

УДК 621.165

**НАСОС РЕЦИРКУЛЯЦИИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ С ГИДРОТУРБИНЫМ ПРИВОДОМ**

Т.Р. Шумаров

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

T. Shumarov

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются конструкции циркуляционных насосов разработки ОАО «НПО ЦКТИ» и фирмы Hayward Tyler. Также проводится сравнительный анализ характеристик и конструкции насосов на примере их эксплуатации в составе оборудования котлоагрегатов сверхкритического давления.

**Abstract:** this article discusses the designs of circulation pumps developed by JSC «SPA ЦКТИ» and Hayward Tyler. A comparative analysis of the characteristics and design of pumps is also carried out on the example of their operation as part of the equipment of supercritical pressure cooling units.

**Ключевые слова:** насос рециркуляции, герметичный насос, сверхкритические параметры, гидротурбонасос, электронасос, тепловые электрические станции.

**Keywords:** recirculation pump, power plant, electrically driven pump, hydro-turbine driven pump, glandless pump, supercritical parameters.

**Введение**

В настоящее время в котельных агрегатах сверхкритического давления в системе рециркуляции рабочей среды применяют герметичные электронасосы. Отсутствие отечественных электронасосов на указанные параметры вынудило применять на котлоагрегатах ТГМП - 344 насосы рециркуляции рабочей среды иностранных фирм KSB и Hayward Tyler.

**Основная часть**

Особенностью конструкции иностранных насосов является отсутствие уплотнений между насосом и приводным электродвигателем, их размещение в едином корпусе с общим валом и подшипниками насоса и приводного электродвигателя. Для компенсации разницы между температурой рабочей среды (около 400°C) и максимальной температурой электродвигателя (80°C) в конструкции предусмотрен термобарьер и внешний теплообменник для отвода тепла из области электродвигателя [3].

Основными проблемами проектирования и эксплуатации таких насосных агрегатов являются:

- 1) обеспечение надежности и герметичности корпуса насосного агрегата, работающего в условиях с большой разностью температур в области электродвигателя и насоса;

2) создание электропривода с «мокрым» статором, работающим при большом внешнем давлении на обмотке (около 40 кПа).

Так же к недостаткам можно отнести тот факт, что при относительно небольшой мощности (около 500 кВт) насосный агрегат имеет большие габариты и вес (размеры около 4х1х1 м, вес агрегата около 16 т); «мокрый» статор обуславливает низкий КПД агрегата (КПД с учетом затрат на охлаждение не более 59%).

Циркуляционный насос фирмы Hayward Tyler представляет из себя агрегат, состоящий из двух основных узлов – насоса и электродвигателя (рисунок 1). Эти узлы расположены на одном валу, что обуславливает некоторые особенности конструкции:

1. Заполнение корпуса двигателя водой под давление выше давления перекачиваемой среды (40 кПа).
2. Наличие у электродвигателя собственного теплообменника.
3. Наличие теплобарьера из-за большой разницы между температурой перекачиваемой среды и максимальной допустимой температурой электродвигателя.
4. Наличие в корпусе электродвигателя рабочего колеса для прокачки охлаждающей воды.
5. Большие геометрические размеры и большой вес.

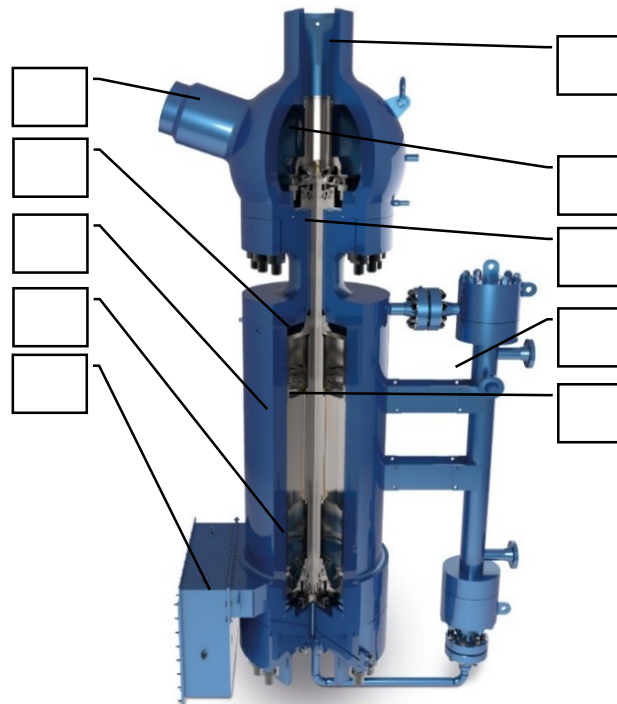


Рисунок 1 - Циркуляционный насос фирмы Hayward Tyler:

- 1 - место рабочего колеса; 2 - входной патрубок; 3 - выходной патрубок; 4 - теплобарьер; 5 - насос и радиальный подшипник; 6 – теплообменник; 7 – статор; 8 – ротор; 9 – упорно-радиальный подшипник; 10 - электрическая коробка

Опыт эксплуатации показал невысокую эксплуатационную надежность герметичных электронасосов и способствовал разработке и поиску новых инженерных решений в создании циркуляционных насосов для котлоагрегатов.

Анализ тепловой схемы энергоблока сверхкритического давления показывает перспективу использования циркуляционных насосов с гидротурбинным приводом, как с точки зрения создания насосов рециркуляции рабочей среды, так и обеспечения их надежной работы во всем диапазоне нагрузок котла.

РГТН представляет собой герметичный агрегат (рисунок 2), корпус которого выполнен из теплостойкой стали с одним фланцевым разъемом высокого давления. Корпус имеет патрубки подвода и отвода перекачиваемой среды и питательной воды к гидротурбине, крепящиеся посредством сварки к соответствующим трубопроводам. Ротор агрегата имеет общий вал насоса и приводной гидротурбины, на котором установлены рабочее колесо насоса, втулки подшипников, четыре рабочих колеса приводной гидротурбины. Статор агрегата состоит из конфузора, лопаточного отвода насоса, направляющих аппаратов турбины. Статор и ротор объединены в монтажную часть – внутренний корпус агрегата, который зафиксирован в корпусе нажимным кольцом и уплотнен клиновой металлической прокладкой.

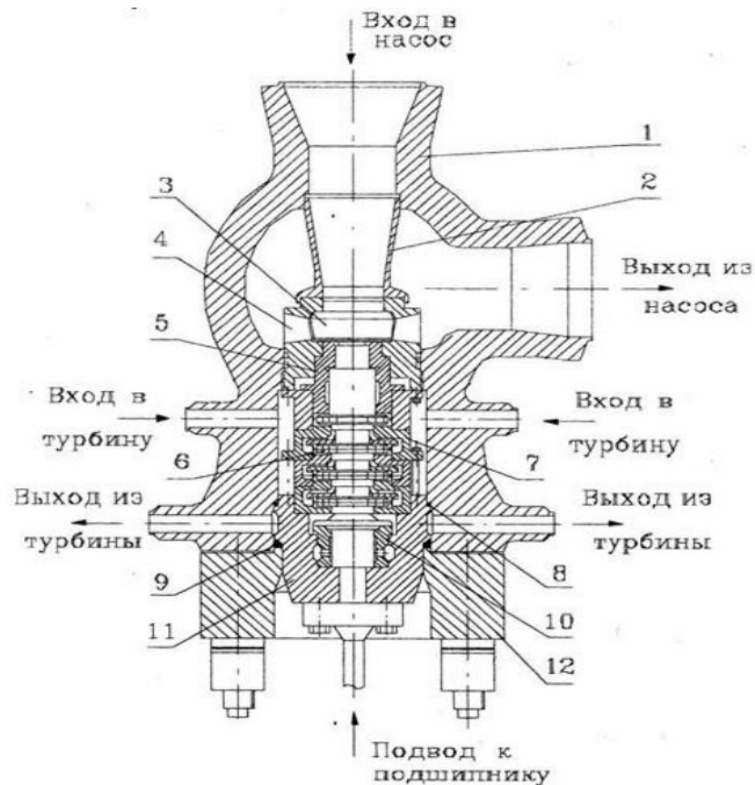


Рисунок 2 – Насосный агрегат РГТН:

1 - корпус; 2 - входной конфузор; 3 - колесо насоса; 4 - аппарат насоса; 5 - подшипник верхний; 6 - колесо турбины; 7 - аппарат турбины; 8 - прокладка; 9 - клиновья прокладка; 10 - подшипник нижний; 11 - корпус подшипника; 12 - нажимное кольцо.

