

УДК 621.165

## РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СЕПАРАЦИИ И ПЕРЕГРЕВА ПАРА ДЛЯ ТУРБОУСТАНОВКИ К- 1000-60/3000

Огиевич Д.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

Одним из основных условий устойчивой работы системы промежуточной сепарации и перегрева пара является обеспечение равномерной тепловой нагрузки на пароперегреватели четырех (двух) СПП как по греющему, так и по нагреваемому пару и связанный с этим отвод конденсата греющего пара.

Опыт эксплуатации и специальные исследования системы промежуточной сепарации и перегрева пара первого поколения турбоустановки К-1000-60/3000 выявили ряд факторов, снижающих эффективность и надежность системы и ее оборудования:

- сверхнормативная разверка по расходу и давлению греющего пара между СПП, что привело к разверке по температуре греющего пара;
- наличие уровня конденсата греющего пара, его переохлаждение и автоколебания уровня в трубках отвода КГП и в нижней водяной камере;
- эрозионный износ некоторых элементов конструкции ПНД-5;
- наличие уровней конденсата в тракте обуславливает неравномерный обогрев трубок кассет, противоток пара в трубках кассеты, неравномерность условий слива конденсата греющего пара из кассет в наружную камеру: из одних кассет происходит свободный слив, из других — слив под уровень. Это приводит к различным уровням конденсата в отводящих трубках. Кроме того, наличие четырех уровней конденсата и его переохлаждение способствуют возникновению автоколебаний;
- наличие уровня воды в кассете и малое расстояние между трубной доской и уровнем воды в нижней камере (сборной) при сбросе нагрузки приводят к набуханию уровня и попаданию холодной воды на трубную доску, что вызывает нарушение плотности соединения трубки с доской;
- кавитационный срыв насосов слива сепарата при колебаниях нагрузки  $(8-10)\% N_{ном}$ .

Расчетный анализ системы промежуточной сепарации и перегрева пара для второго поколения АЭС показал, что принятые компоновочные решения могут привести к существенным отклонениям от нормативных значений по разверке давлений и расхода греющего и нагреваемого пара отдельных узлов СПП и трассировок трубопроводов.

Так, согласно предварительным расчетам по проекту АЭС второго поколения для турбоустановки К-1000-60/3000 максимальная и минимальная разверки давления греющего пара СПП одной АЭС составляют 0.143 и 0.014 МПа, другой АЭС — до 0.013 МПа. Допускаемое значение разверки — 0.005 МПа. Это ведет к неравномерной подаче греющего пара к пароперегревателю и тепловой нагрузке, вибрации трубок теплообмена, переохлаждению конденсата греющего пара в отводящих трубках. В результате вся система промежуточной сепарации и перегрева пара работает неустойчиво (с автоколебаниями), не обеспечивает стабильный перегрев нагреваемого пара, возникают термопульсации в трубках отвода КГП. Это снижает надежность пароперегревателя и экономичность турбоустановки. Для исключения разверки между СПП и снижения гидравлического сопротивления трубопроводов греющего пара для турбоустановки К-1000-60/3000 была разработана усовершенствованная симметричная трассировка трубопроводов обвязки СПП, установлен их диаметр. Для выравнивания давления пара при его подаче в СПП определены проходные сечения уравнивающих трубопроводов, обеспечивающие разверку по давлению греющего пара между СПП не более 0.003 МПа, что меньше нормативного значения. Опыт эксплуатации первой АЭС подтвердил правильность принятых решений.

Для другой АЭС выравнивание давления, греющего пара при его подаче в СПП осуществляли подбором диаметра и длины трубопроводов, что позволило иметь разверку между аппаратами также меньше нормативного значения (0.0035 МПа).

Одним из способов исключения уровня в трубках кассеты является равномерная раздача пара по кассетам из камеры подвода пара путем его дросселирования (с помощью шайб, перфорированного листа и др.).

Исключение уровня конденсата греющего пара в нижней сборной камере кассеты может быть обеспечено уменьшением гидравлического сопротивления входа в отводящую трубку (например, установкой усеченного конуса, изменением формы чашки в зоне отводящего патрубка и др.). При наличии уровня конденсата для исключения попадания влаги на трубную доску при сбросах нагрузки расстояние между уровнем конденсата и трубной доской должно быть  $H \geq 6H_0$ , где  $H_0$  — номинальный уровень конденсата (рисунок 1, а).

Существенное влияние на устойчивый отвод конденсата из нижней сборной камеры кассеты в отводящую камеру оказывает трассировка трубопровода.

В первых проектах СПП трубопровод от чашки кассеты выполнен вертикально вниз и далее под углом  $90^\circ$  подведен к трубной доске наружной водяной камеры (ВК), что затрудняет отвод пара при колебаниях нагрузки.

