учно-технические ведомости СПбГПУ.— 2010. № 4 (110).

8. **Шакиров, М.А.** Анализ неравномерности распределения магнитных нагрузок и потерь в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения [Текст] / М.А. Шакиров // Электричество.— 2005. № 11.

9. **Брон, О.Б.** Электромагнитное поле как вид материи [Текст] / О.Б. Брон.— М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962.

10. **Туровский, Я.** Техническая электродинамика [Текст] / Я. Туровский.— М.: Энергия, 1974.

11. **Лейтес, Л.В.** Вектор Пойнтинга в реакторе и трансформаторе [Текст] / Л.В. Лейтес // Электричество.— 1978. № 7.

УДК 621.175.4

И.А. Богов, А.П. Безухов, В.А. Суханов, И.Д. Волковицкий, Н.Ю. Донцов

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ПАРОТУРБИННЫХ ВОЗДУХООХЛАЖДАЕМЫХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Снижение водопотребления тепловыми электростанциями — чрезвычайно актуальная проблема, требующая решения ряда задач, главная из которых — это разработка комплекса мероприятий, направленных на использование в составе паротурбинных установок (ПТУ) так называемых «сухих» систем охлаждения, в частности воздухоохлаждаемых конденсаторов (ВК). В связи с этим особую важность приобретает решение таких вопросов, как моделирование, исследование и расчет рабочих процессов в паротурбинных воздухоохлаждаемых конденсационных установках (ВКУ). Наиболее оптимален с технико-экономической точки зрения такой метод экспериментального исследования этих рабочих процессов, как физическое моделирование. Для реализации этого метода моделирования указанных рабочих процессов в лаборатории кафедры турбиностроения и средств автоматики Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ — ВТУЗ) был построен уникальный стенд — «Воздухоохлаждаемая конденсационная установка». Его совмещенная (принципиальная и измерительная) схема представлены на рис. 1*.

В состав стенда входят три взаимосвязанные системы: пароводяная, газоудаления и воздушная.

Пароводяная система представляет собой разомкнутый контур первичного теплоносителя. В этом контуре питательная вода насосом Н подается через фильтр Ф из водопровода центрального холодного водоснабжения ХВС на электропарогенератор ЭПГ, в котором она преобразуется в пар. Насос Н управляется посредством магнитного пускателя сигналами, поступающими от датчиков уровня воды, находящихся в соответствующем уровневом баке электропарогенератора (ЭПГ). По сигналу датчика нижнего уровня происходит включение насоса, в результате чего основной бак ЭПГ пополняется водой до верхнего уровня, компенсируя тем самым расход воды на испарение и технологическую продувку. Частота включения насоса определяется площадью проходного сечения трубопровода питательной воды, регулируемой с помощью электромагнитного крана КЭМ1, и скоростью испарения этой воды, характеризуемой изменением ее уровня в основном баке ЭПГ.

Пар, образовавшийся в электропарогенераторе, проходит по основному трубопроводу, на котором последовательно располагается следующая запорная арматура: шаровой кран ШК7, необходимый для экстренного отключения подачи пара; регулирующий (тарельчатый) вентиль РТВ1; регулирующий (игольчатый) вентиль РИВ, посредством которого осуществляется плавное дросселирование пара. Открытие и за-

* **Богов, И.А.** Моделирование рабочих процессов воздухоохлаждаемых конденсаторов парогазовых установок [Текст] / И.А. Богов, В.В. Назаров, В.А. Суханов // Тезисы докладов LIX научно-технической сессии по проблемам газовых турбин и парогазовых установок «Научно-технические проблемы выбора схем, параметров и материалов современных газотурбинных и парогазовых установок».— Санкт-Петербург, 5–7 сентября 2012 г.— ОАО «ВТИ».— СПб., 2012.— С. 115–116.

