

# СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИНАРНОЙ ВОДО-АММИАЧНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ 50 МВт

Г. ВЕРЕШ\*, И. СЕНТДЪЕРДЫИ\*\*

Поступило: 1 ноября 1978 г.  
Представлено: Проф. д-р. И. Сабо

## Введение

В результате быстрого роста потребления электроэнергии во всем мире, а также создания всех больших объединенных энергосистем, тенденция развития в энергетике направлена на создание турбоагрегатов (паровых турбин и электрических генераторов) всех больших единичных мощностей.

В увеличении единичных мощностей (особенно при стремлениях использовать холодные климатические условия) вызывает трудности то обстоятельство, что при низких температурах водяной пар имеет большой удельный объем и поэтому размеры последних ступеней получаются очень большими. Выполнимые размеры ограничиваются центробежной нагрузкой лопаток, которая зависит от числа оборотов. Поэтому при больших потоках пара и хорошем вакууме необходимо применять несколько цилиндров низкого давления, предельное число которых: шесть-восемь выхлопов, т. е. три-четыре цилиндра низкого давления.

Если потоки пара еще больше и вакуум еще лучше, то вместо турбин с числом оборотов 3000 об/мин. нужно применять турбины с числом оборотов 1500 об/мин. (с четырехполюсным генератором), чтобы избежать двухвальной компоновки.

Оборудование больших габаритов имеет чрезвычайно высокие стоимости: особенно большой вес и соответственно высокую цену имеют турбоагрегаты с числом оборотов 1500 об/мин. Проектировщики часто соглашались с худшим вакуумом или допускают большие выходные потери, чтобы снизить капитальные затраты турбины, однако, при этом растут эксплуатационные расходы установки. Очевидно, что в крупных энергоустановках — особенно в случае, когда температура имеющейся охлаждающей среды низкая — явилось бы благоприятным применять такую рабочую среду в зоне низких температур рабочего процесса, удельный объем которой не растет так быстро с уменьшением температуры насыщения и не так велик при низких температурах насыщения, как удельный объем водяного пара.

\* Институт тепло- и системотехники Будапештского технического университета.

\*\* Институт энергетики.

В зоне очень низких температур — около точки замерзания и ниже ее — водяной пар, конечно, не применим. Для использования низких температурных уровней нужна такая рабочая среда, которая не замерзла бы даже при самых низких температурах, имеющихся в районе ее применения.

В качестве блестящего решения вышеуказанных проблем академик Геллер в начале 60-ых годов предложил создать такой бинарный цикл, в верхней ступени которого рабочим телом является вода, а в нижней один из «холодных паров», применяемых в холодильной технике. В качестве рабочего тела нижней ступени целесообразно применять аммиак.

В бинарном цикле в месте контакта двух рабочих сред требуется теплообменник, тем самым увеличиваются капитальные затраты. Наличие теплообменника приводит к некоторому температурному перепаду, что ухудшает к. п. д. Габариты аммиачной турбины, однако, гораздо меньше габаритов пароводяных турбин низкого давления, ее габариты с уменьшением температуры отвода тепла растут в небольшой степени и в последних ступенях, которые имеют небольшие размеры, нет необходимости допускать большие выходные потери. Поэтому при чрезвычайно больших потоках пара и низких температурах отвода тепла бинарный цикл может быть экономичнее пароводяного цикла. Экономия, полученная в результате отказа от крупных цилиндров низкого давления турбин в пароводяном цикле и отпадения больших выходных потерь, может быть больше, чем стоимость дополнительных элементов бинарной установки.

В ВНР программа перспективного развития данной темы начала осуществляется в 60-ых годах.

За прошедшие годы исследования были направлены, в первую очередь, на теплоотдающие свойства теплообменника, расположенного между двумя средами: водяным паром и аммиаком, самым подходящим для применения в качестве второй среды.

В результате этих исследований было установлено, что целесообразно выбрать разделительную температуру двух циклов около 110 °С. Также было установлено, что несмотря на небольшой перепад температур двух сред, составляющий 5—6 °С, можно создать очень большой,  $30\text{—}40 \times 10^3$  ккал/м<sup>2</sup>. ч тепловой поток, значит, можно создать экономичный, недорогой теплообменник.

