

УДК 621.311

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ПАРОТУРБИННЫХ, ПАРОГАЗОВЫХ И ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А.В. МОШКАРИН, д-р техн. наук, Б.Л. ШЕЛЫГИН, Г.И. ДОВЕРМАН, Е.В. ЗАХАРЕНКОВ, кандидаты техн. наук,
Т.А. ЖАМЛИХАНОВ, Е.С. МАЛКОВ, аспиранты

Приводится анализ возможностей современных программных комплексов по расчету и проектированию технологических схем и теплоэнергетического оборудования паротурбинных, парогазовых и испарительных установок.

Ключевые слова: технологические схемы, паротурбинные, парогазовые, испарительные установки, проектирование, расчет, программные комплексы.

INNOVATIONS IN THERMAL DIAGRAMS DESIGNING OF STEAM TURBINE UNITS, STEAM GAS PLANTS AND EVAPORATOR INSTALLATIONS

A.V. MOSHKARIN, Doctor of Engineering, B.L. SHELYGIN, G.I. DOVERMAN, E.V. ZAKHARENKOV, Candidates of Engineering,
T.A. ZHAMLIKHANOV, E.S. MALKOV, Post Graduate Students

The authors carry out the analysis of the modern bundled software on calculating and designing manufacturing schemes and heat engineering equipment of steam turbine units, steam gas plants and evaporator installations.

Key words: manufacturing schemes, steam turbine units, steam gas plants, evaporator installations, designing, calculation, bundled software.

Создание программных комплексов по проектированию тепломеханической части ТЭС имеет своей целью получение проектного решения по исходным условиям (данным) для нового или модернизируемого объекта (заданной единичной мощности, климатическим, режимным, региональным и др.). Наиболее полное техническое представление об объекте требуется как на уровне тендерного проекта, так и на первом этапе рабочего проектирования, когда ведется разработка технологических схем, выбор вспомогательного оборудования, арматуры и т.д. [1].

Структура программных комплексов ориентирована на два вида проектных задач:

1) типовые, построенные на логике сочетания известных проектных решений;

2) новые, научно и технически обоснованные проектные решения, получаемые из набора типовых элементов (подогревателей, отсеков паровых и газовых турбин, насосов, конденсаторов, котлоагрегатов и его отдельных поверхностей нагрева, компрессоров), а также связей между элементами в виде трубопроводов теплоносителей (воды, пара, газа, воздуха).

Реализация первого вида задач проводится на основе апробированной математической модели объекта проектирования или моделей укрупненных его частей путем соединения их последовательностью командных меню, построенных по универсальному алгоритму выполнения этапов проектирования (рис. 1, 2).

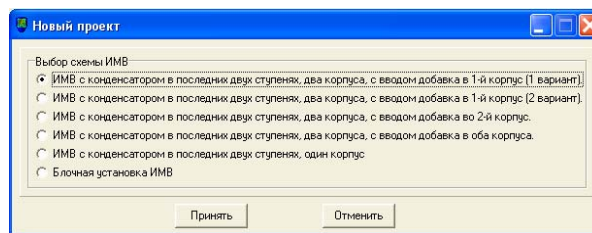
Реализация второго вида задач выполняется на основе математических моделей базовых элементов, значения выходных параметров

которых являются входными для того элемента, к которому идет присоединение, осуществляемое по команде пользователя или путем графической интерпретации связи на экране монитора (рис. 3, 4, 5).

