

УДК 621.165

Е. Б. ГРИГОРЬЕВА, инженер-конструктор 3 кат. ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия;
Н. Н. ТРИФОНОВ, канд. техн. наук, доц.; зав. лаб. ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия;
С. Б. ЕСИН, инженер-конструктор 1 кат. ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия;
Ф. А. СВЯТКИН, инженер-конструктор 1 кат. ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия;
Е. К. НИКОЛАЕНКОВА, инженер 2 кат. ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия;
Е. А. СУХОРУКОВА, инженер-конструктор 1 кат. ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия;
Ю. Г. СУХОРУКОВ, канд. техн. наук; зам. ген. директора ОАО «НПО ЦКТИ»,
Санкт-Петербург, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ТУРБОУСТАНОВКИ ПРИ РАБОТЕ НА ПОНИЖЕННОЙ НАГРУЗКЕ ЭНЕРГООБЛОКА 300 МВт С БЕЗДЕАЭРАТОРНОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМОЙ

В статье предложены схемные решения по обеспечению устойчивой работы системы регенерации с бездеаэрационной тепловой схемой при расширении диапазона регулирования нагрузки энергоблока 300 МВт для действующих и проектируемых энергоблоков. Рассмотрены особенности применения схемы с установкой преобразователя частоты и с корректировкой уставки регулирующего клапана по давлению. Разработаны схемы регулирования давления основного конденсата перед питательным насосом. В статье представлены результаты испытаний бездеаэрационной тепловой схемы с корректировкой уставки по давлению регулирующего клапана турбины К-300-240 ХТГЗ, подтверждающие надежность работы системы регенерации при нагрузке 300–150 МВт.

Ключевые слова: бездеаэрационная тепловая схема, подогреватели высокого давления, слив конденсата греющего пара подогревателей высокого давления, бескавитационная работа питательных насосов.

Введение

В настоящее время неравномерность суточного и недельного графиков электрической нагрузки компенсируется существующими конденсационными станциями (КЭС). Расширение диапазона регулирования КЭС позволяет получить дополнительную прибыль станции.

Одним из путей расширения диапазона регулирования – является совершенствование системы регенерации турбоустановки действующих и проектируемых энергоблоков.

Анализ основных достижений и литературы

В отечественной энергетике наиболее распространенной является тепловая схема регенерации с традиционным деаэратором, работающим на постоянном давлении. Однако с середины 80-х годов начали внедрять турбоустановки с бездеаэрационной тепловой схемой (БТС), что позволяет отказаться от деаэратора, 3-х бустерных насосов, ~ 50 единиц арматуры и тем самым повысить надежность и экономичности системы регенерации [1].