Основные характеристики насоса типа РГТН 1000-150 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики РГТН 1000-150

Наименование параметра	Значение
Подача насоса, м <sup>3</sup> /ч	1000
Напор насоса, м	150
Давление на входе в насос, кгс/см <sup>2</sup> МПа	до 400
Температура перекачиваемой среды, °С	до 410
Напор, срабатываемый приводной гидротурбиной, м	до 2200
Расход питательной воды на приводную гидротурбину, т/ч;	до 110
Температура питательной воды на приводную гидротурбину, °С	170
КПД насоса, %	0,85
КПД приводной гидротурбины, %	0,6
Масса агрегата, кг	2500
Габаритные размеры, м	1,5x0,7x0,7

Впервые в практике энергомашиностроения система рециркуляции рабочей среды с насосом с гидротурбинным приводом была реализована ОАО «НПО ЦКТИ» на энергоблоке 300 МВт Киришской ГРЭС (котел ТГМП - 324) [4]. Рециркуляционный гидротурбонасос (РГТН) – центробежный, высокой быстроходности, приводная гидротурбина – радиальная, четырехступенчатая. Подшипники агрегата – гидростатические, верхний – радиальный, нижний – радиально-упорный. Рабочая среда подшипников – питательная вода, проходящая дополнительную очистку в фильтрах гидроциклонного типа.

Параметры РГТН 1000-150 соответствуют аналогичным параметрам ранее используемых циркуляционных электронасосов фирм KSB и Hayward Tyler. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика электронасосов и насосов с гидротурбинным приводом.

Таблица 2 – Сравнительная таблица параметров насосов

Насосы	РГТН 1000-150	Hayward Tyler
Подача насоса, м <sup>3</sup> /ч	1000	1000
Напор, м	150	150
Расход охлаждающей воды в теплообменнике, т/ч	-	40
Суммарная мощность, кВт	415	440
КПД, %	0,85	0,82
КПД привода, %	0,6	0,59
Габаритные размеры, м	1,5x0,7x0,7	3,5x0,8x0,8
Вес агрегата, кг	2500	16000

Сравнительная характеристика зависимости производительности, напора и оборотов вращения электронасосов и насосов с гидротурбинным приводом представлена на рисунке 3.

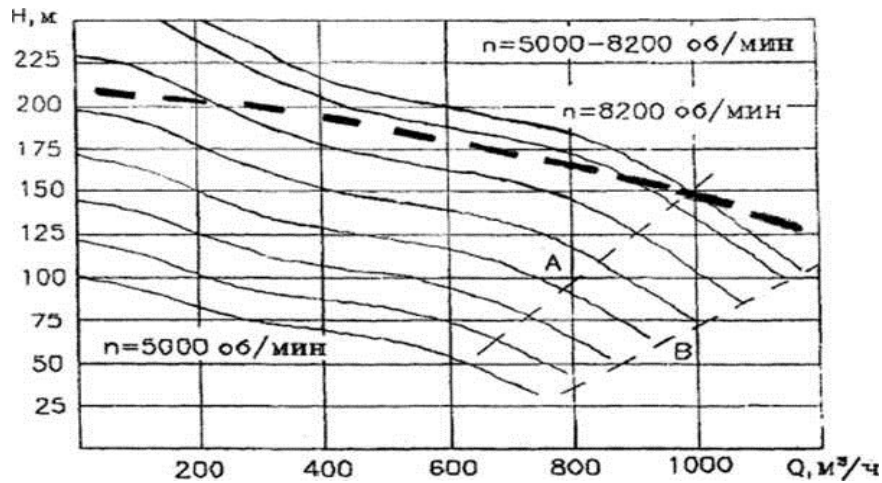


Рисунок 3 – Характеристики насоса рециркуляции среды: РГТН 1000-150

— Электронасос фирмы Hayward Tyler

Схема включения циркуляционного насоса в тепловую схему энергоблока представлена на рисунке 4. Включение гидротурбинного привода (на котле установлено два насоса – рабочий и резервный) выполнено по замкнутому контуру: деаэратор (1) → бустерный и питательный насос (2, 3) → гидротурбинный привод РГТН 1000-150 → деаэратор (1). Насос рециркуляции (11) установлен между смесителем (7), в который поступает питательная вода и рабочая среда после НРЧ (8) и ВРЧ (9) котла.