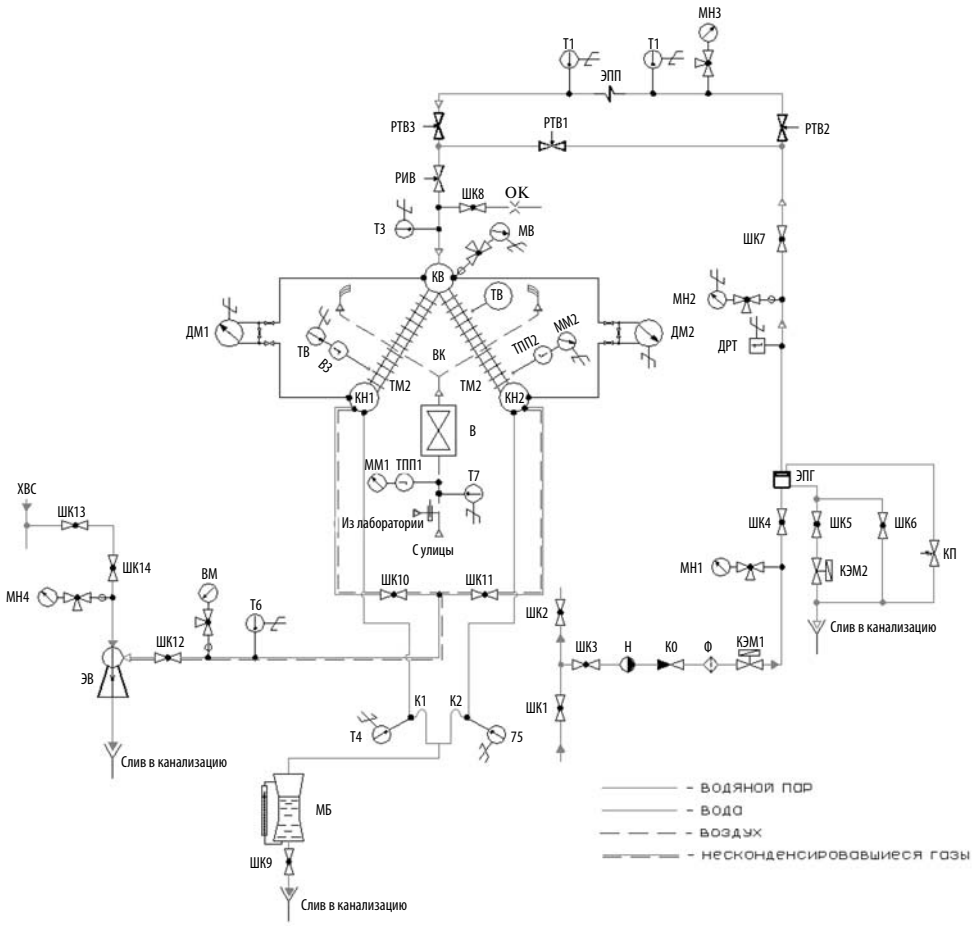


Рис. 1. Совмещенная принципиальная и измерительная схема стенда для экспериментального исследования рабочих процессов в паротурбинных воздухоохлаждаемых конденсационных установках:

ВК — воздухоохлаждаемый конденсатор; КВ — коллектор верхний; КН1, 2 — коллектор нижний; ТМ1, 2 — теплообменный модуль; Н — насос питательной воды; ШК1, ... 14 — шаровой кран; КО — клапан обратный; Ф — фильтр; КЭМ1, 2 — кран электромагнитный; ЭПГ — электропарогенератор; ЭПП — электропароперегреватель; КП — клапан предохранительный; ДРТ — датчик-реле температуры; РТВ1, ... 3 — регулирующий (тарельчатый) вентиль; РИВ — регулирующий (игольчатый) вентиль; СК — сопло калиброванное; МБ — мерный бак; К1, 2 — колено; МН1, ... 4 — манометр; МВ — мановакуумметр; ВМ — вакуумметр; ДМ1, 2 — дифференциальный манометр; ММ1, 2 — микроманометр; Т1, ... 8 — термометр; ТВ — тепловизор; ТПП1, 2 — трубка Пито — Прандтля; ВЗ — воздушный зонд; ЭВ — эжектор водоструйный; В — вентилятор; Р — решетка жалюзийная; ХВС — холодное водоснабжение

крытие подачи пара в паропровод электропароперегревателя ЭПП осуществляется посредством регулирующих вентилей РТВ2 и РТВ3. При открытых вентилях РТВ2 и РТВ3 регулирующий вентиль РТВ1 позволяет управлять термодинамическим состоянием водяного пара, добиваясь в ограниченном диапазоне изменения степени его перегрева или влажности. Полученный водяной пар попадает в воздухоохлаждаемый конденсатор ВК, в котором происходит его конденсация. Образовавшийся конденсат стекает транзитом через нижние коллекторы ВК в колена К1 и К2, представляющие собой простейшие гидрозатворы, а затем — в мерный бак МБ.

