

УДК 621.165

О. А. БАБЕНКО

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков

## ГИБКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫМИ БЛОКАМИ ТЭЦ

*Создана информационная модель теплофикационной турбины Т-100/120-130 для исследования режимов отпуска теплоты энергоблоками ТЭЦ. Проведена верификация созданной модели по результатам измерений, полученных при эксплуатации турбоагрегата блоков № 1 и № 2 Харьковской ТЭЦ-5.*

*Створена інформаційна модель теплофікаційної турбіни Т-100/120-130 для дослідження режимів відпуску теплоти від енергоблоків ТЕЦ. Проведено верифікацію створеної моделі по результатам вимірювань, отриманих при експлуатації турбоагрегату блоків № 1 та № 2 Харківської ТЕЦ-5.*

### Введение

В настоящее время научно-технические решения по энергосбережению в централизованных системах теплоснабжения, а также в жилищно-коммунальном комплексе, требуют финансовых вложений для их реализации. На протяжении последних 40 лет выполнено большое количество исследований, направленных на повышение эффективности теплофикационных турбин и обеспечения надежности их работы [1–3]. Из малозатратных направлений следует отметить поиск оптимальных режимов отпуска теплоты теплофикационными блоками ТЭЦ, обеспечивающих выработку дополнительной электроэнергии при различных тепловых нагрузках.

**Целью работы** является выбор более эффективного метода математического моделирования процессов в турбоустановках, на базе которого следует создать информационную модель теплофикационной турбины с отборами пара для нагрева сетевой воды в подогревателях и провести верификацию созданной модели по результатам измерений на одной из теплофикационных турбин, работающих как по тепловому, так и по электрическому графикам.

### Основная часть

Наиболее полно, с условием необходимой адаптации, для решения поставленной задачи подходит разработанный в Институте проблем машиностроения имени А. Н. Подгорного НАН Украины программно-вычислительный комплекс "SCAT" [4]. Важным этапом исследований режимов отпуска теплоты теплофикационными блоками ТЭЦ с учетом работы их тепловых схем при использовании гибких математических моделей является создание информационной модели конкретного объекта исследования. Информационная модель энергоустановки трактуется как составной объект [5], т. е. это совокупность данных об объекте исследования, существенных с точки зрения решаемых задач.

В качестве объекта исследования выступает турбина производственного объединения "Уральский турбинный завод" (ПО УТЗ, г. Екатеринбург, Россия) Т-100/120-130 [6]. На разных ТЭЦ Украины находится в эксплуатации 6 энергоблоков с теплофикационными турбинами данного типа (по 2 турбины на Киевской ТЭЦ-5 и Харьковской ТЭЦ-5, по 1 турбине на Кременчугской и Черниговской ТЭЦ).

Паротурбинная установка Т-100/120-130 с двумя отопительными отборами пара номинальной мощностью 100 МВт предназначена для отпуска тепла на нужды отопления и непосредственного привода электрического генератора ТВФ-120-2.

Принципиальная тепловая схема турбоустановки Т-100/120-130 представлена на рис 1.

Пар из котла 1 с номинальными параметрами (давление свежего пара 2,8 МПа, температура свежего пара 555 °С) поступает по паропроводам свежего пара 2 в цилиндр высокого давления (ЦВД) 3, из которого по перепускным паропроводам 4 направляется в цилиндр среднего давления (ЦСД) 5, где, произведя работу, по перепускным паропроводам 6 поступает в цилиндр низкого давления (ЦНД) 7.