### **Условия создания экспериментальной установки в промышленном масштабе**

Проведенные исследования дают возможность или создания предложенной бинарной энергетической установки в промышленных масштабах, однако, для этого еще необходимо проводить дальнейшие разработки и исследования,

связанные, в первую очередь, с до сих пор не исследованными конструктивными узлами, какими являются аммиачная турбина, воздушно-охлаждаемый аммиачный конденсатор, аммиачный насос, и т. д.

Очередной ряд экспериментов, связанных с бинарной системой, намерено проводить с использованием энергоблока мощностью 50 МВт. Запроектированную систему, которая подключается к существующему блоку 50 МВт, можно построить относительно небольшими затратами, т. к. нужно создать только часть «холодного пара», т. е. пароводяной-аммиачный теплообменник, аммиачную турбину и аммиачный питательный насос. Выбранная мощность установки является достаточно большой для того, чтобы полученные при экспериментах результаты и опыт можно было бы экстраполировать для блоков очень больших мощностей.

Эксперименты намечается проводить путем переделки одного из блоков мощностью 50 МВт. ТЭС в городе Орослянь. При экспериментах около 80% полной мощности блока дают части высокого и среднего давления существующей пароводяной турбины и 20% дает аммиачная турбина. Аммиачный пар генерируется в теплообменнике (аммиачном парогенераторе) при помощи водяного пара давлением 1,28 ат, полученного из пароперепускной трубы низкого давления. (Рис. 1)

При перестройке блока основное требование — чтобы надежность работы блока во время экспериментов не уменьшалась, и чтобы в случае останова

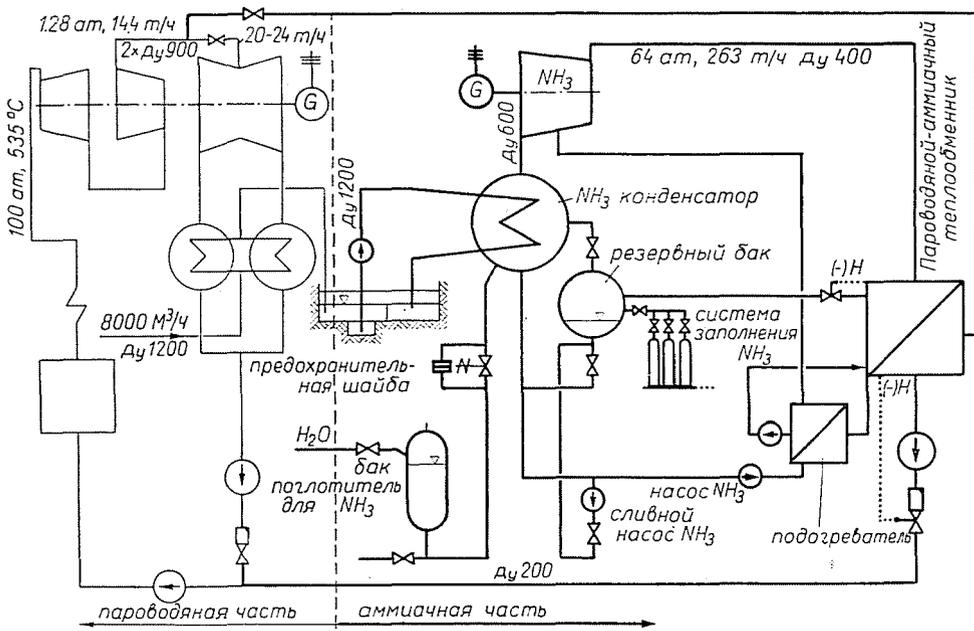


Рис. 1

аммиачной части по любой причине за короткое время можно было бы восстановить исходное положение (т. е. включить часть низкого давления пароводяной турбины). Элементы располагаемой рядом с существующей пароводяной частью аммиачной системы следующие:

### 1. Пароводяной-аммиачный теплообменник

Аммиачный пар генерируется в пароводяном-аммиачном теплообменнике. Теплообменник со стороны водяного пара является конденсатором, а со стороны аммиака парогенератором (испарителем). Теплообменник является одним из критических элементов системы, т. к. для уменьшения термических потерь большое количество тепла должно в нем передаваться от одной среды к другой при малом температурном напоре. Коэффициент теплопередачи теплообменника состоит из коэффициента теплоотдачи водяного пара при конденсации и коэффициента теплоотдачи аммиака при кипении. Из них худшим является коэффициент теплоотдачи конденсирующегося водяного пара, поэтому это нужно, в первую очередь, улучшать.

