

УДК 621.165

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ ТУРБИНЫ ЛАБОРАТОРНОЙ  
УСТАНОВКИ КАФЕДРЫ ТЭС БНТУ**  
**ORGANIZATION OF PROTECTION OF THE AIR TURBINE OF THE  
LABORATORY UNIT OF THE DEPARTMENT OF THE TPP BNTU**

К.А. Кривицкая

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

tes\_bntu@tut.by

К. Kryvitskaya

Supervisor – M. Karnitski, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Рассмотрены основные положения по разработке защитного устройства для воздушной турбины, входящий в состав лабораторной установки кафедры «Тепловые электрические станции» БНТУ, от скачка оборотов при отключении возбуждения на приводимом ею генераторе.*

***Abstract:** The main provisions on the development of a protective device for an air turbine, which is part of the laboratory installation of the Department "Thermal Power Plants" of BNTU, from a jump in revolutions when the excitation is turned off on the generator driven by it, are considered.*

***Ключевые слова:** воздушная турбина, возбуждение, разгон, лабораторная установка.*

***Keywords:** air turbine, excitation, acceleration, laboratory installation.*

### **Введение**

При работе ТЭС в режиме регулирования графика электрической нагрузки возникает необходимость систематического ее изменения. Известно, что при работе ТЭС в переменном графике электрических нагрузок необходимо изменять нагрузки котлов и турбин в соответствии с заданием диспетчерской службы. При прохождении пиков нагрузки основное оборудование нагружается до своей максимально возможной мощности или наоборот разгружается.

### **Основная часть**

Система защиты турбины должна предотвратить аварию турбоагрегата или, если она возникла, ограничить ее развитие, прекратив поступление пара в турбину быстрым закрытием стопорных и регулирующих клапанов, поворотных диафрагм, обратных клапанов на линиях регулируемых и регенеративных отборов. Система защиты является последней ступенью управления оборудованием турбоустановки.

Из всех защит турбины самой ответственной является защита от разгона (от недопустимого повышения частоты вращения). Это связано с тем, что разрушение турбины центробежными силами является одной из тяжелейших аварий на электростанции, влекущей за собой полный выход из строя оборудования, серьезные повреждения здания и другие тяжелые последствия.

На кафедре «Тепловые электрические станции» БНТУ имеется сложная лабораторная установка. Изначально она состояла из воздушного вентилятора, который подавал воздух на одновенечную турбину, при этом измерялось незначительное число параметров: расход воздуха, число оборотов и по сути установка являлась демонстрационной. За последние десять лет проведена ее реконструкция.

Воздушный вентилятор получил частотный регулируемый электропривод, что позволило плавно набирать обороты от минимальных до максимальных. Затем был установлен генератор постоянного тока с номинальным числом оборотов 1500 об/мин. В дальнейшем появились шкаф генераторного выключателя и шкаф управления и защиты.

Шкаф управления и защит (ШУЗ) предназначен для управления работой турбогенераторной установки (ТГУ) с воздушной турбины.

Шкаф генераторного выключателя (ШГВ) предназначен для включения/отключения генератора ТГУ, и осуществления защитного отключения в нештатных ситуациях ТГУ с генератором синхронного типа.

Шкаф управления и защиты комплектуется принудительной системой вентиляции. Система вентиляции включается, если температура шкафа внутри превышает 35 °С.

В состав шкафа управления и защиты входят:

- блок управления и защиты ТГУ (БУЗ ТГУ);
- светосигнализация;
- управляющие органы и системы автоматике;
- автоматы защиты цепей управления.

Шкафа управления и защиты обеспечивает:

- комплексную защиту турбогенераторной установки;
- выбор режимов управления: автоматический или ручной;
- автоматическое отключение генератора при превышении установленного значения контролируемого параметра;
- световую индикацию наличия сетевого напряжения;
- световую индикацию предаварийных и аварийных ситуаций;
- отображение информации контролируемых параметров;
- управление (включение/отключение) нагрузки в автоматическом и ручном режимах.

