

УДК 621.321

Учебно-лабораторный комплекс по оптимизации режимов работы теплофикационных турбоагрегатов

Ледуховский Г.В., Поспелов А.А., кандидаты техн. наук, Борисов А.А., асп.

Приведено описание компьютерного учебно-лабораторного комплекса по оптимизации состава и режима работы теплофикационных турбоагрегатов при заданных графиках несения тепловой и электрической нагрузки электростанции.

Ключевые слова: тепловая электрическая станция, график электрической нагрузки, режим работы оборудования, удельный расход топлива, структурная и режимная оптимизация теплоэнергетических систем.

Educational and Laboratory Program System on Optimizing Operating Modes of Heating Turbine Units

G.V. Ledukhovsky, A.A. Pospelov, Candidates of Engineering, A.A. Borisov, Post Graduate Student

The authors give the description of the educational and laboratory program system on structural and operating optimization of heating turbine units with specified diagrams of thermal and electric loads.

Keywords: heat power station, load diagram, operating mode, fuel rate, structural and operating optimization of heat-and-power engineering systems.

В настоящее время при переходе тепловых электростанций (ТЭС) к работе на Новом оптовом рынке электроэнергии и мощности (НОРЭМ) особую актуальность приобрела задача оптимального распределения тепловых и электрических нагрузок между параллельно работающими агрегатами. Оптимизация режимов работы оборудования электростанции является малозатратным энергосберегающим мероприятием, обеспечивающим в ряде случаев получение существенной экономии топлива. Поэтом знание основных методов решения указанной задачи становится для инженеров-теплоэнергетиков необходимым условием успешной работы.

Одним из наиболее сложно реализуемых этапов задачи является оптимизация состава и режима работы турбинных установок. Нами разработан учебно-лабораторный комплекс (УЛК), основной составляющей которого является автоматизированная компьютерная программа по оптимизации режимов совместной работы теплофикационных турбин. Комплекс предназначен для повышения эффективности подготовки студентов специальности 140101.65 «Тепловые электрические станции» по курсу «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях». При создании комплекса обобщен опыт разработки прикладных программных пакетов по оптимизации режимов работы оборудования тепловых электростанций, накопленный сотрудниками кафедр тепловых электростанций и прикладной математики Ивановского государственного энергетического университета [1–3].

Была рассмотрена теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), в турбинном отделении которой установлены два турбоагрегата ПТ-80/100-130/13

(ТГ-1 и ТГ-2), два турбоагрегата Т-100/120-130 (ТГ-3 и ТГ-4) и турбоагрегат Р-50-130 (ТГ-5) (рис. 1). Имеются параллельные связи по свежему пару, пару производственных отборов турбин. Коллектор собственных нужд давлением пара 1,2 ата подключен через редуцирующую охлаждающую установку РОУ-13/1,2. Непосредственные связи этого коллектора с теплофикационными отборами турбин отсутствуют: турбины с горизонтальными сетевыми подогревателями (ПСГ) эксплуатировать с параллельными связями по теплофикационным отборам не допускается. В тепловой схеме имеется быстросрабатывающая редуцирующая установка БРОУ-140/13.

Теплофикационная установка ТЭЦ состоит из четырех индивидуальных теплофикационных установок турбоагрегатов, каждая из которых включает нижний и верхний ПСГ, а также группы пиковых бойлеров, греющим паром которых является пар производственных отборов турбин. Имеется байпас для пропуска сетевой воды помимо теплофикационных установок турбоагрегатов, а также байпас пиковых бойлеров. Отвод конденсата греющего пара ПСГ осуществляется в линию основного конденсата соответствующего турбоагрегата (согласно проектным тепловым схемам турбин соответствующего типа), а конденсата греющего пара пиковых бойлеров – в деаэраторы питательной воды.

Отпуск тепловой энергии внешним потребителям осуществляется с паром производственных отборов турбин и горячей водой. Потребители собственных нужд ТЭЦ используют горячую воду, пар производственных отборов, а также пар давлением 1,2 ата. Все турбогенераторы работают на одну точку поставки электроэнергии.

