

## СЕКЦИЯ III ЭНЕРГЕТИКА

---

### АБСОРБЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС С ПАРОВЫМ ПРИВОДОМ В СИСТЕМЕ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЭЦ

В. В. Янчук

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель В. Н. Романюк

*Приведены основные результаты расчета изменения эффективности работы электрической станции на базе паротурбинной установки ПТ-60. При модернизации системы регенеративного подогрева питательной воды и сохранении минимального пропуска пара в конденсатор, что соответственно приведет также и к снижению электрической мощности станции, возможно повышение электрического КПД на 0,82 % и энергетического КПД станции – на 0,54 %.*

**Ключевые слова:** турбоустановка ПТ-60, абсорбционный тепловой насос, система регенеративного подогрева питательной воды, низкотемпературные тепловые потоки.

Основным источником первичной энергии в Беларуси как в энергетическом, так и в промышленном секторе является природный газ. За 2021 г. его доля среди всех первичных источников при производстве электроэнергии в Беларуси составила 83,8 %, что значительно меньше, чем за 2020 г., когда данная величина составляла 95,5 % [1]. Отмеченное изменение связано с пуском в эксплуатацию Белорусской АЭС. Далее доля природного газа в приходной части энергобаланса энергосистемы будет уменьшаться и при выводе двух блоков БелАЭС на полную мощность составит 57 %, т. е. природный газ по-прежнему останется основным энергоносителем [2]. Соответственно сохраняется актуальность повышения эффективности использования природного газа при производстве энергии.

Основное количество электроэнергии в стране вырабатывается на паротурбинных электрических станциях, сбросные энергетические потоки которых возможно использовать как для смежных технологий, так и внутри самого цикла. Оба варианта повышают степень использования первичного топлива. Далее рассмотрено регенеративное использование побочных потоков для повышения КПД паротурбинных циклов.

Наиболее распространенным типом турбоагрегата в энергосистеме является ПТ-60 и его современные версии – ПТ-65, ПТ-70 и ПТ-80. В этой связи, в первую очередь, следует рассмотреть возможность и эффективность регенеративного использования низкопотенциальных сбросных тепловых потоков применительно к данному типу турбоагрегатов, а именно к тем из них, которые установлены на ТЭЦ, где имеет место значительный невозврат конденсата с производства (Гродненская ТЭЦ-2, Мозырская ТЭЦ и Новополоцкая ТЭЦ) [3].

Для полезного использования тепловых потоков с температурой ниже 40 °С следует применять тепловые машины, работающие по обратному циклу – тепловые насосы. Исследования [4, 5] показывают, что более целесообразно использовать абсорбционные тепловые насосы (АБТН), приводом которых служат тепловые высокопотенциальные потоки, которые имеют более низкую себестоимость по сравне-

нию с электрической энергией, требуемой на привод парокompрессионных тепловых насосов.

В качестве утилизируемого потока АБТН выбрана циркуляционная вода охлаждения конденсатора паровой турбины с температурным графиком 25/20 °С. В качестве нагреваемого потока – поток подпиточной воды, который в классической схеме после блока водоподготовки с температурой около 35 °С подмешивается к потоку основного конденсата. В качестве греющего потока рассмотрен вариант использования парового привода АБТН.

В тепловой схеме исследуемой турбоустановки ПТ-60 для данных нужд возможно использовать пар из регенеративного отбора на ПНД-3 с давлением при рассматриваемых параметрах 3,4 ата и пара из отбора на деаэрактор с давлением 6,0 ата.

Расчетные данные приведены при следующих параметрах: расход пара в П-отбор – 140 т/ч; нагрузка теплофикационного отбора – 52,3 Гкал/ч; что соответствует расходу пара в Т-отбор – 100 т/ч; пропуск пара в конденсатор – 12 т/ч; электрическая мощность при полном невозврате в цикл конденсата производственного отбора – 61,9 МВт.

В качестве функции цели при решении данной задачи возможны три варианта: увеличение выработки электрической энергии при сохранении расхода пара на турбину, сохранение электрической мощности установки при сокращении подачи пара в голову турбины или сохранение минимального пропуска пара в конденсатор с одновременным снижением расхода острого пара и снижением выработки. При этом для каждого варианта тепловые нагрузки отопительного и промышленного отбора сохраняются. Цель модернизации следует выбирать в соответствии с текущими условиями в энергосистеме и в зависимости от показателей работы конкретной электростанции. В условиях пуска Белорусской АЭС предпочтительным будет вариант со снижением выработки электрической мощности. При этом, как известно, эффективность выработки электрической энергии в последних ступенях паровых турбин невысока, поэтому необходимо выбирать вариант с сохранением минимального расхода пара в конденсатор, что для турбин ПТ-60 с уплотненной диафрагмой составляет 12 т/ч.