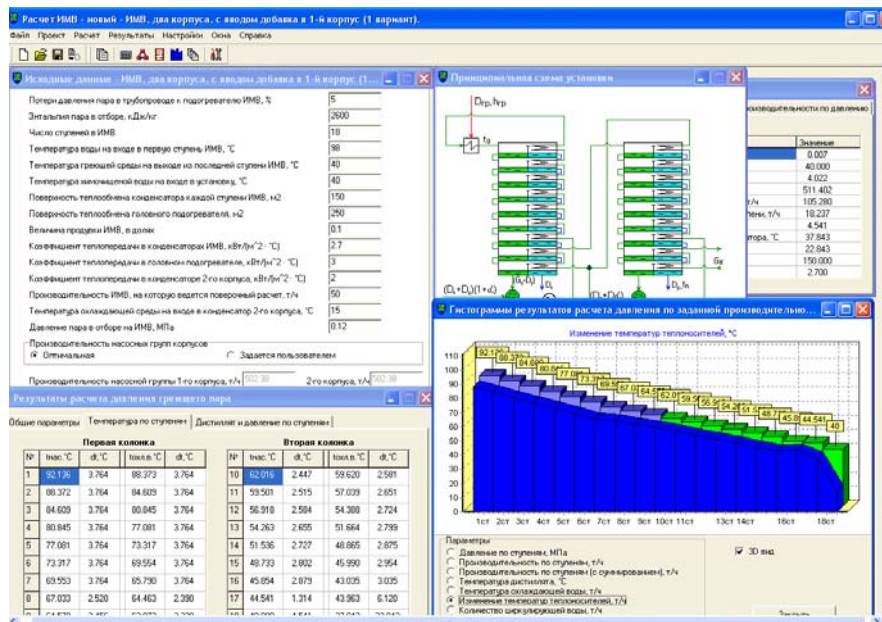
В том и другом случаях создание технологических схем объекта реализуется с помощью компьютерной графики. В первом случае графика носит иллюстрирующий характер, обеспечивает визуальную проверку правильности принятого технологического решения и контроль ввода данных (рис. 1, 2, 4, 5).

Во втором случае графика носит «командный» характер по последовательности связей элементов объекта в технологическую цепочку, которая реализуется пользователем с помощью «мыши», определяя тем самым алгоритм расчета. Такие программные комплексы, дополненные соответствующими компонентами, следует рассматривать как САПР технологических схем ТЭС, АЭС, ПГУ.

К программным комплексам и САПР тепловых схем ТЭС, АЭС, ПГУ, ГТУ, нашедшим применение в проектных институтах и технических университетах теплоэнергетического профиля, относятся отечественные и зарубежные разработки, такие как OMEGA, ver. 3.1 (ИГЭУ, Россия) [2], UNITED CYCLE (С-Пб. ГТУ, Россия), BOILER DESIGNER («ОПТСИМ-М» [3], Россия-Германия), Thermoflow (США), «Моделирование и расчет автономных многоступенчатых испарительных установок», «Моделирование испарительных установок мгновенного вскипания башенного типа» [4].

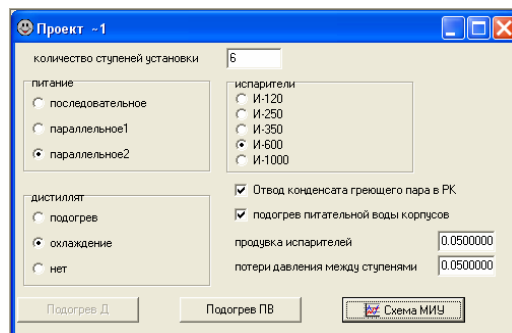


а)

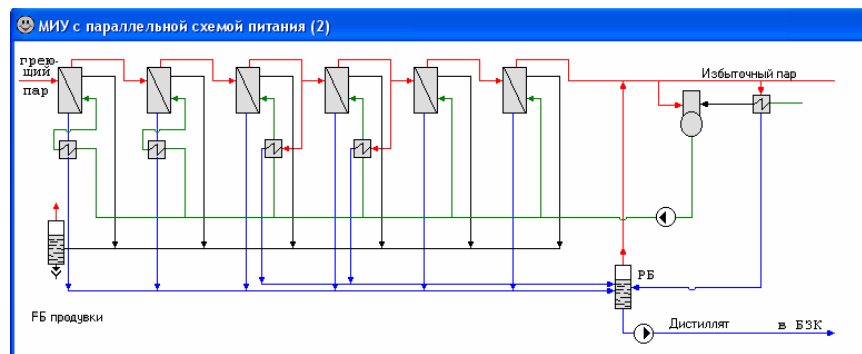


б)

Рис. 1. Экранная форма командного меню в программе «Моделирование и расчет испарительных установок мгновенного вскипания башенного типа» (а) и формы ввода исходных данных, вывода результатов расчета, графические представления расчетной схемы и результатов расчета (б)



а)



б)