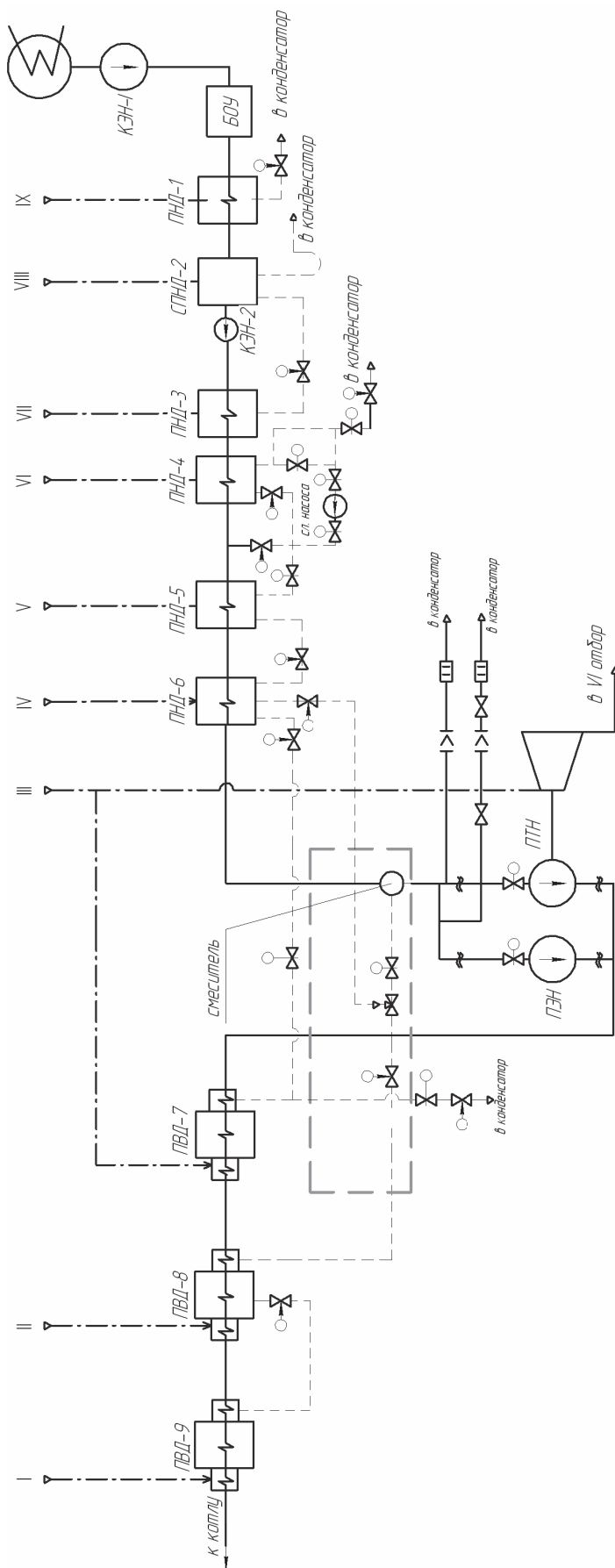


Рис. 1 – Типовая схема слива КТП из ПВД-6:

ПВД – подогреватель высокого давления; ПНД – подогреватель низкого давления; СПНД – смешивающий подогреватель низкого давления; КЭН – конденсатный электронасос; БОУ – блочная обессоливающая установка; ПЭН – питательный электронасос; ПТН – питательный турбонасос

На сегодняшний день на 32 энергоблоках тепловых электростанций мощностью 250–800 МВт в течение 30 лет успешно внедрены и эксплуатируются несколько вариантов БТС. Переход на БТС требует проведения конструктивных решений по оборудованию и его компоновке.

На рис. 1 представлена бездеаэрационная тепловая схема энергоблока 300 МВт с турбиной ХТГЗ. Для приема конденсата греющего пара (далее – КГП) подогревателей высокого давления (далее – ПВД) в схеме установлен смеситель, который обеспечивает нагрев питательной воды КГП ПВД-8, что повышает тепловую эффективность.

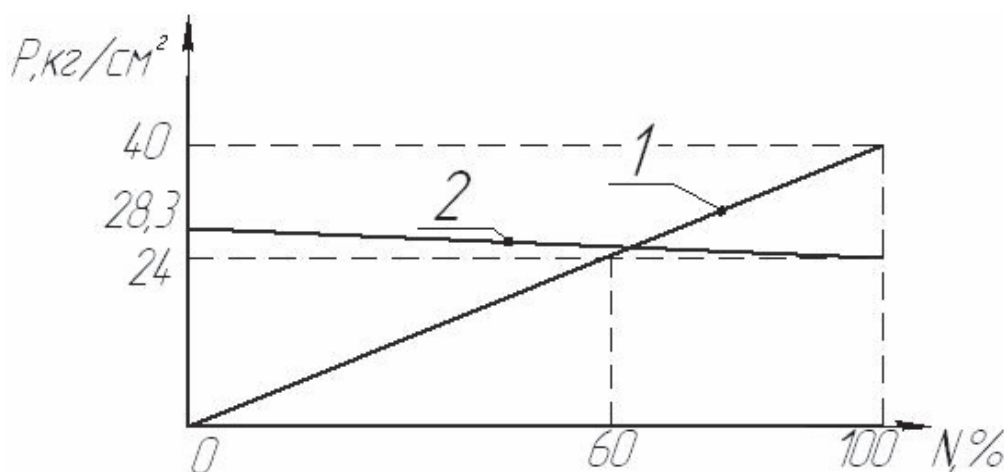


Рис. 2 – Изменение давления в зависимости от нагрузки энергоблока: 1 – изменение давления «холодного» промпрегрева; 2 – изменение давления КЭН-Ист.