Эффективность модернизации ТЭЦ оценим на основании электрического КПД  $\eta_{эл}$  и энергетического КПД  $\eta_{эн}$ , которые соответственно рассчитываются:

$$\eta_{эл} = \frac{N}{Q_{топл} - Q_{т.о} - Q_{п.о}};$$

$$\eta_{эн} = \frac{N + Q_{т.о} + Q_{п.о}}{Q_{топл}},$$

где  $N$  – электрическая мощность турбоустановки;  $Q_{т.о}$  – тепловая нагрузка теплофикационного отбора;  $Q_{п.о}$  – тепловая нагрузка производственного отбора;  $Q_{топл}$  – мощность потока топлива.

Далее приведены графики увеличения электрического КПД и снижения электрической мощности турбоустановки от процента возврата конденсата производственного отбора в цикл для данного варианта (рис. 1).

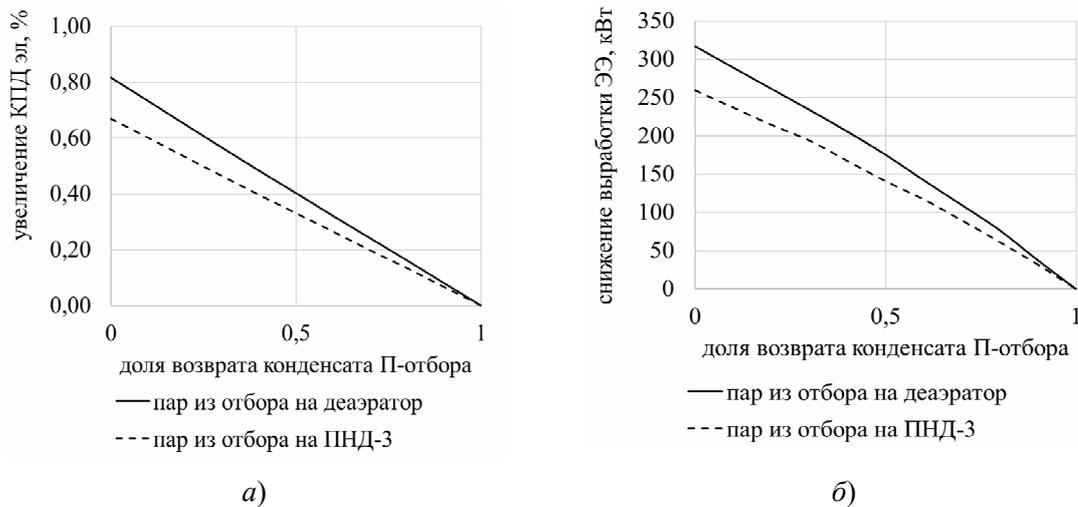


Рис. 1. Изменение показателей работы турбоустановки:  
 а – рост электрического КПД;  
 б – снижение электрической мощности турбоустановки

Из рис. 1, а, б следует, что эффектом от данной модернизации будет снижение электрической мощности турбоустановки на 320 кВт при полном невозврате конденсата производственного отбора и использовании пара давлением 6,0 ата в качестве привода АБТН, и 260 кВт – при использовании пара давлением 3,4 ата. В варианте с меньшим давлением греющего пара получен меньший эффект, что объясняется более низкой конечной температурой нагреваемого потока. При этом электрический КПД турбоустановки увеличивается на 0,82 и 0,67 соответственно, энергетический КПД также увеличивается на 0,54 и 0,44 %.

Полученные расчетные данные доказывают термодинамическую эффективность предложенных решений. В дальнейшей работе следует рассмотреть использование других высокопотенциальных потоков в качестве привода АБТН, а именно – дымовых газов из тракта парового котла.

#### Литература

1. Ourworldindata / Electricitymix. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org/electricity-mix#fossil-fuels-what-share-of-electricity-comes-from-fossil-fuels>. – Дата доступа: 28.12.2022.
2. Хрусталева, Б. М. Расширение энергосберегающей базы в условиях централизованного теплоснабжения и доминирования энергоемких технологий / Б. М. Хрусталева, В. Н. Романюк // Энергоэффективность. – 2017. – № 12. – С. 20–27.
3. Янчук, В. В. Повышение эффективности действующих тепловых электрических станций в современных условиях / В. В. Янчук, В. Н. Романюк // Энергетика. Изв. выс. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2022. – № 6. – С. 511–523.
4. Романюк, В. Н. Абсорбционные или парокompрессионные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, С. В. Мальков // Энергия и менеджмент. – 2013. – № 4. – С. 18–21.
5. Янченко, И. В. Влияние абсорбционного теплового насоса на тепловую экономичность ТЭС и АЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / И. В. Янченко. – Новочеркасск, 2015. – 180 л.