

Введение Энергообеспечение предприятий предусматривает совокупность средств и методов, предназначенных для разработки и применения установок и систем производящих, трансформирующих, распределяющих и потребляющих тепловую, электрическую и иные виды энергии, обеспечивающие функционирование промышленных предприятий [1]. Энергетическое хозяйство современного промышленного предприятия включает в себя значительное количество энергосилового и тепломеханического оборудования. Котельные установки обеспечивают паром и горячей водой технологические потребности промышленных предприятий и систем отопления, для чего используются разнообразные теплообменные аппараты и устройства, а также для выработки электрической энергии с использованием парогенераторов. Будущий специалист в области энергообеспечения должен знать теоретические основы процесса генерирования электрической энергии на тепловых электрических станциях, а также четко представлять работу паровых турбин. Основы базовых знаний и умений любого профессионала закладываются при изучении специальных дисциплин в вузе. Если с первой задачей – задачей овладения знаниями, как правило, студенты на профилирующих кафедрах легко справляются, то со второй задачей – задачей получения практических представлений и практических навыков работы со специализированным оборудованием возникают объективные трудности. Решить эту проблему призван лабораторный практикум по дисциплине. Для построения эффективного лабораторного курса требуется оснастить лаборатории современными стендами и экспериментальными установками. В настоящее время существует два подхода к решению задачи оснащения специализированных лабораторий: приобретение учебного оборудования промышленного производства и разработка лабораторных макетов, стендов и экспериментальных производств собственными силами [2]. Это в полной мере касается и теплоэнергетического оборудования. Однако, применительно к этому классу лабораторных установок существует ряд специфических требований. Во-первых, подобное оборудование требует больших площадей. Во-вторых, стоимость таких промышленных образцов достаточно высока, что усложняет их приобретение. И, в-третьих, установка парогенераторов требует специальных разрешений и соблюдения жестких требований правил эксплуатации. В настоящей статье приводятся результаты работы по разработке и внедрению в учебный процесс лабораторной установки для производства водяного пара, используемого в различных лабораторном оборудовании, включая турбины для производства электроэнергии. Особенность решения этой задачи состоит в том, что в рамках проведенного исследования было разработано техническое обеспечение в форме лабораторного стенда, математическое обеспечение и его решение, а также информационное, программное и методическое обеспечения всего лабораторного комплекса [3]. Экспериментальная часть Техническую основу

лабораторной установки составляет электрический парогенератор, принципиальная схема которого показана на рис. 1. Рис. 1 – Принципиальная схема установки. Основу установки составляет теплоизолированная емкость, выполненная из коррозионностойкой стали повышенной прочности. В качестве нагревательного элемента парогенератора используется электронагреватель достаточной мощности. Пар образуется в результате кипения воды, скапливается над ее поверхностью, поднимается в верхнюю часть парогенератора и через специальную крышку с отверстиями под давлением подается на лопатки паровой турбины. Рабочее колесо турбины установлено на валу с ротором генератора электрического тока, который вырабатывает напряжение переменного тока и затем преобразует в постоянный ток. Емкость с водой и образующимся паром испытывает существенное внутреннее давление, а также подвергается тепловому воздействию. Безопасная эксплуатация подобного оборудования требует проведения грамотных расчетов, а также постоянного текущего контроля основных параметров процесса. Сопротивление тепловым и механическим воздействиям рассчитывается в соответствии с моделью безмоментной теории тонкостенных осесимметричных оболочек вращения, а также тепловой ползучестью материалов. Механические напряжения в стенках емкости – окружные и меридиональные определяются на основе решения уравнения Лапласа по известным значениям окружного и меридионального радиусов кривизны емкости, а также внутреннего давления и толщины стенки: (1) где σ_t и σ_m – соответственно, окружные и меридиональные напряжения; r_t и r_m – окружной и меридиональный радиусы кривизны оболочки; p – давление; h – толщина стенки оболочки. Для постоянного текущего контроля основных параметров процесса используется электронное оборудование, сопряженное с вычислительным комплексом на базе персонального компьютера (рис. 2). В качестве датчиков температуры и механических напряжений задействованы термометры сопротивления и тензорезисторы, включенные по мостовой схеме [4]. Сигнал разбаланса с датчиков передается на усилитель постоянного тока УПТ и далее, на аналого-цифровой преобразователь АЦП тензостанции ИДЭ-2. Выход прибора согласован с последовательным портом персонального компьютера ПК в соответствии с интерфейсом RS-232. Рис. 2 - Электрическая схема подключения сопротивлений к генератору. Обработку входящих данных выполняет программа ТензоМер-2. Разработка программы была выполнена на основе моделирования [5]. Результаты расчетов выводятся на экраны термометр и манометр. Установка позволяет обрабатывать сигналы с восьми датчиков одновременно. В отсутствие сигнала (режим «модель») программа может быть переведена в режим имитационного моделирования. В этом режиме моделируются различные режимы работы парогенератора, которые в силу ряда причин недоступны для физической модели. Модель программным способом задает инерционность показаний датчиков, а также