При снижении нагрузки энергоблока меньше 60 % $N_{ном}$, давление в отборе турбоустановки «холодного» промпрегрева, от которого подается пар на ПВД-8, становится недостаточным для обеспечения слива КГП ПВД в смеситель (рис. 2). Вследствие этого на частичных нагрузках оператору необходимо переключить слив КГП из смесителя на подогреватель с меньшим давлением. Это приводит к усложнению схемы отвода КГП из ПВД и снижению экономичности. Также возрастает вероятность ошибочных действий персонала, которые могут привести к останову блока.

Для сохранения экономичности и повышения надежности энергоблока ОАО «НПО ЦКТИ» рассмотрел различные варианты схем регулирования, снижающие давление на всасе питательных насосов, что позволит на всех режимах работы энергоблока обеспечить слив КГП ПВД в смеситель.

Были рассмотрены следующие схемы:

- Схема с установкой преобразователей частоты на КЭН-И ст.
- Схема с корректировкой уставки регулирующего клапана (РК) по давлению на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Ист.

Схема с установкой преобразователя частоты

При снижении нагрузки преобразователь частоты, установленный на КЭН-Ист., уменьшает частоту его вращения и, тем самым, уменьшает давление основного конденсата на всасе питательного насоса (далее – ПН). Данная схема сохраняет КПД КЭН-Ист. и является самой экономичной. Однако применение преобразователя частоты на КЭН-Ист. значительно удорожает данное решение. Целесообразно использовать данное решение при проектировании новых энергоблоков.