Слив конденсата из мерного бака МБ в канализацию осуществляется по мере его накопления при помощи открытия шарового крана ШК9.

Стенд позволяет осуществлять исследование влияния содержания воздуха в паре на тепломассообмен в ВК. С этой целью в конструкции подводящего к ВК паропровода предусмотрена подача воздуха через калиброванное сопло СК,

на котором имеет место критический перепад давлений. Подача воздуха через калиброванное сопло СК может быть отключена посредством шарового крана ШК8.

Система газоудаления представляет собой совокупность водоструйного эжектора ЭВ различных трубопроводов с запорной арматурой, она предназначена для удаления из ВК несконденсировавшихся газов. Основным элементом этой системы является водоструйный эжектор ЭВ, работающий по разомкнутой схеме без насоса. Подача рабочей воды к эжектору осуществляется по трубопроводу центрального холодного водоснабжения ХВС. Эжектор ЭВ используется как в качестве пускового, так и в качестве основного воздухоудаляющего устройства ВК.

Тракт рабочей воды оснащен двумя шаровыми кранами ШК13 и ШК14, позволяющими осуществлять отключение подачи этой воды на эжектор. Дублирование запорной арматуры (ШК13 и ШК14) связано с необходимостью обеспечения удобства управления подачей рабочей воды при относительно большой протяженности водяного тракта.

Посредством шаровых кранов ШК10, ШК11 и ШК12, которыми оснащен тракт отвода из ВК несконденсировавшихся газов, осуществляется разделение проточной части стенда, находящейся под разряжением, на отдельные, относительно короткие участки, удобные для проверки их герметичности.

Воздух в воздухоохлаждаемой конденсационной установке является вторичным теплоносителем. Его забор осуществляется вне помещения (с улицы). Нагнетание этого воздуха к теплообменным модулям ТМ1 и ТМ2 осуществляется с помощью вентилятора В. Воздушный тракт до вентилятора располагается в помещении лаборатории и представляет собой стальной трубопровод (воздуховод). Установка воздуховода обусловлена необходимостью поддержания постоянного значения температуры вторичного теплоносителя на входе в теплообменные модули ВК.

Для регулирования температуры воздуха, омывающего снаружи поверхности теплообмена ВК, в конструкции воздуховода предусмотрен дополнительный забор воздуха из помещения лаборатории. Этот дополнительный поток воздуха при условии отличия его температуры от температуры воздуха, поступающего в воздуховод с улицы, позволяет при образовании воздушной смеси добиваться требуемого значения ее температуры. Регулирование величины расхода этого дополнительно забираемого из помещения лаборатории воздуха осуществляется посредством специальной жалюзийной решетки Р.

С целью устранения неравномерности потока воздуха, поступающего от вентилятора к теплообменным модулям ВК, обусловленной, в частности, влиянием втулки колеса вентилятора, между теплообменными модулями и вентилятором установлены диффузор и сетка.

Для построения рабочих характеристик ВК и водоструйного эжектора, в том числе совмещенных характеристик, а также для выполнения различных экспериментальных исследований предусматривается измерение следующих физических величин (см. рис. 1):

для первичного теплоносителя — статического давления и температуры пара или паровоздушной смеси (ПВС) на входе в ВК (МВ и Т3); перепада давлений пара или ПВС на входе и выходе из теплообменных модулей (ДМ1 и ДМ2); температуры и статического давления пара на входе и выходе из ЭПП (соответственно Т1, Т2, МН3 и МВ); силы и напряжения электрического тока (амперметр и вольтметр на щитах управления ЭПГ и ЭПП на рис. 1 не указаны); барометрического давления и температуры воздуха в помещении лаборатории (барометр и соответствующий электрический термометр сопротивления на рис. 1 не указаны); температуры и объемного расхода конденсата водяного пара (Т4, Т5, МБ);

для поверхности теплообмена — температуры наружных поверхностей стенок трубок теплообменных модулей (ТВ);

для вторичного теплоносителя — динамического давления и температуры воздуха на входе в вентилятор и выходе из теплообменных модулей (ММ1 с ТПП1, Т7, ММ2 с ТПП2 и Т8);

для рабочей воды и несконденсировавшихся газов — статического давления (МН4, ВМ); температуры (Т6).