Рис. 2. Экранная форма командного меню расчета тепловых схем автономных многоступенчатых испарительных установок ТЭС в программе «САПР МИУ» (а) и графическое представление расчетной тепловой схемы (б)

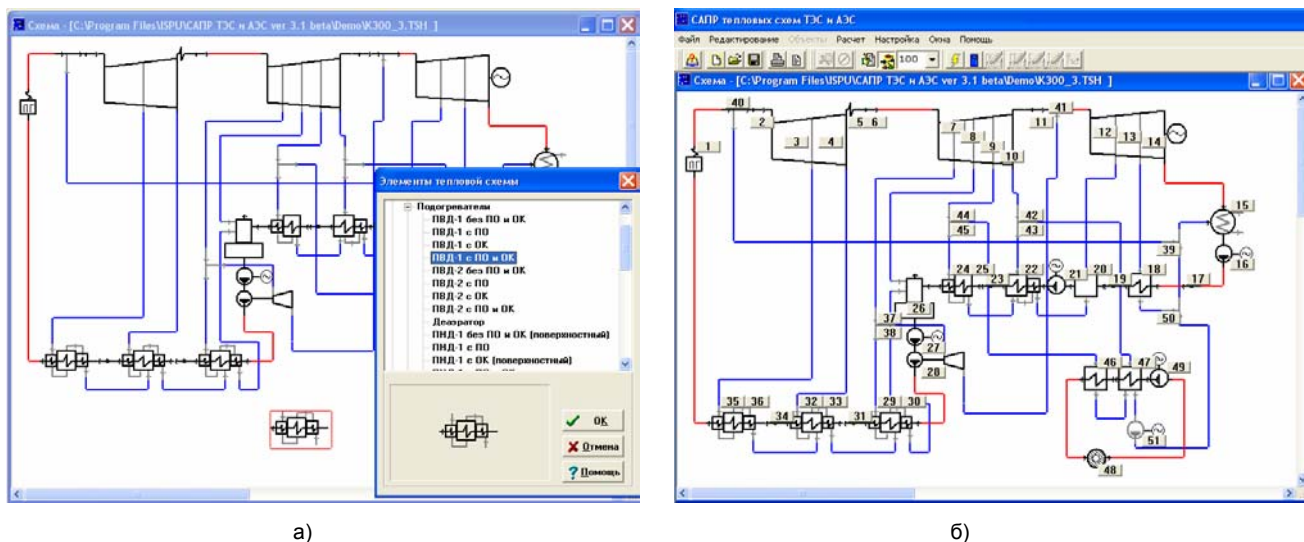


Рис. 3. Графическая реализация расчетной тепловой схемы блока мощностью 300 МВт в программе OMEGA: а – пример выноса графического изображения подогревателя с пароохладителем и охладителем дренажа из банка графических образов на поле монитора; б – вид расчетной схемы с кодированием расчетных узлов (элементов)