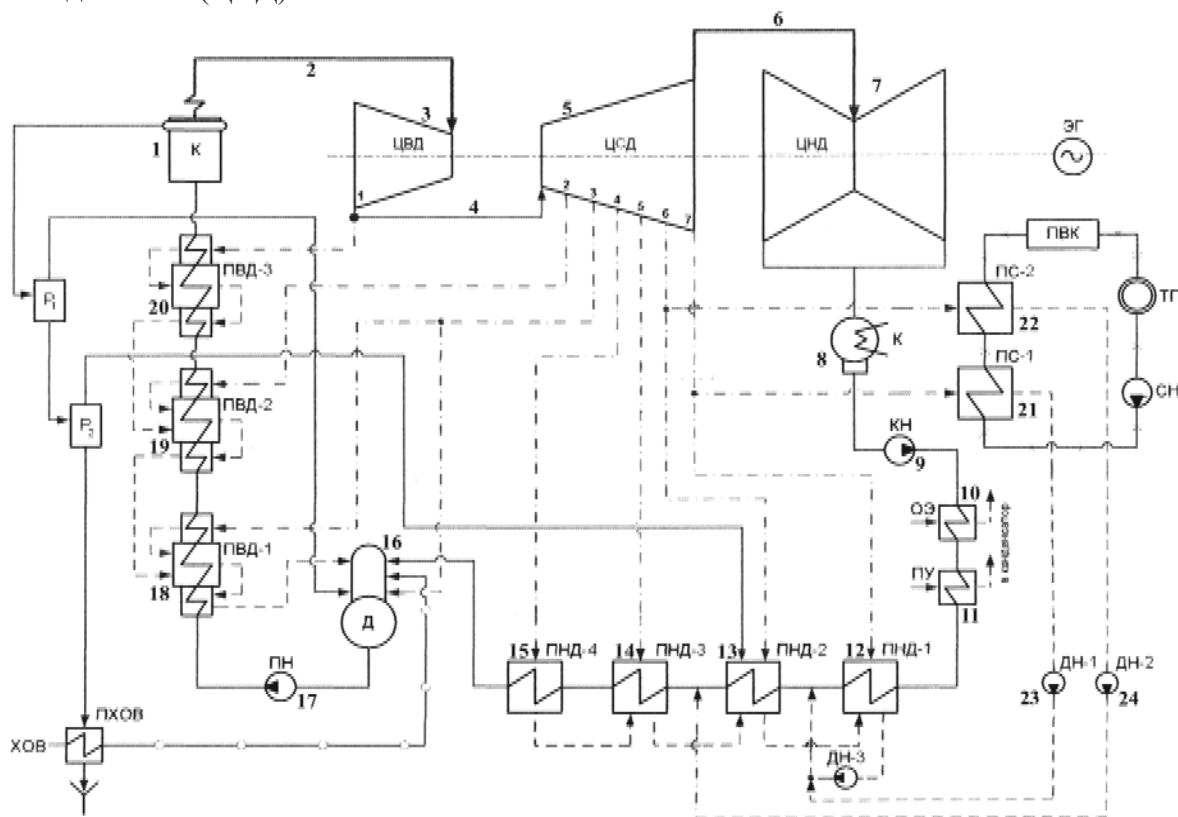


Рис.1. Принципиальная тепловая схема паровой турбины Т-100/120-130

ЦНД турбины двухпоточный, в каждом потоке по 2 ступени, включая регулировочную ступень. Пропуск пара в ЦНД регулируется поворотными диафрагмами. Пройдя ЦНД, пар поступает в конденсатор (К) 8, где конденсируется и в виде основного конденсата с помощью конденсатного насоса (КН) 9 направляется в регенеративную систему подогрева конденсата, включающую конденсаторы основного эжектора (ОЭ) 10 и эжектора уплотнений (ЭУ) 11, подогреватели низкого давления (ПНД) 12-15 и деаэрактор (Д) 16. Далее питательная вода, прошедшая деаэрацию, питательным насосом (ПН) 17 через подогреватели высокого давления (ПВД) 18-20 закачивается в котел 1 энергоблока.

Турбина имеет два отопительных отбора пара – верхний и нижний, предназначенные для ступенчатого подогрева сетевой воды. Конденсат сетевых подогревателей 21, 22 подается насосами 23, 24 в магистраль основного конденсата.

На рис. 2 приведена упрощенная схема теплофикационной установки, предназначенной для подогрева сетевой воды. Теплофикационная установка включает в себя два горизонтальных сетевых подогревателя – ПС-1 и ПС-2.

ПС-1 питается паром нижнего отопительного отбора  $p_n$ , ПС-2 питается паром с более высокими параметрами, чем в ПС-1, из верхнего отопительного отбора  $p_v$ . Сетевая вода через сетевые подогреватели нижней и верхней ступеней подогрева пропускается последовательно и в одинаковом количестве. Конденсат сетевых подогревателей подается дренажными насосами ДН-1 и ДН-2 в магистраль основного конденсата.