Все это позволило в конечном итоге осуществлять выработку электроэнергии с возможной выходной мощностью 7 кВт. В качестве потребителя электроэнергии выступил электрический нагреватель для подогрева воды, которая подается на последующее охлаждение в вентиляторную градирню. По сути дела, установка из демонстрационной превратилась в небольшую электростанцию, на которой в качестве рабочего тела выступает воздух, подаваемый в одновенечную воздушную турбину. Посредством генератора постоянного тока вырабатывается электроэнергия, подаваемая потребителю (в данном случае – электронагреватель). Следует отметить, что установка имеет систему вибродиагностики, с установкой специальных датчиков. Установка оснащена компьютером со специальным программным обеспечением. В процессе эксплуатации появился

вопрос, связанный с таким фактом, когда при отключении возбуждения наблюдается определенный заброс числа оборотов воздушной турбины. Поэтому авторами этой публикации предложено внести изменения в конструкцию установки, путем оснащения специальным устройством.

Принцип работы защитного устройства от превышения числа оборотов. После отключения возбуждения на генератор, имеется заброс числа оборотов на 200 – 300 об/мин, чтобы его исключить, мы планируем сконструировать и изготовить защитное устройство. Оно имеет форму поворотного круга, который в рабочем режиме установлен перпендикулярно потоку, а при отключении возбудителя – перекрывает все сечение подводящего воздуховода перед турбиной. Поток воздуха не поступает в турбину из-за этого нет разгона. Имеется лишь инерционный выбег. А воздух, которому перекрывается ход, сбрасывается в помещение лаборатории в сторону пола, через специальные воздуховоды, также имеющие специальное устройство по системе «открыть» – «закрывать».

Схема реконструируемого лабораторного стенда приведена на рисунке 1.

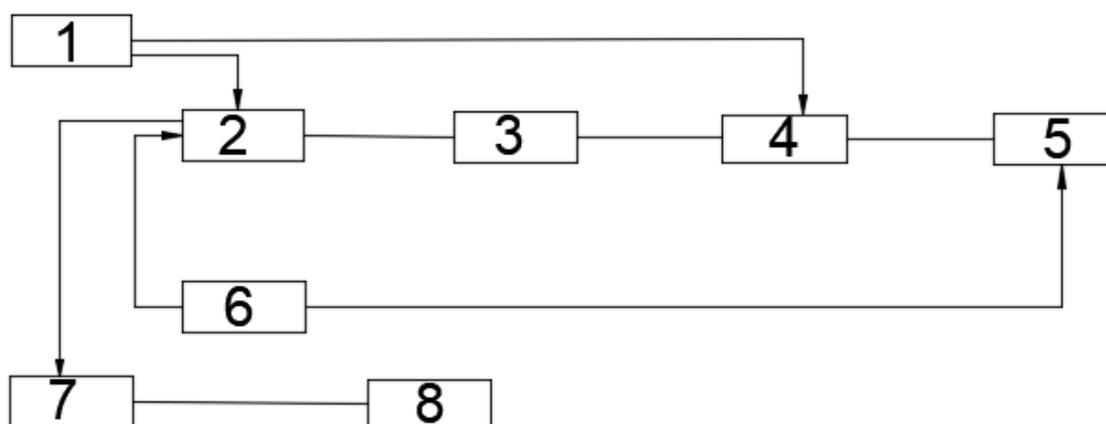


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенда:

1 – шкаф генераторного выключателя; 2 – генератор постоянного тока; 3 – одновенечная воздушная турбина; 4 – защитное устройство от превышения числа оборотов; 5 – вентилятор; 6 – шкаф системы устройства защиты; 7 – подача электроэнергии на водонагреватель; 8 – подача подогретой воды в вентиляторную градирню