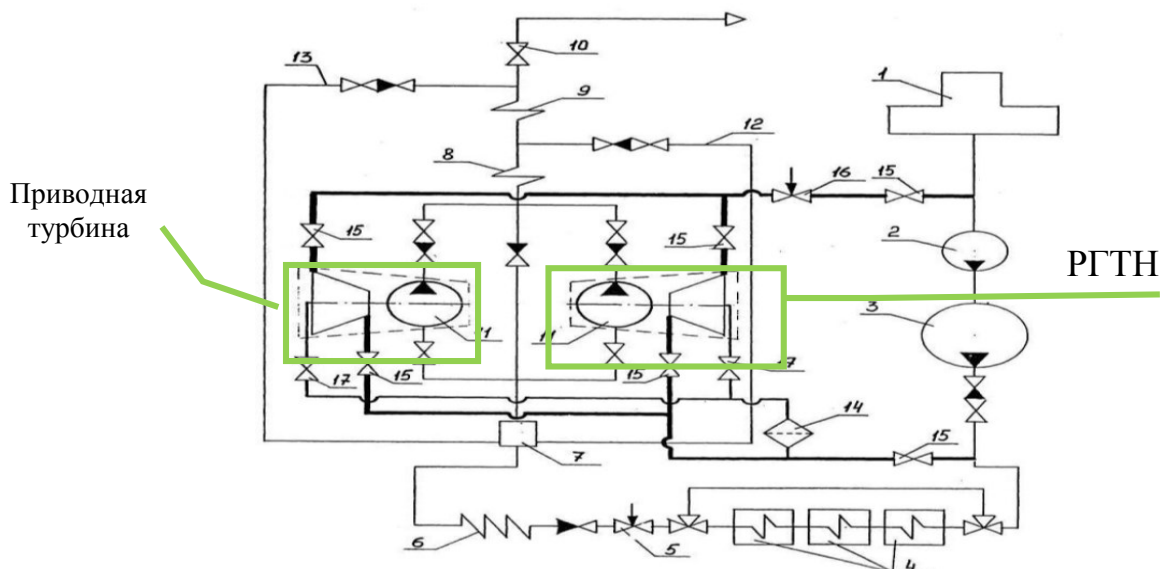


Рисунок 4 – Схема включения РГТН 1000-150 в тепловую схему энергоблока ТЭС:

- 1 - деаэратор; 2 - бустерный насос; 3 - питательный насос; 4 - ПВД; 5 - регулятор питания котла; 6 - экономайзер; 7 - смеситель; 8 - НРЧ; 9 - ВРЧ; 10 - встроенная задвижка; 11 - РГТН 1000-150; 12 - трубопровод рециркуляции за НРЧ; 13 - трубопровод рециркуляции за ВРЧ; 14 - фильтр; 15 - задвижка силовой воды; 16 - регулирующий клапан; 17 - клапан воды на подшипники. Регулирующий клапан (16) на трубопроводе отвода питательной воды после гидротурбинного привода позволяет регулировать параметры насоса рециркуляции рабочей среды изменением частоты вращения РГТН

В котлоагрегате прямоточного типа, циркуляционные насосы включены в систему комбинированной циркуляции, работающую при пуске и нагрузках до 40%. В течение более 10 лет проводилась контрольная эксплуатация гидротурбонасосов, подтвердившая высокий уровень конструктивной надежности.

#### **Заключение**

В результате анализа опытной эксплуатации можно сделать вывод, что система рециркуляции рабочей среды с насосом с гидротурбинным приводом ОАО «НПО ЦКТИ» на энергоблоке 300 МВт Киришской ГРЭС (котел ТГМП - 324) показала следующие преимущества данного насоса по сравнению с иностранными насосами с «мокрым» статором:

1. Высокая эксплуатационная надежность.
2. Малые габариты, по сравнению с импортными насосами.
3. Большой межремонтный период в следствии простоты конструкции.
4. Отличные показатели регулирования.
5. Меньшая стоимость ремонта и эксплуатации по сравнению с импортными насосами.
6. Актуальность дальнейших разработок в сфере проектирования насосов с гидротурбинным приводом.

#### **Литература**

1. Создание насосов с гидротурбинным приводом для энергетических установок / Труды ЦКТИ, выпуск 213, Ленинград, 1984.
2. Hydraulic turbine-driven boiler circulation pump [Электронный ресурс] / EPRI, 1995. – Дата доступа: 21.02.2022.
3. Boiler circulating pumps for fluidized bed boilers [Электронный ресурс] / Hayward Tyler, 1983. – Дата доступа: 05.04.2022.
4. Field testing of the hydraulic turbine-driven boiler circulation pump at the southern power plant, LENENERGO in St. Petersburg, Russia [Электронный ресурс] / Joseph Technology Corporation, Inc., 1995. – Дата доступа: 25.03.2022.