подхода предполагает учет динамики возмущающих воздействий на работу теплового аккумулятора в течение периода функционирования системы солнечного теплоснабжения.

Целью работы является выбор подхода к математическому моделированию функционирования теплового аккумулятора в системе теплоснабжения с солнечным коллектором.

Наиболее распространенным подходом к математическому моделированию функционирования теплового аккумулятора является описание исследуемой системы через построение графических диаграмм причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени. Существующие математические модели функционирования теплового аккумулятора в составе систем солнечного теплоснабжения описывают динамику изменения температуры теплоносителя теплового аккумулятора с учетом потерь тепла через стенки теплового аккумулятора, потерь тепловой энергии на нагрев посредством теплообменника теплоносителя, циркулирующего в контуре теплоснабжения потребителя, а также теплоступлений от солнечного коллектора [2–5]. Дифференциальное уравнение баланса тепла для бака теплового аккумулятора в предположении, что система работает в квазистационарном режиме, при котором количество полезной энергии, поглощенной солнечным коллектором, переданной через теплообменник в бак-аккумулятор [6]:

$$dQ_c = c_p^b \rho_b V_b dT_b + Q_T(t) dt + dQ_b \quad (1)$$

где c_p^b – удельная теплоемкость теплоносителя в аккумуляторе, кДж/(кг·К); ρ_b – плотность теплоносителя в аккумуляторе, кг/м³; V_b – объем бака теплоаккумулятора, м³; T_b – температура теплоносителя в аккумуляторе, К; Q_T – тепловая мощность установки, кДж/ч; t – время, ч; Q_b – тепловые потери бака, кДж.

Однако данный подход не учитывает предшествующее шагу моделирования состояние теплового аккумулятора, что является важным аспектом при оценке адекватности математической модели функционирования теплового аккумулятора, поскольку в случае если температура теплоносителя внутри теплоаккумулятора выше температуры теплоносителя в контуре, связанным с солнечным коллектором, тепловой баланс теплового аккумулятора будет иметь иной характер.

Поскольку интенсивность солнечного излучения имеет переменный характер, при математическом моделировании следует учитывать колебания мощности солнечного коллектора, а также динамику изменения температуры теплоносителя теплового аккумулятора с учетом предшествующего шагу моделирования состояния системы. Данный подход предполагает наличие дополнительного входного фактора, характеризующего длительность шага моделирования, что позволяет в рамках шага учитывать изменение теплового баланса солнечного коллектора.

Если температура теплоносителя в контуре с солнечным коллектором меньше температуры теплоносителя в аккумуляторе ($T_c < T_b$), то с учетом наличия дополнительного фактора, учитывающего длительность шага моделирования, баланс теплового аккумулятора можно записать в виде: