

В.М.СЫРОПУЩИНСКИЙ, А.А.ГАНЖИН, Б.В.ЯКОВЛЕВ,  
канд. техн. наук (Белорусское отделение  
ВНИПИэнергопром)

## ПРОГРАММА РАСЧЕТА НА ЭВМ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ МАНЕВРЕННЫХ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБОУСТАНОВОК С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПЕРЕГРЕВОМ ПАРА

Решение задач выбора оптимального профиля оборудования, оптимизации параметров и режимов его работы требует многократного выполнения расчетов тепловых схем с высокой точностью и с учетом всего многообразия факторов, влияющих на экономичность работы турбоустановок.

В настоящее время многими проектными и научно-исследовательскими организациями созданы и эксплуатируются программы расчета на ЭВМ тепловых схем турбоустановок [1, 2]. Опыт показал, что наиболее удобным является использование генераторов программ расчета тепловых схем, позволяющих производить расчет всех типов турбоустановок. Подобный генератор программ был создан в Белорусском отделении ВНИПИэнергопром [3] и прошел успешную апробацию при расчете тепловых схем конденсационных турбоустановок АЭС, используемых для теплоснабжения.

В основу разработки генератора были положены идеи структурного программирования, в соответствии с которыми использование блочно-модульного принципа построения программ позволило повысить работоспособность готовой программы и ускорить отладку создаваемой программы за счет использования метода нисходящего тестирования.

В процессе исследования пускоманевренной схемы энергоблока с турбиной Т-180/210-130-1 для Гомельской ТЭЦ-2 необходимым оказалось создание программы расчета тепловой схемы данной турбоустановки при работе ее в маневренном режиме. Это потребовало модернизации части существующих и разработки ряда новых блоков-подпрограмм генератора.

Основной особенностью расчета маневренной турбоустановки являются изменения, происходящие в ее схеме по мере снижения электрической нагрузки; включение дополнительной сетевой установки, соответствующих редуционно-охладительных установок, отключение ЦВД с переводом его в беспаровой режим и переходом регулирования турбины на клапаны ЦСД.

Исходной информацией для расчета на ЭВМ тепловой схемы турбоустановки являются расход и параметры свежего пара перед турбиной, а также расход и температуры прямой и обратной сетевой воды. Кроме того, при помощи отдельной подпрограммы задаются расходы пара через отсеки турбины, КПД отсеков и давления пара в камерах отборов на расчетном режиме, т.е. показатели, которые для данной турбоустановки не меняются в ходе расчетов.

Результатом расчетов является определение мощности турбоустановки, тепловой нагрузки основных сетевых подогревателей, паропроизводительности котлоагрегата, расхода пара на РОУ, тепловой нагрузки дополнительной сетевой установки, параметров пара в камерах отборов, расходов пара на регене-

ративные подогреватели, расходов и параметров конденсата на выходе из подогревателей системы регенерации и др.

Выводимые на печать результаты расчета по желанию пользователя можно представить как в системе СИ, так и в технической системе единиц.

К вновь разработанным относятся следующие блоки-подпрограммы:

– расчета системы соплового парораспределения совместно с регулирующей ступенью, основанная на методике [ 4 ] с использованием характеристик системы парораспределения турбины Т-180/210-130-1, которые получены в результате заводских испытаний;

– расчета редуционно-охладительной установки;

– расчета вторичного пароперегревателя совместно с системой парораспределения ЦСД турбины, которая предназначена для определения параметров вторично перегретого пара перед регулирующими клапанами ЦСД и первой ступенью ЦСД, а также для управления работой отдельных элементов тепловой схемы при снижении электрической нагрузки (отключения ЦВД и включения в работу регулирующих клапанов ЦСД и РОУ) ;

– расчета протечек и отсосов пара из уплотнений турбины (в основу положены линейные уравнения, полученные аппроксимацией табличных данных завода-изготовителя).

Из модернизированных блоков-подпрограмм наибольшим изменениям была подвергнута подпрограмма расчета теплофикационной части турбоустановки. В основу модернизированного блока положены три вспомогательные подпрограммы. Первая из них основана на алгоритме расчета теплофикационных установок [ 5 ] и предназначена для расчета давлений пара в камерах отопительных отборов по характеристике промежуточного отсека и для определения расходов греющего пара на основные сетевые подогреватели по заданной температуре сетевой воды между подогревателями. Эта подпрограмма позволяет определить расход пара через отсек, предшествующий промежуточному, достаточный для подогрева сетевой воды до заданной температуры. Температурные напоры в основных сетевых подогревателях определяются с помощью уравнений, полученных в результате аппроксимации заводских тепловых характеристик подогревателя ПСГ-5000.