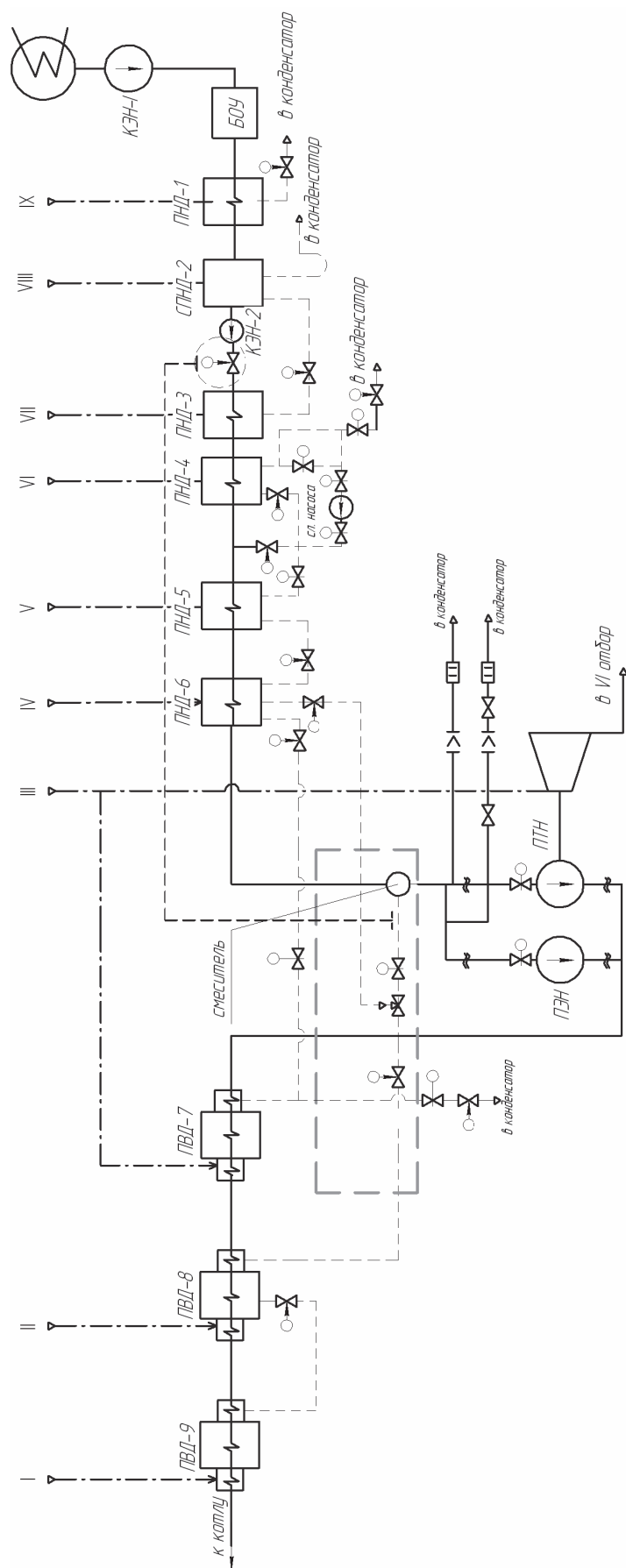


Рис. 3 – Схема с установкой РК на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Пст.:
обозначения см. на рис. 1

Схема с корректировкой уставки РК на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Ист (рис. 3)

В традиционной схеме поддерживается постоянная уставка по давлению на всасе ПН, обеспечивающая бескавитационную работу ПН. При расширенном диапазоне регулирования нагрузки (30–60 % $N_{\text{ном}}$) необходимо установить РК на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Ист. и выбрать величину уставки давления на всасе ПН для обеспечения отвода КГП в смеситель. При этом целесообразно использовать РК с линейной характеристикой. Данная схема обеспечивает простоту, надежность и безопасность системы регенерации и является малозатратной при её реализации.

Рассмотрены следующие схемы регулирования давления на всасе ПН:

- Скользящая величина уставки.
- Трехступенчатое изменение давления (при разгрузке энергоблока ниже 60 % $N_{\text{ном}}$).
- Двухступенчатое изменение давления (при разгрузке энергоблока до ≈ 60 % $N_{\text{ном}}$).

Анализ схем регулирования показал, что двухступенчатая схема измерения давления является наиболее экономичной и надежной в эксплуатации.

Цель исследования

Проверка работоспособности и надежности схемы двухступенчатого изменения давления на входе в ПН.

Материалы исследования

ОАО «НПО ЦКТИ» на одной из ТЭЦ с бездеаэрационной тепловой схемой провел испытания схемы слива КГП в смеситель при снижении давления на входе в питательный насос. Снижение давления производилось путем поэтапного прикрытия регулирующего клапана, установленного на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Ист.

Система регенерации исследуемого энергоблока представлена на рис. 3. Особенностью схемы является установка РК на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Ист. и отвод КГП из ПВД-8 в смеситель на всем диапазоне изменения нагрузки.