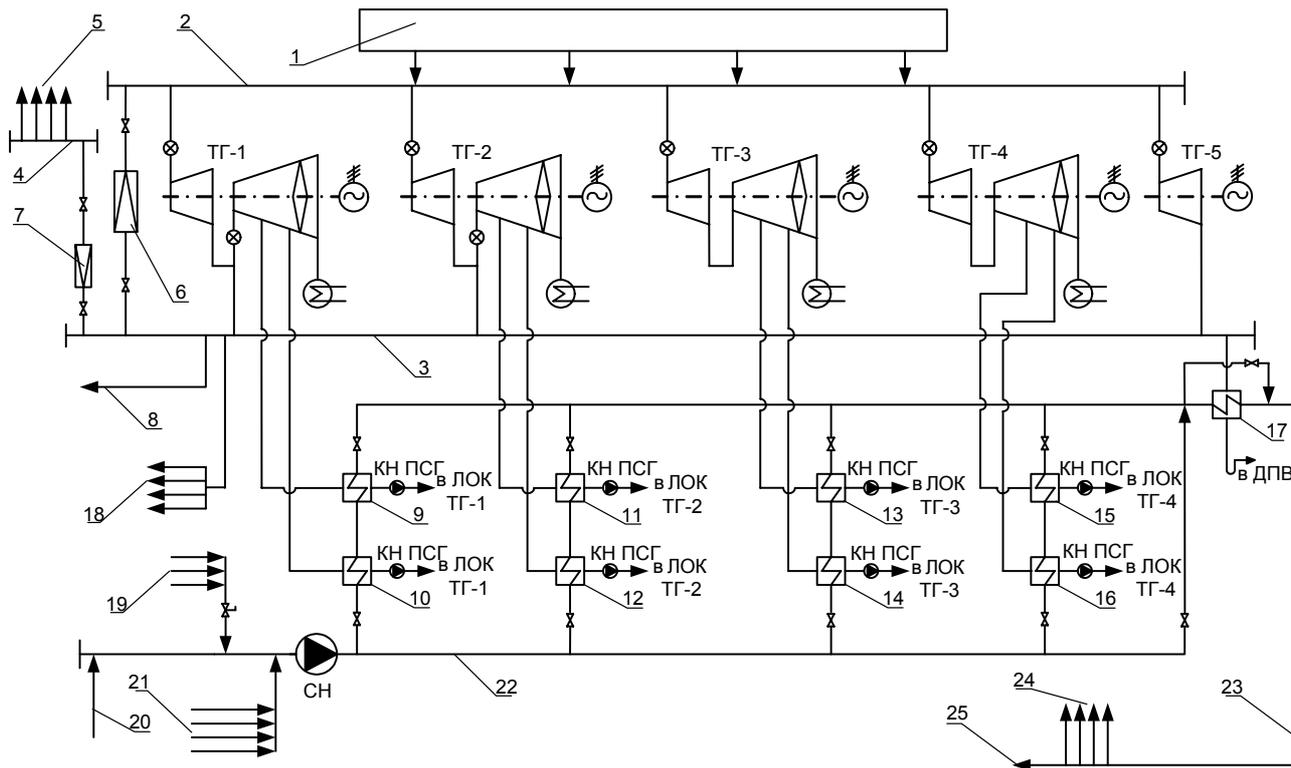


Рис. 1. Расчетная тепловая схема турбинного отделения модельной ТЭЦ: ТГ – турбоагрегат; СН – группа сетевых насосов; КН ПСГ – конденсатные насосы ПСГ; ЛОК – линия основного конденсата системы регенерации турбоагрегата; ДПВ – деаэраторы питательной воды; 1 – группа паровых котлов; 2, 3, 4 – коллекторы пара давлением 140, 13 и 1,2 ата соответственно; 5 и 18 – пар к потребителям собственных нужд; 6 – БРОУ-140/13; 7 – РОУ-13/1,2; 8 – пар к внешним потребителям; 9, 11, 13 и 15 – верхние сетевые подогреватели (ПСГ-2) теплофикационных установок турбоагрегатов; 10, 12, 14 и 16 – нижние сетевые подогреватели (ПСГ-1) теплофикационных установок турбоагрегатов; 17 – группа пиковых бойлеров; 19 – подпиточная вода теплосети от насосов подпитки; 20 – обратная сетевая вода от внешних потребителей; 21 – обратная сетевая вода от потребителей собственных нужд; 22 и 23 – коллекторы обратной и прямой сетевой воды соответственно; 24 – прямая сетевая вода потребителям собственных нужд; 25 – прямая сетевая вода внешним потребителям

Решаемая пользователем учебно-лабораторного комплекса задача состоит в определении оптимального состава работающих турбоагрегатов, а также оптимального распределения суммарных тепловых и электрических нагрузок между отдельными агрегатами. При этом суточный график несения суммарной электрической нагрузки ТЭЦ является заданным.

Суммарные тепловые нагрузки внешних потребителей и потребителей собственных нужд ТЭЦ определяются пользователем расчетным путем на подготовительном этапе работы. Алгоритм и примеры расчета тепловых нагрузок приведены в методических указаниях к лабораторной работе. Определению, в частности, подлежат суммарные тепловые нагрузки с горячей водой, паром давлением 1,2 и 13 ата. Исходными данными при этом являются температура наружного воздуха и исходной воды, расход и параметры пара, отпускаемого внешним потребителям, доля возврата конденсата этого пара в тепловую схему ТЭЦ, показатели работы мазутного хозяйства (основным видом топлива для модельной ТЭЦ является природный газ, резервным – топочный мазут) и проч. В ходе выполнения расчета пользователь получает дополнительные навыки расчета тепловых схем (в

частности, схем приготовления добавочной воды цикла и подпиточной воды теплосети), работы с нормативно-технической документацией электростанций по топливоиспользованию. В частности, используются температурный график отпуска тепла с горячей водой, утвержденные нормативными документами [4–6] алгоритмы расчета расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование производственных зданий и сооружений тепловых электростанций, на нужды мазутных хозяйств, установок по приготовлению воды, на технологические нужды и расчета прочих составляющих суммарного расхода тепловой энергии на собственные нужды ТЭЦ. Решаемые на этом этапе задачи свойственны работе производственно-технических отделов электростанций.

Подготовив необходимые для оптимизационного расчета исходные данные, пользователь приступает к работе с программным комплексом. Алгоритм программного комплекса позволяет решать следующие задачи:

- выбор оптимального состава находящихся в работе турбоагрегатов. При этом каждый из турбоагрегатов, в соответствии с заданием на лабораторную работу, может принудительно содержаться в работе или резерве, ли-

бо целесообразность нахождения агрегата в работе определяется непосредственно в ходе оптимизационного расчета (рис. 2);

Состав работающего оборудования

Турбоагрегат №1 (ПТ-80/100-130/13)

Оперативное состояние

В работе
 В резерве
 Определяется расчетом

Возможные режимы работы

К Т1 Т2 П ПТ1 ПТ2

Рис. 2. Фрагмент экранной формы задания оперативного состояния и возможных режимов работы турбоагрегатов

– выбор оптимального режима работы каждого турбоагрегата. В зависимости от типа турбоагрегата, возможны режимы работы с одноступенчатым или двухступенчатым подогревом сетевой воды в подогревателях теплофикационной установки, режим только с производственным отбором пара, конденсационный режим и др. Аналогично составу работающих агрегатов, существует возможность прямого задания пользователем режима работы турбины или выбора оптимального режима по результатам расчета (рис. 2);

– расчет оптимальных показателей работы теплофикационной установки ТЭЦ с определением расходов сетевой воды через отдельные подогреватели и байпасные трубопроводы, значений давления греющего пара в

подогревателях и соответствующих отборах турбин, температуры сетевой воды за каждым подогревателем;

– расчет оптимальных тепловых нагрузок регулируемых отборов пара каждого турбоагрегата;

– расчет оптимальных электрических нагрузок каждого турбогенератора;

– расчет удельных расходов топлива на отпуск тепловой энергии с коллекторов и электрической энергии с шин ТЭЦ. Алгоритм расчета соответствует утвержденной нормативными документами методике [4].

Основу математической модели ТЭЦ составляют типовые энергетические характеристики соответствующих турбоагрегатов. Характеристики затрат тепловой и электрической энергии на собственные нужды, а также технологических потерь тепловой энергии, связанных с ее отпуском внешним потребителям, приняты по условиям работы одной из действующих электростанций.

Предусмотрены два режима оптимизационного расчета. Критерием оптимальности в первом случае является минимум среднечасового расхода топлива котлами при обеспечении заданных нагрузок потребителей, во втором случае – максимум расхода топлива. Согласно заданию на лабораторную работу, выполняются расчеты в обоих режимах, что позволяет оценить потенциал экономии топлива за счет оптимизации состава и режима работы оборудования.

Для просмотра доступны все необходимые основные и промежуточные результаты в форме таблиц (рис. 3) и мнемосхем (рис. 4).

Результаты расчета Экспорт результатов расчета в Excel

Показатель	Обозначение	Значение показателя					Группа
		Т/а №1	Т/а №2	Т/а №3	Т/а №4	Т/а №5	
Температура сетевой воды на входе в подогреватели, °С	t_2	-	-	-	-	-	60
Отпуск тепла внешним потребителям, Гкал/ч	$Q_{от}$	-	-	-	-	-	400
Результаты расчета							
Оперативное состояние	-	В работе	В работе	В работе	В работе	В резерве	-
Режим работы	-	П	ПТ1	Т1	Т2		-
Электрическая мощность на клеммах генератора, кВт	N_T	94.3	98.5	91	96.2		380
Тепловая нагрузка производственного отбора пара, Гкал/ч	$Q_{по}$	40	60	-	-		100
Давление пара в камере производственного отбора, абсолютное, кгс/см ²	P_n	13.15	13.17	-	-		-
Тепловая нагрузка теплофикационного отбора пара, Гкал/ч	$Q_{тo}$	0	60	140	140	-	340
Давление пара в камере теплофикационного отбора, абсолютное, кгс/см ²	P_T		0.76	0.96	0.74	-	-
Расход острого пара на турбоагрегат, т/ч	D_0	362.8	405.9	405.9	404.1		-
Расход пара в конденсатор турбоагрегата, т/ч	D_2	204.4	103	42.9	41.6		-
Расход сетевой воды через подогреватель турбоагрегата, т/ч	$G_{св}$	0	2504.5	5000	4995.5		12500
Расход сетевой воды по байпасу, т/ч	G_6	-	-	-	-	-	0
Удельный расход тепла brutto на выработку электроэнергии, ккал/кВт.ч	$q_{т.бр}$	2082.6	1453.7	1360.8	1318.5		1553.2

Рис. 3. Фрагмент экранной формы с результатами расчета

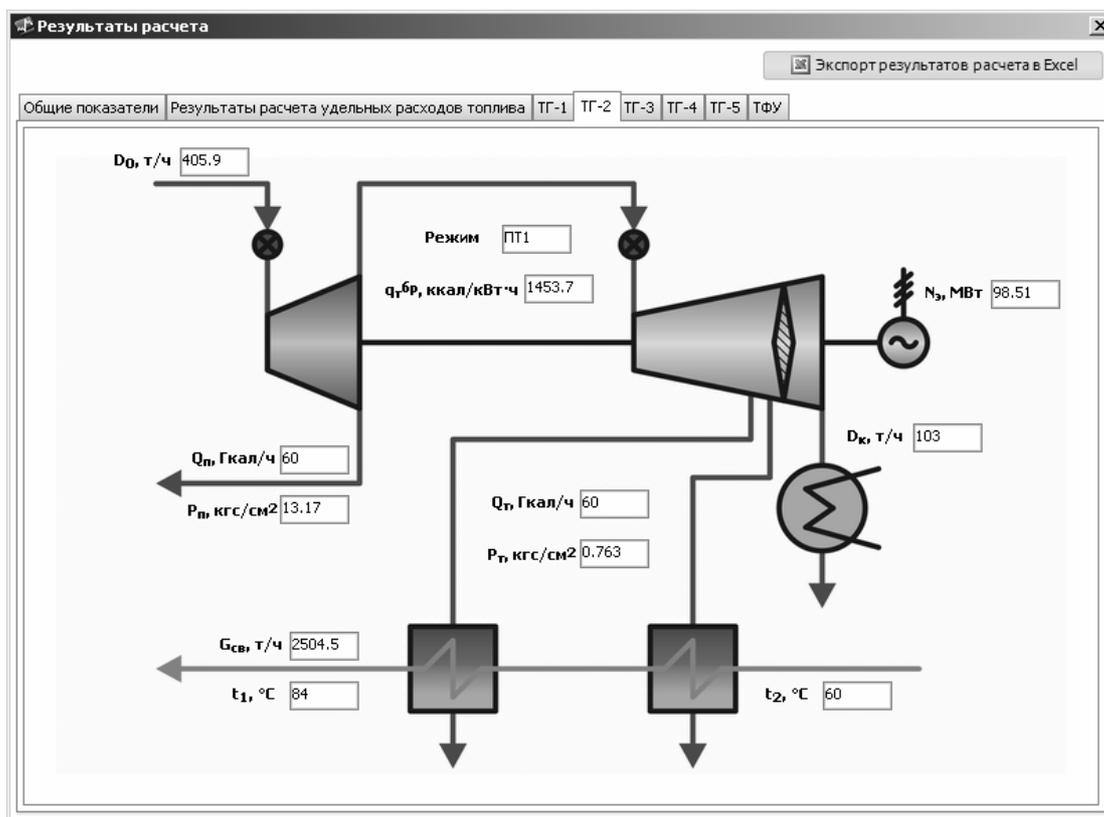


Рис. 4. Мнемосхема с результатами расчета по одному из турбоагрегатов

Все результаты могут быть экспортированы в приложение Microsoft Office – Microsoft Excel. Файлы Microsoft Excel составляют основу отчета о выполнении лабораторной работы.

Программный комплекс устойчиво работает под управлением операционной системы Windows 2000/XP при использовании ПЭВМ с процессором не ниже Pentium 3 и частотой не менее 800 МГц, оперативной памятью не менее 512 Мб.

Рассмотренный УЛК внедрен в учебный процесс кафедры тепловых электростанций в 2009 г. УЛК обеспечивает повышение эффективности изучения студентами одного из наиболее сложных разделов курса «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях» – «Оптимизация режимов работы теплоэнергетического оборудования». Познакомившись предварительно с теоретическими основами и методами оптимизации, пользователь получает возможность на конкретных примерах оценить влияние тех или иных режимных параметров на экономичность работы оборудования электростанции и потенциал экономии топлива, связанный со структурной и режимной оптимизацией сложных теплоэнергетических систем. Важным преимуществом реализованных в программном комплексе алгоритмов является возможность проведения оптимизационного расчета режима работы теплообменно-

го оборудования, участвующего в отпуске тепловой энергии с горячей водой.

УЛК может быть полезен при повышении квалификации оперативного и инженерного персонала, занятого эксплуатацией теплоэнергетического оборудования электростанций, планированием режимов его работы, включая составление ценовых заявок для НОРЭМ.

Список литературы

1. **Оптимизация** режимов работы ТЭС / Г.В. Ледуховский, А.А. Борисов, А.А. Поспелов и др. // Вестник ИГЭУ. – 2005. – Вып. 4. – С. 170.
2. **Программный комплекс «ТЭС-Эксперт»:** опыт оптимизации режимов работы оборудования ТЭЦ / Е.В. Барочкин, А.А. Поспелов, В.П. Жуков и др. // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 4. – С. 3–6.
3. **Повышение** эффективности работы ТЭЦ при использовании байпасирования и рециркуляции сетевой воды в теплофикационных установках турбин / Г.В. Ледуховский, А.А. Поспелов, М.Ю. Зорин и др. / Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 2. – С. 21–26.
4. **РД 34.08.552-95.** Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования: ввод. в действие с 01.02.96, с изм. № 1 от 15.05.98 г.
5. **РД 153-34.0-09.115-98.** Методические указания по прогнозированию удельных расходов топлива. – М.: АО «Фирма ОРГРЭС», Департамент электрических станций РАО «ЕЭС России», 1999.
6. **РД.34.09.110.** Руководящие указания по ведению месячного пароводяного баланса на тепловых электростанциях. – М.: Госэнергоиздат, 1962.

Борисов Антон Александрович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры прикладной математики,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. А, ауд. 208,

Ледуховский Григорий Васильевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
телефон 8-910-698-99-90,
е-mail: lgv83@yandex.ru

Поспелов Анатолий Алексеевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. А, ауд. 408,
е-mail: admin@tes.ispu.ru