Суть примененного для этой цели метода (который был испытан нами на экспериментальной установке на кафедре Теплоэнергетики Будапештского Технического Университета) заключается в том, что вертикальные теплоотдающие трубки разделяются на короткие участки с помощью конденсатоотделяющих дисков и, таким образом, предотвращается образование толстой пленки конденсата, ухудшающей теплоотдачу.

Этот метод улучшает не только конденсацию водяного пара, но и теплоотдачу кипящего аммиака, т. к. в суммарном температурном перепаде теплообменника возрастет температурный перепад аммиачной стороны и коэффициент теплоотдачи аммиака при кипении увеличивается — как было установлено на основании проведенных нами измерений — в зависимости от этого перепада в степени 2,3.

Конденсат аммиака подогревается отбираемым из аммиачной турбины паром. Поэтому только небольшая часть передаваемого аммиаку в пароводяном-аммиачном теплообменнике тепла передается при переменных температурах, а большая часть его передается при постоянной температуре.

В испарительных трубках (восходящих) удельный вес смеси аммиака и аммиачных паров меньше, чем удельный вес жидкого аммиака в опускных трубках, поэтому в теплообменнике создается естественная циркуляция и циркуляционный насос не нужен.

По строительным и эксплуатационным причинам запланировано установить два параллельно работающих теплообменника.

## 2. Аммиачная турбина

В аммиачной турбине работу совершает сухой насыщенный аммиачный пар, имеющий температуру около 100 °С. Процесс расширения полностью происходит под линией насыщения, поэтому в конце процесса влагосодержание аммиачного пара — в зависимости от температуры конденсатора — возрастает до 14—18%. Плотность аммиачного пара на входе в турбину соответствует плотности водяного пара, имеющего давление около 100 ат, его скорость звука близка к скорости звука водяного пара. Принципы конструирования аммиачной турбины поэтому не многим отличаются от принципов конструирования пароводяной турбины высокого давления.

Особое внимание следует обратить, однако, на уплотнение вала турбины, так как вредные для здоровья аммиачные пары нельзя выпускать в атмосферу. Одним из возможных решений этой проблемы является применение сальника с гидрозатвором.

Мощность аммиачной турбины в зависимости от давления в конденсаторе будет находиться в пределах 8—10 МВт.

## 3. Аммиачный конденсатор

Аммиачный пар имеет большую плотность, поэтому в случае применения непосредственной воздушной конденсации паропроводы получаются небольших диаметров даже при низких температурах. В то же время, в результате применения непосредственной воздушной конденсации в районах с холодным климатом представляется возможность для удлинения процесса расширения до нижней температурной границы, которая обеспечивается наружным воздухом, и не нужно опасаться при этом замерзания рабочей среды. Для экспериментальной аммиачной турбины, которая будет построена на ТЭС в г. Орослань, для снижения капитальных затрат, однако, предполагаем построить не воздушный конденсатор, а конденсатор, охлаждаемый водой.

## 4. Аммиачный конденсатный и питательный насосы

Конденсат аммиака конденсатными насосами подается к питательному насосу. При создании аммиачного насоса может вызвать трудности конструирования уплотнения. Возможным решением является применение сальника со скользящими кольцами и гидрозатвором.

К регулированию питательного насоса предъявляются особые требования, так как величина изменения давления конденсата в зависимости от температуры охлаждающей воды может достигнуть и — 8 ат, а это составляет около 15% от напора насоса. В регулировании насоса важным обстоятель-

ством является также и то, что после пуска установки сильно изменится объем перекачиваемой среды и для создания естественной циркуляции нужно изменять уровень жидкости в опускной трубе теплообменника.

### **Задачи исследований, проводимых на экспериментальной установке**

Такого размера экспериментальная установка дает возможность для комплексного исследования бинарной системы. С помощью соответствующих измерительных приборов можно проводить исследования четырех основных узлов системы, то есть теплообменника, турбины, конденсатора и питательного насоса при различных режимах работы по отдельности и совместно.

Планируется рассматривать следующие вопросы:

#### **а) Теплообменник :**

1. Исследование изменения коэффициента теплопередачи в зависимости от кратности циркуляции и времени.
2. Изучение неустойчивости потока при различных кратностях циркуляции.
3. Измерение влажности пара на выходе.