При этом следует отметить, что контрольно-измерительная аппаратура МН1, МН2, МН3, ДРТ, Т1 и Т2 (см. рис. 1) предназначена для контроля термодинамических параметров пара и является штатной для ЭПГ и ЭПП.

Основные технические характеристики измерительных преобразователей и приборов, используемых в оснащении стенда, приведены в таблице.

Следует отметить, что приборы для измерения давления укомплектованы соответствующей запорной арматурой: манометр МН3 — трехходовым шаровым краном; мановакуумметр МВ, манометр МН2 и вакуумметр ВМ — демпфирующими устройствами и трехходовыми шаровыми кранами; дифференциальные манометры ДМ1, ДМ2 —вентильными блоками.

Для автоматизации и централизации сбора информации с измерительных электрических приборов большинство из них подключены к безбумажным самопишущим регистраторам с *TFT*-дисплеем, имеющим по 18 измерительных каналов. Указанные безбумажные самопишущие регистраторы имеют внутренний и внешний накопители информации. Частота опроса само-

Основные технические характеристики измерительных преобразователей и приборов, используемых в оснащении стенда

Обозначение на схеме	Тип измерительного прибора (преобразователя)	Диапазон измерения, класс точности (допустимая погрешность)	Примечание
1. Преобразование температуры			
Т1, Т2	Электрический термометр сопротивления медный (ТСМ 50)	–50...+200 °С, класс точности В по ГОСТ Р 8.625–2006	Подключение по трехпроводной схеме
Т3, ...Т6	Электрический термометр сопротивления платиновый (ТСП 100)	–50...+400 °С, класс точности А по DIN EN60 751	Подключение по трехпроводной схеме
Т7	Электрический термометр сопротивления платиновый (ТСП 100)	–50...+400 °С, класс точности А по DIN EN60 751	Подключение по двухпроводной схеме
Т8	Электронный контактный термометр	–100...+1800 °С, (±0,15 % +(единица младшего разряда))	Укомплектован воздушным зондом
ТВ	Тепловизор измерительный радиационный	–50...+400 °С, (±2 °С или ±2 %)	Укомплектован тремя сменными объективами. Имеет возможность съемки радиометрического видео
–	Электрический термометр сопротивления платиновый (ТСП 100)	–50...+400 °С, класс точности А по DIN EN60 751	Подключение по трехпроводной схеме
2. Приборы для измерения давления			
МН1	Манометр пружинный	0–1,6 МПа, класс точности 1	Штатный измерительный прибор для ЭПГ
МН2	Манометр электроконтактный	0–10 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, класс точности 1,5	Штатный измерительный прибор для ЭПГ
МН3	Манометр пружинный	0–10 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, класс точности 1,5	Штатный измерительный прибор для ЭПП

Окончание табл.

Обозначение на схеме	Тип измерительного прибора (преобразователя)	Диапазон измерения, класс точности (допустимая погрешность)	Примечание
МН4	Манометр пружинный	0–6 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, класс точности 0,4	–
ВМ	Вакуумметр пружинный	0––1 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, класс точности 0,4	–
МВ	Мановакуумметр электронный	–1 до +10 бар, (<0,1 % верхнего предела измерения)	Работает по пьезорезистивному принципу. Имеет табло для визуализации показаний
ДМ1...2	Дифференциальный манометр электронный	–60 до +60 мбар, (<0,1 % верхнего предела измерения)	Работает по пьезорезистивному принципу. Имеет табло для визуализации показаний
ММ1...2	Микроманометр электронный	–400...+400 мм вод. ст., (±(0,1+0,05*P*))	Совместно с ТПП1, 2 представляет собой комбинированный приемник давления
–	Барометр электрический	30–110 кПа, (± 10 Па)	Образцовый переносной

пишущим регистратором первичных измерительных приборов может достигать 8 Гц. Использование указанной системы сбора информации позволяет исключить необходимость привлечения для этой цели большого числа статистов.

Электрическое и информационное подключение электрических измерительных приборов к безбумажным самопишущим регистраторам осуществляется посредством провода UTP-4-K5E.

Для указанной на рис. 1 принципиальной схемы стенда, позволяющего осуществлять экспериментальные исследования рабочих процессов в паротурбинных воздухоохлаждаемых конденсационных установках, была разработана соответствующая компьютерная трехмерная модель, представленная на рис. 2, которая затем была практически реализована в виде уникального стенда [1].