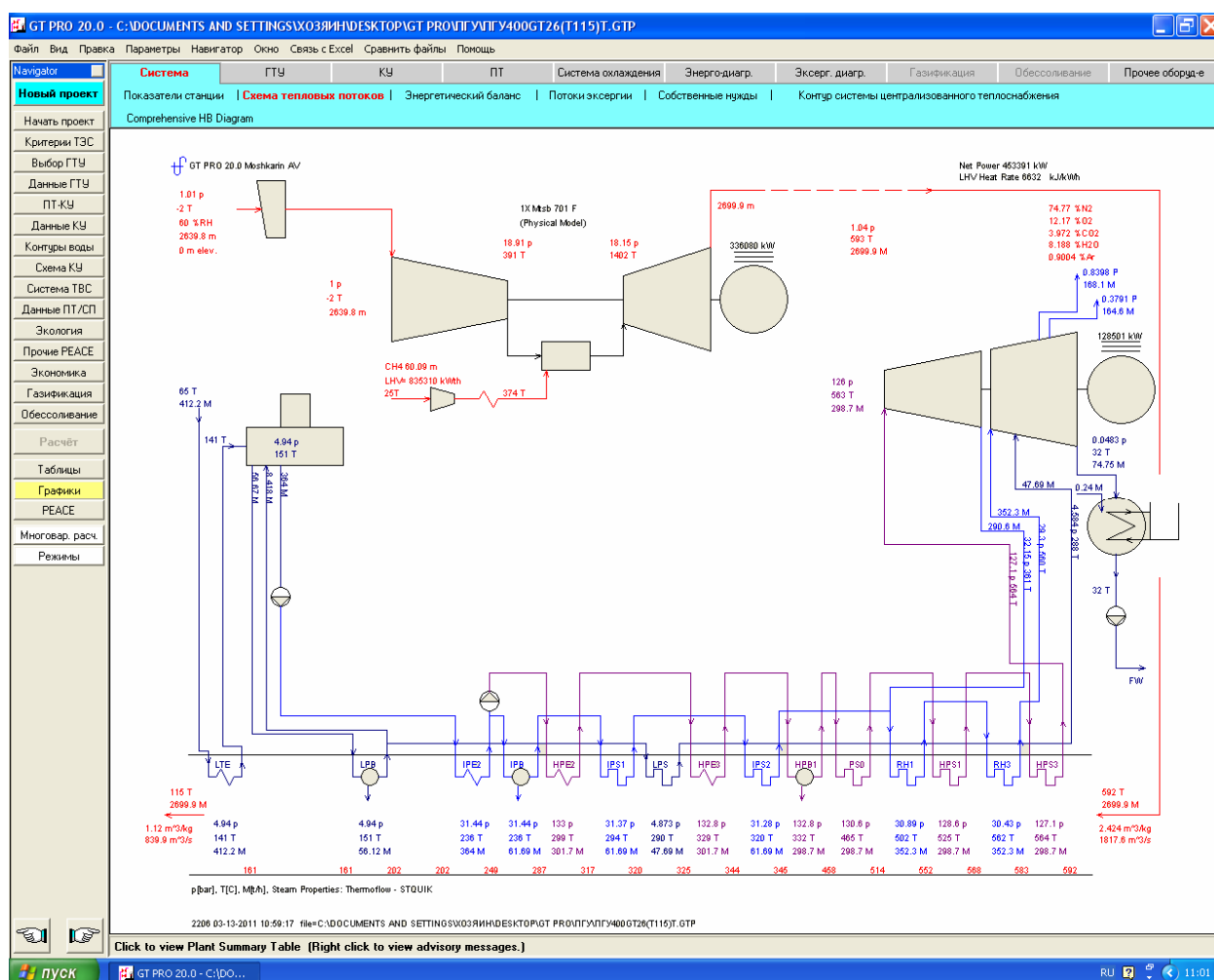


Рис. 4. Графическое представление на мониторе расчетной тепловой схемы блока ПГУ-410 (GT-26 и T-115) с результатами расчета в теплофикационном режиме работы в программе GT PRO