В качестве промежуточного и несложного для реализации решения при стесненной компоновке СПП предложено выполнить трубопровод от чашки кассеты вертикально вниз и далее под углом  $95^\circ$  —  $100^\circ$  подвести к трубной доске наружной водяной камеры. Это частично снижает колебания и обеспечивает отвод пара, образовавшегося при вскипании, при работе в регулировочном диапазоне и резких изменениях нагрузки.

Наличие уровня в наружной водяной камере приводит к различным условиям работы кассет: одни кассеты (с короткими трубками подачи пара и слива конденсата) имеют свободный слив, а другие (с более длинными трубками подачи пара и слива конденсата) отводят конденсат под уровень. Некоторая часть кассет работает в пульсирующем режиме: слив то свободный, то под уровень.

Для исключения уровня конденсата в наружной водяной камере предложено увеличить площадь проходного сечения отводящего отверстия, скруглить кромки, выполнить отводящий патрубок в виде конуса или цилиндра с переходником (рисунок 1, б). Это позволит снизить или исключить уровень конденсата в камере, обеспечить равные условия по сливу конденсата из кассет, уменьшить захват пара за счет эжекторного эффекта.

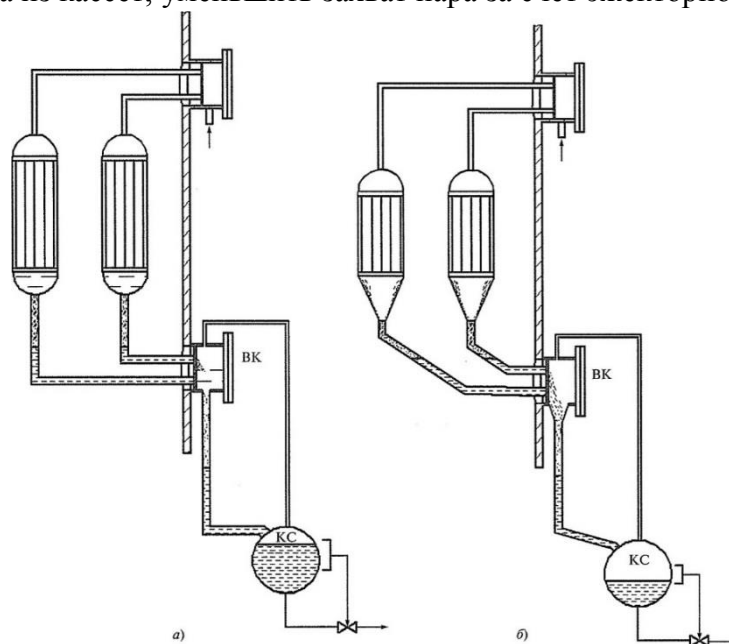


Рисунок 1. Схема отвода конденсата греющего пара СПП

Как указывалось, ранее, отвод пара на ПНД-4 совмещен с отводом влаги в пленочном сепараторе, что существенно увеличивает его влажность. Это может повысить эрозионный износ элементов оборудования. Для снижения влажности пара, отбираемого на ПНД-4, предложена такая конструкция узла отвода, при которой отборы влаги и пара разделяются (рисунок 2).

Известно, что часть влаги движется по нижней образующей ресивера, причем высота слоя влаги составляет 50—100 мм. Поэтому патрубок отбора пара на ПНД-4 выдвинут в паровое пространство, а влага отводится в сепаратосборник из стакана (см. рисунок 2, б). Перед патрубком отвода влаги в стакане установлен гидрозатвор, что исключит захват пара и гидроудары в трубке при малых нагрузках. Другим решением может быть эксцентриситетное расположение патрубка отвода пара и стакана с размещением патрубка отвода влаги в днище стакана, который снабжен антиворонковым устройством (например, крестовиной) (рисунок 2, а, б).