Работа ПС проводится по:

1) одноступенчатой схеме (включен только нижний отбор) – регулирование температуры прямой сетевой воды осуществляется традиционным для теплофикационных

турбин способом за счет изменения давления в нижнем отопительном отборе  $p_n$  с помощью регулирующих (поворотных) диафрагм, установленных на входе в ЦНД. Задвижки 1–3 открыты, задвижки 4–7 – закрыты;

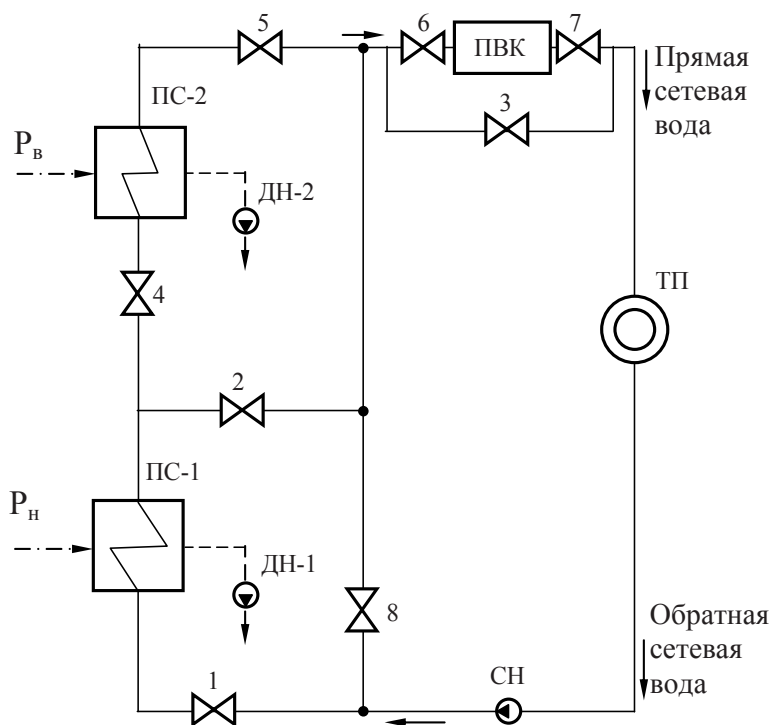


Рис. 2. Принципиальная схема установки для подогрева сетевой воды

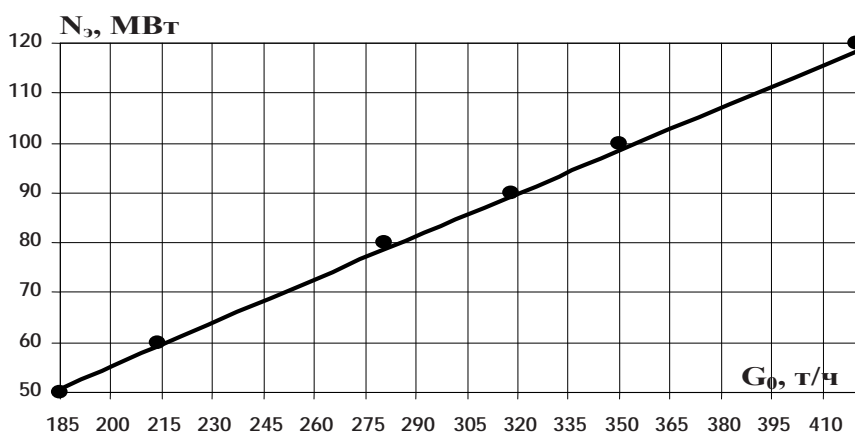
2) двухступенчатой схеме (включены оба отбора) – сетевая вода последовательно подогревается в сетевом подогревателе нижней (ПС-1), а затем верхней (ПС-2) ступеней. Давление в нижнем отопительном отборе  $p_n$  не регулируется, в верхнем отопительном отборе  $p_v$  регулируется за счет изменения расхода свежего пара, подаваемого в турбину. Задвижки 1,3-5 открыты, задвижки 2,6,7 – закрыты.