#### **б) Турбина :**

1. Исследование к. п. д.
2. Изучение уплотнений.
3. Исследование влияния переменных нагрузок.

#### **в) Конденсатор**

1. Исследование теплоотдачи (при разных режимах работы).

#### **г) Насосы :**

1. Изучение условий эксплуатации.
2. Изучение уплотнений.

### **Дальнейшие дополнительные исследования**

Теплообменник — один из главных конструктивных элементов экспериментальной установки — проектируется на основании ранее проведенных на кафедре Теплоэнергетики Будапештского Политехнического Университета экспериментов. Запроектированный теплообменник является одним, разработанным по ходу экспериментов вариантом из возможных решений, однако

было бы желательным исследовать несколько осуществимых вариантов. То же самое можно сказать и относительно конденсатора. Дело в том, что конденсация запроектированного конденсатора определялась возможностью очистки его водяной стороны, а в то же время исследование процесса конденсации со стороны аммиака потребовала бы другого исполнения (конденсация внутри труб). Эти обстоятельства требуют, чтобы к бинарной установке еще несколько дополнительных опытных участков запроектировать. Эти дополнительные опытные узлы используют возможности, которые дает бинарная установка, а именно: аммиак высокого давления, аммиачный пар, водяной пар и т. д. Этими установками запланировано произвести следующие исследования:

а) Водо-аммиачный теплообменник с горизонтальными и наклонными теплоотдающими трубками.

Конструктивное исполнение теплообменника с горизонтальными теплоотдающими трубками может быть более благоприятным, чем с вертикальными трубками. Недостатком такого исполнения является то, что образующиеся пары аммиака отделяются от жидкости и теплоотдача соприкасающегося с паром участка трубы ухудшается. Эксперименты должны быть направлены на то, чтобы с их помощью разработать методы для предотвращения отделения паров от жидкости.

#### б) *Конденсация аммиака:*

То преимущество бинарного цикла, что при низких атмосферных температурах представляется возможность для понижения нижней температурной границы процесса расширения, можно реализовать только с помощью воздушного конденсатора.

Конструктивное исполнение воздушно-конденсационной установки требует, чтобы конденсации происходила внутри труб большой длины. При определенных условиях этот вид конденсации является чрезвычайно благоприятным, т. к. у входа труб образуются потоки пара с большой скоростью, пленка конденсата на внутренней поверхности труб принимает вид кольца и эта пленка конденсата из-за большой скорости пара после совершения короткого пути становится турбулентной и поэтому коэффициент теплоотдачи конденсации будет очень хорошим. На опытном конденсационном участке собираемся исследовать эту турбулентную кольцевую конденсацию.

Отдельно будет исследован воздушный конденсатор. Для этого используется вентиляторная охладительная колонна, (охладительный элемент типа Форго со вставными стальными трубками).

Тут исследования, кроме теплоотдачи, будут распространены и на плотность, коррозию, эксплуатационные свойства и т. д.

## Резюме

В ВНР путем сотрудничества Кафедры Теплоэнергетики Будапештского Политехнического Института и ряда промышленных предприятий уже несколько лет идут эксперименты и исследования для разработки такого двухсреднего (водяной пар — аммиачный пар) теплоэнергетического блока, у которого достигается очень большая единичная мощность при относительно небольших размерах машины, а также возникает возможность — в случае работы блока с ВФУ — для использования тех преимуществ, которые имеются в местах с холодным климатом.

За прошедшие годы были проведены анализ нового цикла, анализ работы главных элементов системы и по ходу полупромышленных экспериментов были сняты теплотехнические характеристики трансформатора тепла, соединяющего отдельные циклы.

Следующим этапом создания промышленной системы является проведение программы экспериментов промышленных масштабов, распространяющихся на всю систему. Авторы в данной работе дают информации о программе исследований запроектированного экспериментального блока мощностью 50 Мвт.

## Литература

1. HELLER, L.: New power station system for unit capacities in the 1000 MW order. Acta Techn. Hung. 50. 165.
2. SZENTGYÖRGYI, I.—VARGA, J.—VERES, G.: Results of semi-pilot-measurings . . . Acta Techn. Hung. 82. 1976.

Гергей Вереш  
Будапештский  
Технический Университет  
Иштван Сентдьерди  
Энергетический Институт  
Будапешт

}  
H-1521  
Будапешт