В состав лабораторной установки также входят операторная станция, водонагреватель и вентиляторная градирня. Дадим краткую характеристику этим устройствам. Как уже отмечалось ранее система управления турбогенераторной установкой состоит из ШУЗ и автоматизированного рабочего места (АРМ). В ШУЗ необходимо подобрать контроллер с модулями входа и выхода. Контроллерная программа должна производить сбор данных со всех датчиков и осуществлять их первичную обработку, контролировать аварийные сигналы и отключать генератор в случае аварии, а также обеспечивать интерфейс передачи данных на верхний уровень АРМ. Данные функции осуществляет операторная станция посредством контроллеров, среди них:

– противоаварийная защита (ПАЗ) оборудования в случае достижения предельно допустимых значений, в результате чего предотвращается возникновение аварийной ситуации;

– достаточный резерв (не менее 10 %) каналов для подключения нового оборудования в случае производственной необходимости;

– постоянно контролировать параметры во время работы установки; контроллеры верхнего и нижнего уровней должны быть адаптированы к оборудованию турбогенераторной установки.

Операторная станция также должна регистрировать срабатывания устройств ПАЗ; позволять изменять величины вставок во всех блокировочных параметрах турбогенераторной установки (лабораторного стенда); осуществлять архивацию информации (операторная станция включает логическую схему информационного обеспечения). В структуру операторной станции входят: персональная ЭВМ с периферией, контроллеры и модули входа и выхода, датчики расхода и температуры (до и после) воды и воздуха на градирню. Для информации студентам на принципиальной схеме отображаются: расход воды, мощность генератора, напряжение и ток генератора, давление воздуха перед и за турбиной, частота вращения турбины, уровень вибрации на подшипниках турбины и генератора, температура воды на входе в градирню и на выходе из нее. Технологическая сигнализация выдает информацию о значениях защит. Зеленый цвет (фон квадрата) – норма; желтый мигающий – предупреждение о повышенном числовом значении параметра; красный об аварии. В качестве потребителя вырабатываемой генератором электроэнергии служит водонагреватель мощностью 1,5 кВт. Нагреваемая в нем вода подается в градирню SAV - 100 для охлаждения.

Основные характеристики градирни:

– номинальный расход оборотной воды 3 м<sup>3</sup>/ч;

– номинальная тепловая нагрузка 15 Мкал/ч;

– габаритные размеры: высота 2650 мм, глубина 1140 мм, ширина 1300 мм;

– диаметр подводящего патрубка 450 мм;

– диаметр рабочего колеса осевого вентилятора WO – 450 составляет 450 мм;

– электродвигатель SKh 80 L-0,55kW – односкоростной, без редуктора, имеет скорость вращения 1500 об/мин.;

– температура воды на входе 32 °С, на выходе – 27 °С.

Оборотная вода подпитывается из водопровода. Корпус градирни и несущие конструкции вентилятора изготовлены из полипропиленовых профилей, обшивка градирни из полипропиленовых плит и плит ПММА. Диффузор вентилятора изготовлен из стеклопластика, армированного стекловолокном, подводящий патрубок из полипропиленовых труб. Принцип работы градирни заключается в следующем. Вода от технологического оборудования поступает в градирню через подводящий коллектор и распределительную систему подается на 4 форсунки. Охлаждаемая вода равномерно разбрызгивается на листы оросителя градирни и под действием силы тяжести в виде пленок и струй стекает по их гофрированной поверхности. Встречая на своем пути выпукло-вогнутые элементы на скатах гофр и перекатываясь через них, пленка охлаждаемой воды

дополнительно турбулизируется. Многократное повторение этого процесса при продвижении пленки охлаждаемой воды сверху донизу оросителя обеспечивает качественное взаимодействие ее с воздухом и высокий коэффициент тепло-массообмена. После охлаждения вода поступает в приемную емкость и по специальному трубопроводу в аккумулирующий резервуар. Восходящий поток воздуха для охлаждения воды в противоточном режиме обеспечивает осевой вентилятор.

#### **Заключение**

Данная работа выполняется в соответствии с приказом ректора БНТУ, согласно которого 15 % тем дипломных проектов должны решать задачи БНТУ. В дальнейшем проектное решение будет реализовано в металле.