Наличие байпасной линии с задвижкой 8 позволяет поддерживать требуемую температуру прямой сетевой воды как за ПС-1, так и за ПС-2 путем смешивания потоков сетевой воды на выходе ПС с частью воды из обводной линии.

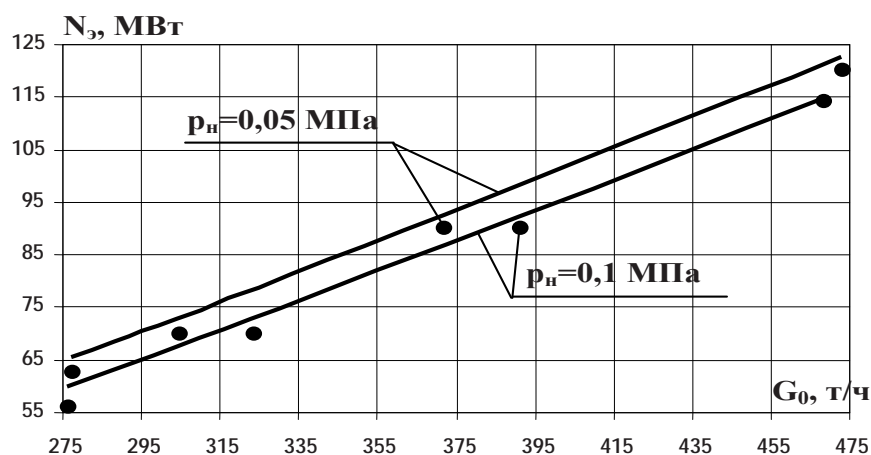
Для совершенствования режимов отпуска теплоты с использованием программно-вычислительного комплекса SCAT сформирована информационная модель энергоблока с турбиной Т-100/120-130. Созданная математическая модель, реализованная в виде системы графического взаимодействия, предоставляет удобные средства для решения задач анализа и оптимизации энергоустановок в диалоговом режиме. Она включает в себя средства для формирования описаний энергоустановок на поле монитора персонального компьютера, просмотра и модификации свойств компонент и структуры в целом, организации вычислительного процесса в течение нескольких секунд и вывод результатов расчетов на экран в удобной для работы форме.

Верификация математической модели выполнена на примере турбоустановки Т-100/120-130 энергоблоков № 1 и № 2 Харьковской ТЭЦ-5 (ПАО "Харьковская ТЭЦ-5", г. Харьков, Украина). Значения энергетических характеристик турбоагрегатов получены при их эксплуатации [7]. Сопоставление расчетных и измеренных характеристик выполнено для конденсационного режима работы турбоустановки (отпуск теплоты внешнему потребителю отсутствует) и для теплофикационных режимов при работе турбоустановки с одноступенчатым и двухступенчатым подогревом сетевой воды.

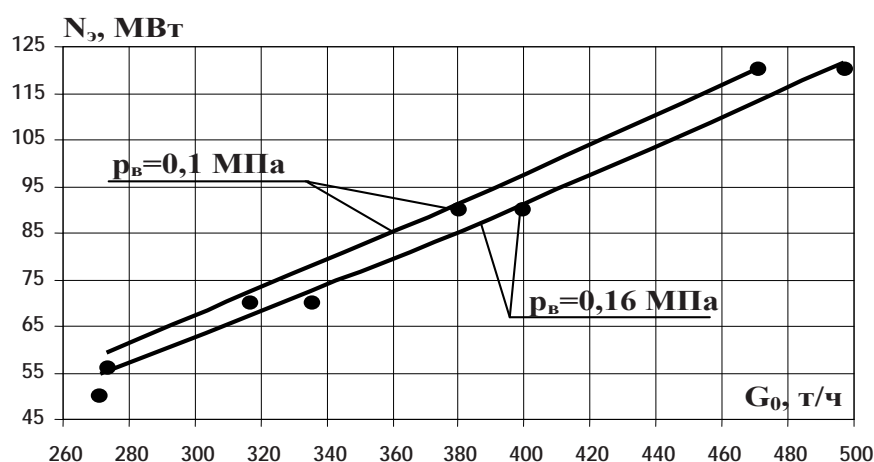
Для сопоставления приняты зависимости изменения электрической мощности от расхода свежего пара на турбину. Эти зависимости приведены на рис. 3 (точками показаны измеренные характеристики).