Элементы стенда в соответствии с конструкцией двухъярусного стеллажа *1* размещены на двух высотных отметках — 0 и 2,5 м. На высотной отметке 2,5 метра располагаются электропарогенератор *2*, электропароперегреватель *6*, воздухоохлаждаемый конденсатор *3* и вентилятор *12* с диффузором *14*. На нулевой высотной отметке располагаются водоструйный эжектор *9*, мерный бак *10* и воздуховод *11*.

Паропроизводительность ЭПГ может достигать 170 $\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$, а температура пара на выходе из него — 160 °С. Электропароперегреватель позволяет осуществлять перегрев водяного пара, поступающего от ЭПГ, до температуры 200 °С.

Конструкция ВК реализована по так называемой одноступенчатой схеме конденсации, которая предполагает: подачу паровоздушной смеси в трубки пучка только из верхнего коллектора; удаление конденсата и несконденсировавшихся газов из нижнего коллектора; нисходящее движение паровоздушной смеси и конденсата.

Обечайка верхнего коллектора *1*, представленного на рис. 3, конструктивно оформляется в виде трубы круглого поперечного сечения стандартного сортамента Dy-200 (∅ 219 мм), изготовленной из стали-20 по бесшовной технологии (ГОСТ 8732–78). Эта обечайка с одного торца снабжена фланцем *2* с отверстиями под крепеж для соединения с паропроводом. На дру-

гом торце обечайки *1* приварена заглушка *5*. Наряду с этим в обечайке верхнего коллектора предусмотрены два продольных окна прямоугольной формы, предназначенные для распределения пара по теплообменным модулям. Эти окна располагаются в нижней части обечайки симметрично относительно ее вертикальной диаметральной плоскости. В поперечном сечении обечайки угол между осевыми линиями указанных прямоугольных окон составляет 60°. К этим окнам приварены короба *3*, к которым, в свою очередь, приварены фланцы *4*, снабженные сквозными отверстиями под крепеж и соответствующими глухими отверстиями под центровочные штифты.

Поверхность теплообмена ВК, скомпонованная из биметаллических трубок с наружным поперечно-винтовым ленточным *L*-образным оребрением, конструктивно оформлена двумя модулями *7* (см. рис. 2). Теплообменный модуль ВК представлен на рис. 4.

Трубный пучок *1* теплообменного модуля состоит из 22 трубок, основные геометрические характеристики которых следующие:

Внутренний диаметр трубки, несущей оребрение	20,8 мм
Диаметр по основанию ребра	26,8 мм
Средняя толщина ребра	0,47 мм
Высота ребра	14,0 мм
Шаг ребра	3,0 мм
Диаметр по вершине ребра	54,8 мм
Коэффициент оребрения	15
Длина поверхности теплообмена трубки	954,5 мм

Порядок расположения трубок в трубных досках — шахматный. Значения поперечного и диагонального абсолютных шагов разбивки трубок в трубных досках равны между собой и составляют 56 мм.

Конструктивное оформление трубных досок *2* позволяет их использовать как фланцы.

Боковые стенки *3* (см. рис. 4) выполнены из листовой стали толщиной 1 мм. Ширина листа равна глубине пучка трубок и составляет 120 мм, а длина листа равна длине трубок (см. табл. 2). К боковым стенкам теплообменного модуля с целью увеличения жесткости его конструкции приварен специальный каркас, выполненный из углового проката. Крепление боковых стенок к трубным доскам теплообменного модуля осуществляется посредством болтов.

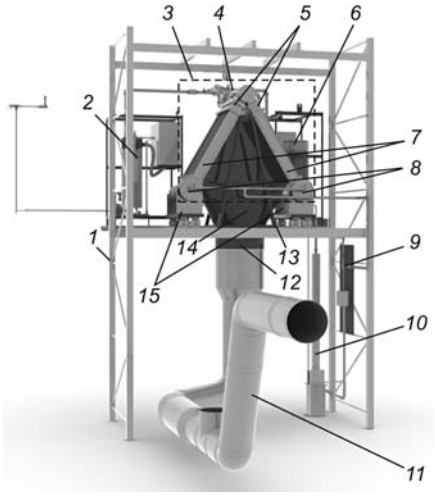


Рис. 2. Компьютерная трехмерная модель стенда:

1 — двухъярусный стеллаж; *2* — электропарогенератор; *3* — воздухоохлаждаемый конденсатор; *4* — верхний коллектор ВК; *5* — переходники; *6* — электропароперегреватель; *7* — теплообменные модули ВК; *8* — нижние коллектора ВК; *9* — водоструйный эжектор; *10* — мерный бак; *11* — воздуховод; *12* — вентилятор; *13* — опорная рама; *14* — диффузор; *15* — опорные тележки

Нижние коллекторы (см. рис. 2) предназначены для приема/отвода конденсата и несконденсировавшихся газов. Обечайка *1* нижнего коллектора ВК, представленного на рис. 5, конструктивно оформляется, как и у верхнего коллектора, в виде трубы круглого поперечного сечения стандартного сортамента *D*у-200 (219 мм), изготовленной из стали-20 по бесшовной технологии (ГОСТ 8732–78). Эта обечайка

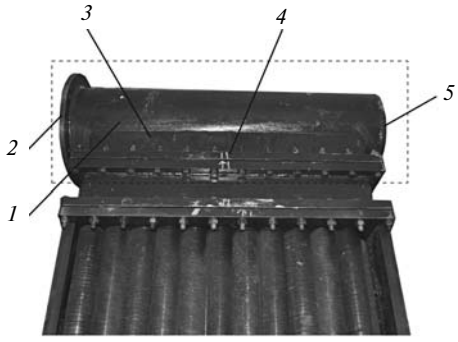


Рис. 3. Верхний коллектор ВК:

1 — обечайка; *2* — фланец трубы; *3* — короба; *4* — фланцы коробов; *5* — заглушка

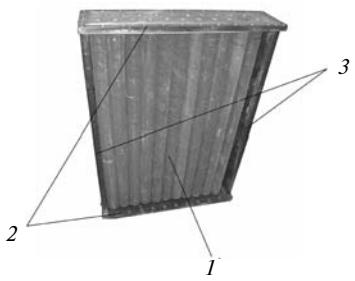


Рис. 4. Теплообменный модуль ВК:
1 — трубный пучок; *2* — трубные доски; *3* — боковые стенки

с одного торца снабжена фланцем *2*, имеющим отверстия для болтового крепления к нему съемной заглушки, отсутствующей на рис. 5. С другого торца, как показано на рисунке, к этой трубе приварена заглушка *5*.

Внутри нижнего коллектора располагается газовый коллектор, в который поступают несконденсировавшиеся газы. Отвод этих газов из коллектора эжектором осуществляется по специальной трубке, проходящей через отверстие в съемной заглушке.

В обечайке нижнего коллектора выполнено окно прямоугольной формы, предназначенное для приема конденсата и несконденсировавшихся газов, поступающих из теплообменного модуля. Это окно располагается в верхней части обечайки. К указанному окну приварен короб *3*, к которому, в свою очередь, приварен фланец *4*, снабженный сквозными отверстиями под крепеж и соответствующими глухими отверстиями под центровочные штифты. Конструкция этого короба позволяет реализовать заданный угол наклона обечайки нижнего коллектора в направлении штуцера *6*, предназначенного для удаления конденсата водяного пара. Величина этого угла наклона составляет 3°.

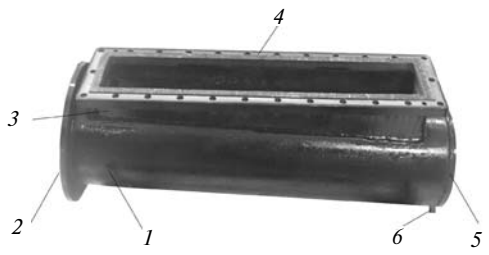


Рис. 5. Нижний коллектор ВК:
1 — обечайка; *2* — фланец трубы; *3* — короб; *4* — фланец короба; *5* — заглушка; *6* — штуцер

Компоновка теплообменных модулей в секции ВК осуществляется в виде шатра.

Для исследования влияния на рабочий процесс ВК, выполненного в виде шатра, такого важного фактора, как угол раскрытия в нем теплообменных модулей, предусмотрено использование специальных устройств — переходников *5* и опорных тележек *15* (см. рис. 2).

Переходники *5* устанавливаются между паровым коллектором *4* и теплообменными модулями *7*. Всего имеется два комплекта переходников: базовый — для реализации угла наклона 60°; дополнительный — для реализации углов наклона 45° и 75°.