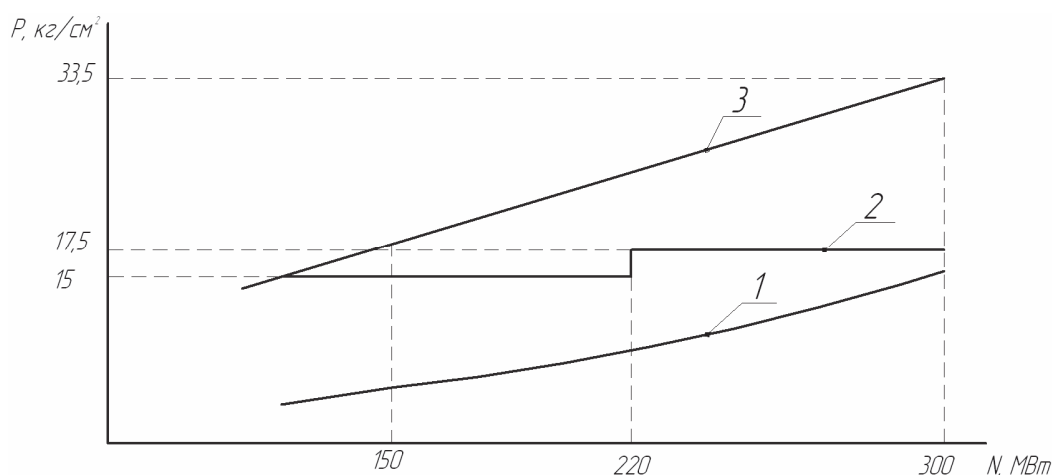


Рис. 4 – Схема регулирования давления на всасе ПН в зависимости от нагрузки:
1 – допускаемое давление на всасе ПН; 2 – двухступенчатая уставка по давлению РК КЭН-Ист; 3 – давление КГП ПВД-8

Во время испытаний определяли необходимое давление на входе в ПТН для отвода КГП ПВД-8 в смеситель на пониженной нагрузке. Ступенчатое изменение давления на входе в ПН приняли на нагрузке ≈ 220 МВт. ($\sim 60\% N_{\text{ном}}$).

На рис. 4. представлен график изменения давления на всасе ПТН с его двухступенчатым регулированием.

Из графика видно, что принятое двухступенчатое изменение давления на входе ПН обеспечивает слив КГП ПВД-8 в смеситель на нагрузке энергоблока от 100–50 % $N_{\text{ном}}$ и бескавитационную работу ПТН.

Результаты исследования

- Рассмотрены различные варианты регулирования давления на всасе питательных насосов при изменении нагрузки энергоблока от 50 ч 100 % $N_{\text{ном}}$.

- Расчетным и опытным путем подтверждена бескавитационная работа ПТН в диапазоне нагрузки 50 ч 100 % $N_{\text{ном}}$ при регулировании давления на всасе насосов, путем изменения величины уставки РК на трубопроводе основного конденсата.

- Для обеспечения устойчивой работы котла при отключении ПТН и переходе на ПЭН предложена скользящая величина уставки по заполнению гидромурфты.

Выводы

Предложенная схема с двухступенчатым изменением давления РК на трубопроводе основного конденсата за КЭН-Пст. обеспечивает устойчивый слив КГП ПВД в смеситель в диапазоне нагрузки 50 ч 100 % $N_{\text{ном}}$. Рекомендуется внедрять данную схему на действующих энергоблоках с БТС для повышения надежности и экономичности системы регенерации при работе в регулировочном диапазоне нагрузки.

Список литературы: 1. Ефимочкин, Г. И. Система регенерации паротурбинных установок со смешивающими ПНД [Текст] / Г. И. Ефимочкин // Конденсатор и система регенерации паровых турбин. Сб. науч. трудов. ВТИ. – М., 1985. – С. 57–69. 2. Ефимочкин, Г. И. Исследование бездеаэрационной тепловой схемы на турбине К-300-240 ЛМЗ [Текст] / Г. И. Ефимочкин // Теплоэнергетика. – 1984. – № 6. – С. 41–45. 3. Трифонов, Н. Н. Бездеаэрационные тепловые схемы: выбор решений [Текст] / Н.Н. Трифонов, Ю. Г. Сухоруков, В. Ф. Ермолов, Е. В. Коваленко // Энергетика и промышленность России. – 2008. – № 19. – С. 17.

Bibliography (transliterated): 1. Efimochkin, G. I. "Sistema regeneracii paroturbinnnyh ustanovok so smeshivajushhimi PND." *Kondensator i sistema regeneracii parovyh turbin*. Moscow:VTI, 1985. 57–69. Print. 2. Efimochkin, G. I. "Issledovanie bezdeajeratornoj teplovoj shemy na turbine K-300-240 LMZ." *Teplojenergetika* 6 (1984): 41–45. Print. 3. Trifonov, N. N. et al. "Bezdeajeratornye teplovyje shemy: vybor reshenij." *Jenergetika i promyshlennost' Rossii* 19 (2008): 17. Print.

Поступила (received) 19.02.14