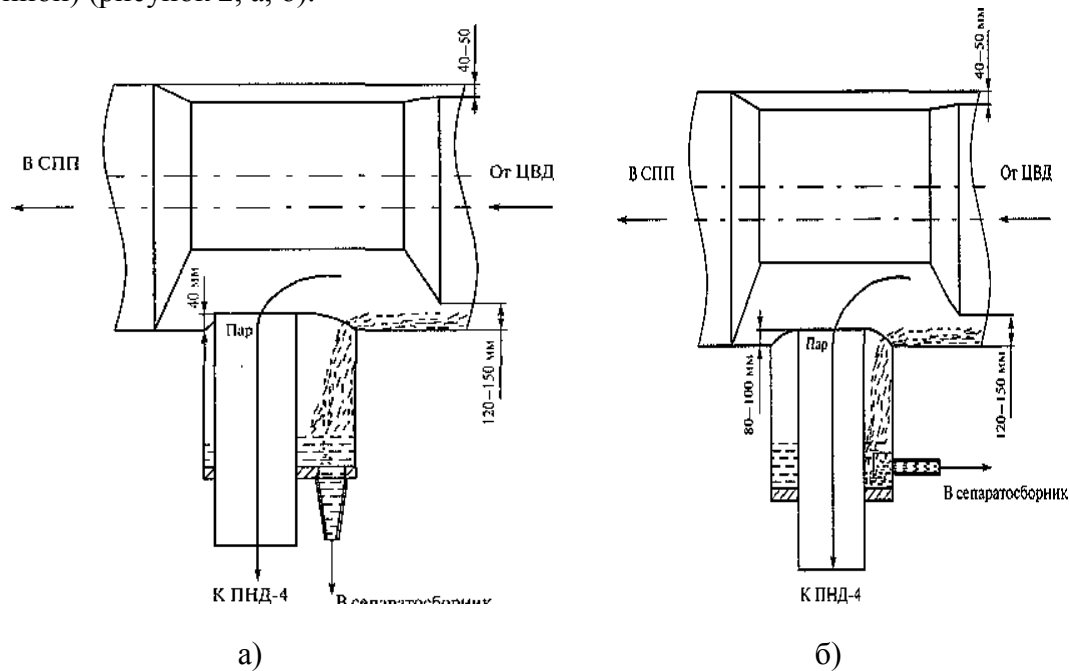


Рисунок 2. Узел установки плёночного сепаратора отвода пара к ПНД-4 и влаги в сепаратосборник

Предложено также патрубок подвода влажного пара к ПНД-4 и СПП снабдить внутренним патрубком с коробом отвода уловленной пристенной влаги к патрубку отвода конденсата греющего пара из ПНД-4 и СПП в сепаратосборник. Это позволит исключить захват влаги паром, движущимся с высокой скоростью на поверхность теплообмена и сепарационные устройства. Данное решение проверено в НПО ЦКТИ на ПНД-5 турбоустановки К- 1000/3000-60-1.

Наличие сепаратосборника, разделенного на паровое и водяное пространства, обеспечивает свободный слив сепарата из СПП в сепаратосборник при статических и динамических режимах, исключает вынос среды в СПП при сбросах нагрузки.

Кроме того, наличие перегородки в сепаратосборнике позволяет:

- снизить скорость изменения давления в водяной части сепаратосборника в динамических режимах и тем самым исключить вскипание воды в трубопроводе отвода воды из сепаратосборника к насосу слива сепарата и их кавитационный срыв; исключить набухание уровня воды в сепаратосборнике и ее вынос обратным током в СПП и ПНД-4, что исключит срабатывание защит ПНД-4 и сепаратосборника по повышению уровня пароводяной смеси в них.

Опыт проектирования и испытаний показал, что при рациональной трассировке и диаметре трубопровода отвода сепарата от сепаратосборника к насосу слива сепарата

обеспечивается устойчивая работа насосов откачки сепарата в статических и динамических режимах.

При нарушении условий оптимального проектирования отводящего трубопровода предложены мероприятия, расширяющие диапазон устойчивой работы насосов (так, например, отвод пара вскипания из трубопровода в точке наиболее вероятного кипения, захолаживание, открытие рециркуляции при сбросе нагрузки и др.).

Для устойчивого отвода конденсата греющего пара из КС в КГТН предусмотрено захолаживание. Это несколько снижает тепловую экономичность энергоблока, но обеспечивает устойчивую откачку конденсата.

Таким образом, предложено и внедрено оптимальное схемно-компоновочное решение по установке сепараторов-пароперегревателей, позволяющее минимизировать гидравлическую разверку между ними при подаче в них греющего пара и обеспечить устойчивую работу аппаратов. Предложена методика определения уровня в отдельных узлах системы промежуточной сепарации и перегрева пара при расчете гидравлических сопротивлений трубопроводов отвода конденсата, греющего пара от СПП. Разработана усовершенствованная конструкция сепараторосборника и предложены оптимальные компоновочные решения системы трубопроводов, обеспечивающих устойчивую работу насосов откачки сепарата.

#### Литература

1. Беляков И.И., Бреус В.И., Постников А.Ю. Гидравлическая устойчивость конденсирующихся потоков параллельных змеевиковых элементов модели паропреобразователя // Теплоэнергетика. 2005. №3. С. 34-39.
2. Перспективные разработки по совершенствованию и реконструкции оборудования и систем турбоустановок АЭС / Е.В. Федер, Н.А. Шубин, Г.В. Григорьев и др. // Тр. ЦКТИ. 1997. Т.2. №235. С. 29-40.
3. Сухоруков Ю.Г., Ермолов В.Ф., Трифанов Н.Н. Методика расчёта набухания уровня воды и защитных средств, исключаяющих её попадание в проточную часть турбины с обратным потоком пара из смешивающих подогревателей // Теплоэнергетика. 2005. №3. С.34-39.
4. Трифанов Н.Н. Разработка технических решений по обеспечению устойчивой работы системы промежуточной сепарации и перегрева пара для турбоустановки К-1000-60/3000 / Коваленко Е.В., Николаенкова Е.К., Тренькин В.Б. // Теплоэнергетика. 2012. №9. С.17-21.