Благодаря наличию разъемных соединений теплообменных модулей с переходниками и нижними коллекторами можно осуществлять замену этих модулей на другие, отличающиеся от исходных геометрическими параметрами трубного пучка.

Для уплотнения всех фланцевых соединений применяются паранитовые прокладки.

Фиксирование конструкции ВК осуществляется также посредством опорной рамы *13* (см. рис. 2).

Система газоудаления предусматривает возможность исследования влияния на ее эффективность особенностей конструктивного оформления водоструйного эжектора *9* (см. рис. 2) и пространственного расположения внутри НК газового коллектора.

Нагнетание потока воздуха к теплообменным поверхностям ВК осуществляется осевым вентилятором *12* (см. рис. 2) общего назначения типа ВО-6,3. Мощность электродвигателя этого вентилятора составляет 1,5 кВт, а частота вращения ротора — $1500\frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

Конструкция ВК предусматривает максимальное обеспечение расхода охлаждающего воздуха, поступающего от осевого вентилятора к поверхностям теплообмена конденсатора, и соответственно минимизацию непроизводительного расхода этого воздуха в виде утечек путем установки со стороны торцов шатра уплотнительных стенок, выполненных из листов органического стекла.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду и обеспечения безопасности работы обслуживающего персонала паропроводы, верхний и нижние коллекторы ВК, трубки подвода несконденсировавшихся газов к эжектору,

а также трубки отвода конденсата из нижних коллекторов в мерный бак покрыты теплоизоляционным материалом.

Успешное проведение экспериментальных исследований рабочих процессов в паротурбинных воздухоохлаждаемых конденсаторах дает основание полагать, что такой стенд и полученные на нем результаты исследований представляют практический интерес для предприятий и организаций энергомашиностроительного профиля.

УДК 621.365.5

В.Н. Иванов, Д.В. Иванов

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ТОКОПОДВОДОВ, ИНДУКТОРА И НАГРЕВАЕМОЙ ДЕТАЛИ

При разработке технологических процессов, использующих воздействие высокочастотных электромагнитных полей на проводящие материалы, технологическая установка редко рассматривается как единая электромагнитная система, состоящая из элементов (источник питания, токоподводы, конденсаторная батарея, индуктор, нагреваемая заготовка). Обычно, используя разработанные методики, изучают распределение высокочастотного электромагнитного поля в обрабатываемом изделии и индукторе, после этого отдельно — в токоподводах, затем — в других элементах.

При этом не рассматриваются процесс распространения энергии в электромагнитной системе от источника питания к индуктору и детали, а также движение энергии в проводящем материале: от поверхности в глубину, а из глубины к его поверхности и затем в воздушный зазор.

Не разъясняется также, как выбран исследуемый элемент и почему его можно считать отдельно от всей электромагнитной системы. Обычно используются такие интегральные понятия, как активное сопротивление проводника и индуктивное сопротивление, обязанное магнитному потоку, проходящему внутри проводника.

Однако для более глубокого понимания процессов взаимодействия электромагнитного поля и проводников при разработке методик расчета целесообразно исследовать распространение электромагнитной энергии в единой электромагнитной системе «источник питания — элементы технологического устройства (подводящие шины) — индуктор — нагреваемая деталь». Следует рассмотреть величины, фазы и направление векторов напряженности магнитного поля ($\vec{H}$), напряженности электрического поля ($\vec{E}$) и вектора Умова — Пойнтинга ($\vec{S}$).

Вектор Умова — Пойнтинга $\vec{S}$, равный векторному произведению векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$ ($\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$), представляет собой энергию, проходящую в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную его направлению (рис. 1). Размерность этого вектора — мощность на единицу поверхности (Вт/м^2).

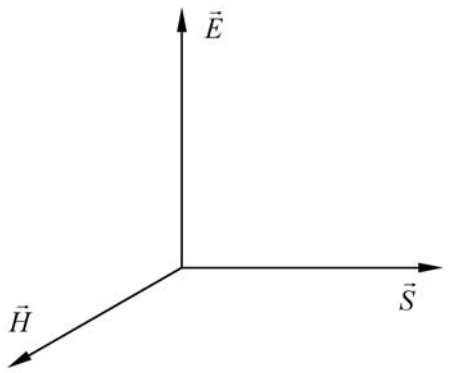


Рис. 1. Направление векторов напряженностей электрического и магнитного полей, а также вектора Умова — Пойнтинга