Вторая вспомогательная подпрограмма предназначена для расчета степени подогрева воды в основных сетевых подогревателях и расходов пара на них по расходу пара через отсек, предшествующий промежуточному.

Третья вспомогательная подпрограмма необходима для расчета теплофикационной части турбоустановки при полностью открытой регулирующей диафрагме в режиме свободного распределения пара между основными сетевыми подогревателями и конденсатором турбины.

Подпрограмма расчета теплофикационной установки работает по следующему алгоритму: если задан расход пара на турбину, то производится расчет по первой вспомогательной подпрограмме до тех пор, пока давление в верхнем теплофикационном отборе, определенное по уравнению Стодолы–Флюгеля, не станет равным давлению в этом же отборе, определенному из расчета верхнего сетевого подогревателя. Затем сравнивается значение расхода пара из предыдущего отсека со значением расхода пара, необходимого для получения требуемого подогрева сетевой воды. Если расход пара из отсека, предшествующего промежуточному, недостаточен, то происходит обращение ко второй

вспомогательной подпрограмме, с помощью которой определяется возможная температура подогрева сетевой воды. Если расчет тепловой схемы проводится по заданной величине тепловой нагрузки, то расход пара, определенный из расчета в первой вспомогательной подпрограмме, используется для расчета отсека, предшествующего промежуточному. Если задан режим свободного парораспределения между основными сетевыми подогревателями и конденсатором турбины, либо давление пара за регулирующей диафрагмой оказывается больше, чем давление перед ней, то расчет осуществляется по третьей вспомогательной подпрограмме.

Результаты выполненных расчетов показали, что при снижении электрической нагрузки турбины происходит значительное увеличение температуры пара на выходе ЦНД по сравнению с номинальным режимом (на отдельных режимах разгрузки до  $160^{\circ}\text{C}$ ). В связи с этим была разработана специальная подпрограмма, позволяющая по предварительно заданной температуре пара на выходе ЦНД определять необходимый расход его на входе в конденсатор путем изменения расходного коэффициента через регулируемую диафрагму.

Расчет тепловой схемы турбоустановки на каждом из характерных режимов разгрузки турбины по электрической мощности (режимы достижения заданной производительности РОУ, или требуемого давления в линии холодного промперегрева, до и после перевода ЦВД в беспаровой режим) осуществляется при помощи специально разработанной подпрограммы, позволяющей проводить расчеты во всем диапазоне изменения нагрузки турбины, вводя исходную информацию для расчета лишь один раз.

Сопоставление результатов расчета тепловой схемы турбоустановки Т-180/210-130-1, полученных с помощью описанной выше программы, и результатов расчетов характерных режимов, выполненных заводом-изготовителем турбины (ПОТ ЛМЗ), показало практически полное их совпадение. Время расчета тепловой схемы турбоустановки на одном из режимов работы колеблется в пределах от 1,5 до 2,5 мин машинного времени (расчеты проводились на ЭВМ ЕС-1022-02) и зависит от структуры тепловой схемы (состав работающего оборудования).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет тепловых схем теплофикационных турбоустановок на ЭЦВМ/Ф.А.Вульман, Е.И.Бененсон, Г.Ф.Меклин, Б.С.Сычев. — Теплоэнергетика, 1970, № 1, с. 46–48.
2. В а с и л ь е в М.К. Расчет тепловых схем конденсационных и теплофикационных турбин на ЭЦВМ. — Теплоэнергетика, 1982, № 3, с. 42–44.
3. Генератор программ для расчета тепловых схем паротурбинных установок/А.М.Леонков, Б.В.Яковлев, Л.В.Шатон, В.М.Сыропушинский. — Изв. вузов. Энергетика, 1980, № 9, с. 114–116.
4. Щ е г л я е в А.В. Паровые турбины. — М., 1976, с. 441–445.
5. В у л ь м а н Ф.А., Х о р ь к о в Н.С. Тепловые расчеты на ЭВМ теплоэнергетических установок. — М., 1975, с. 34–36.