генерирует нормально распределенные ошибки измерений в соответствии с классом точности прибора. Этот режим работы предназначен для выполнения самостоятельных исследований студентами в рамках СРС [6]. Информационное обеспечение компьютерной модели основано на использовании базы данных физико-химических свойств ряда жидкостей и физико-механических свойств конструкционных материалов. Кроме того, в режиме моделирования программа дополняет свой экраный щит приборов вольтметром и амперметром, которые измеряют электрическое напряжение и силу тока в цепи электронагревателя. Для эффективной работы студентов с лабораторным оборудованием, авторами статьи было разработано методическое обеспечение лабораторного практикума. В качестве примера можно привести один из вариантов выполнения работы. Во время выполнения работы измеряется сила и напряжение тока в цепи электронагревателя, вычисляется его мощность N_1 . Постепенно вода доводится до кипения, аккуратно стабилизируется давление в парогенераторе и, таким образом, достигается установившийся режим работы электрогенератора. Затем в цепи генератора последовательно включаются несколько резисторов, и для каждого случая записываются значения силы тока I_2 и напряжения U_2 . Мощность генератора постоянного тока определяется по формуле: $N_2 = I_2 \cdot U_2$ (2) КПД парогенератора определяется по формуле: $\eta = N_2 / N_1$ (3) В рассмотренном варианте работы задача студентов заключается в определении КПД парогенератора и грамотное объяснение причин возникновения потерь. Добавляя или изменяя исходные данные и измеряемые величины, можно получать другие варианты выполнения лабораторной работы по усмотрению преподавателя. Заключение Таким образом, в рамках проведенного исследования авторам статьи удалось решить ряд задач учебного, методического и научно-практического характера. Наиболее трудоемкой и материалоемкой частью работы стали проектирование и разработка технического обеспечения лабораторного комплекса для проведения студентами лабораторных и исследовательских работ в области промышленной теплоэнергетики. Рассчитан и сконструирован высокоэффективный парогенератор, паровая турбина и электрический генератор для выработки постоянного тока. Разработана электронная система контроля основных параметров процесса производства водяного пара на основе цифрового измерительного комплекса и персонального компьютера. Создана компьютерная имитационная модель для изучения специфических режимов работы оборудования промышленной теплоэнергетики в рамках выполнения студентами лабораторных и исследовательских работ по темам НИРС. Разработано информационное обеспечение лабораторного комплекса и компьютерной модели в форме компьютерной базы данных, основанной на использовании реляционной модели данных. Разработано и готовится к изданию в форме учебного пособия методическое обеспечение для выполнения ряда

лабораторных работ по дисциплине «Промышленная теплоэнергетика», а также проведения научных работ в рамках НИРС. Выполнено полноценное тестирование и апробация лабораторного комплекса, в том числе и в ходе выполнения пробных лабораторных занятий и исследований в рамках НИРС. Таким образом, в результате решения поставленных задач основная цель работы – разработка лабораторной установки для студентов специальности «Промышленная теплоэнергетика» в полной мере достигнута.