а)



б)



в)

Рис.3. Изменение электрической мощности в зависимости от расхода свежего пара на турбину Т-100/120-130 блока № 1 и № 2 Харьковской ТЭЦ-5: а) – конденсационный режим,  $Q_T = 0$ ; б) – теплофикационный режим, одноступенчатый подогрев сетевой воды,  $Q_T = 100$  Гкал/ч; в) – теплофикационный режим, двухступенчатый подогрев сетевой воды,

$Q_T = 100$  Гкал/ч.

Как видно из результатов сопоставления, расчетные данные удовлетворительно совпадают с результатами эксплуатации. Некоторое отклонение эксплуатационных значений  $N_3$  наблюдается при минимальных расходах свежего пара. Отклонение не превышает 6,7% при  $G_0 = 270$  т/ч ( $\bar{N} = 0,5$ ).

Результаты проведенной верификации подтверждают целесообразность использования полученной математической модели турбоустановки Т-100/120-130 для выполнения расчетных исследований.

### Выводы

В результате анализа математических моделей турбоустановок различного уровня для решения задачи совершенствования режимов отпуска теплоты теплофикационными блоками ТЭЦ выбран программный комплекс SCAT, разработанный в Институте проблем машиностроения имени А.Н. Подгорного НАН Украины. Данная математическая модель адаптирована для решения поставленной задачи и дополнена условиями работы турбоустановки с подогревателями сетевой воды в широком диапазоне изменения режимов.

Проведена верификация используемой математической модели по энергетическим характеристикам паротурбинной установки Т-100/120-130, полученным при эксплуатации турбоагрегата блоков №1 и №2 Харьковской ТЭЦ-5. Показано хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных, что подтверждает правильность выбора данной модели для исследования режимов эксплуатации рассматриваемых теплофикационных турбоустановок.

### Список литературы

1. Баринберг Г. Д. Повышение эффективности теплофикационных турбин на действующих ТЭЦ // Теплоэнергетика. – 1997. – № 7. – С. 11–15.
2. Эфрос Е.И. Повышение эффективности эксплуатации современных теплофикационных турбин / Е. И. Эфрос, Л. Л. Симою, Л. Л. Лагун, В. Ф. Гуторов, А. Г. Шемпелев // Теплоэнергетика. – 1999. – № 8. – С. 62–67.
3. Гуторов В. Ф. Направления повышения эффективности работы теплофикационных турбин / В. Ф. Гуторов, Л. Л. Симою, Е. И. Эфрос, С. И. Панферов // Теплоэнергетика. – 2000. – № 12. – С. 29–34.
4. Лыхвар Н. В. Структуры данных и язык системы машинного проектирования и исследований тепловых схем паротурбинных установок // Математическое обеспечение систем автоматизированного проектирования объектов машиностроения. Препринт АН УССР, Институт проблем машиностроения. – Харьков, 1981. – № 163. – С. 45–52.
5. Лыхвар Н. В. Гибкие математические модели энергоустановок для оптимизации режимов ТЭЦ // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Сб. науч. трудов ИПМаш НАН Украины. – Харьков, 2003. – С. 413–419.
6. Инструкция по эксплуатации паровой турбины Т-100/120-130. – Харьков: Харьковская ТЭЦ-5, 1989. – 121 с.
7. Энергетические характеристики оборудования Харьковской ТЭЦ-5 (I очередь). – Харьков: Харьковская ТЭЦ-5, 1999.

## FLEXIBLE MATHEMATICAL MODELS FOR RAISING OF RATIONAL MODES OF HEAT TEMPERING BY THE HEAT POWER STATION HEATING BLOCKS

О. А. BABENKO

*Informational model of turboplant T-100/120-130 for research heat tempering modes by the heat power station heating blocks is created. Verification of created model on basis of operating measuring results of five Kharkov heat power station heating blocks № 1 and № 2 is realized.*

Поступила в редакцию 27.07 2011 г.