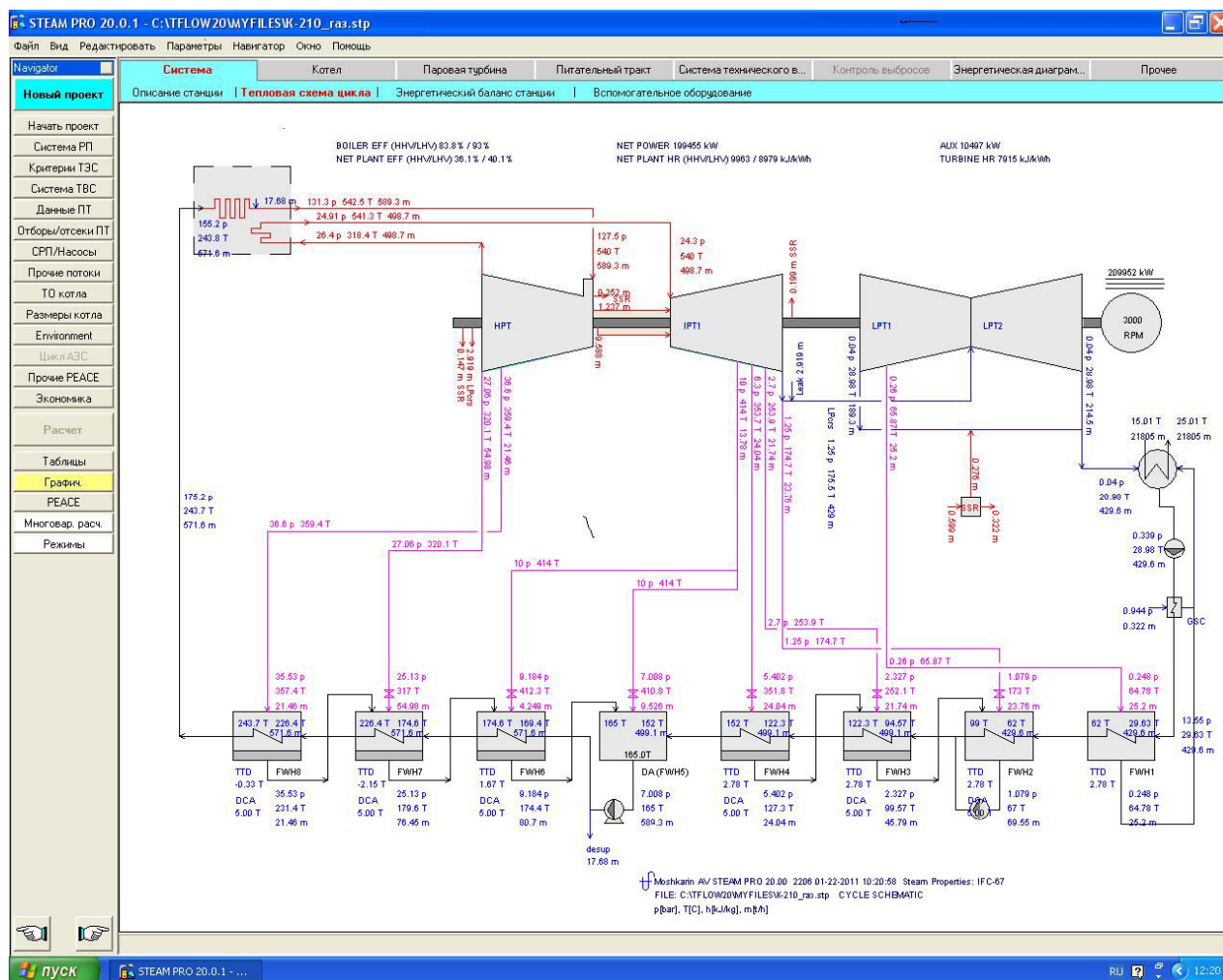


Рис. 5. Графическое представление на мониторе расчетной тепловой схемы паротурбинного блока мощностью 200 МВт с результатами расчета в программе STEAM PRO

Перечисленные САПР различаются возможностями выполнения конструкторского и поверочного расчетов. При конструкторском расчете вычисления ведутся по заданным значениям температурных напоров в оборудовании, которые принимаются по нормируемым или рекомендуемым величинам. Поверочные расчеты проводятся при известных величинах поверхностей теплообмена основного и вспомогательного оборудования (котлов, подогревателей, конденсаторов и т.д.).

Ряд САПР выполняют функции только конструкторского расчета и служат для определения технических показателей в номинальном режиме работы блока. Оценка показателей переменного режима работы в таких САПР считается весьма приближенной, так как значения недогрева воды и температурных напоров, а также КПД проточных частей в зависимости от нагрузок в этом случае необходимо задавать, что может сделать только опытный технолог, и то, с определенной степенью погрешности. К таким САПР относятся OMEGA, UNITED CYCLE и ряд программ, входящих в состав Thermoflow (GT PRO, STEAM PRO).

Достоинством двух последних САПР является простота получения типового решения и быстрое освоение навыков работы с программой на основе командных меню.

Достоинством отечественных программ OMEGA, UNITED CYCLE является наличие банка данных готовых технологических схем отечественных блоков, а также возможность внесения структурных изменений в технологическую схему (изменение связей между элементами, замена типов элементов и т.д.) для сравнительной оценки показателей альтернативных вариантов.

В Thermoflow, в отличие от OMEGA, UNITED CYCLE, предусмотрена возможность передачи полученных результатов конструкторского расчета с найденными значениями поверхностей теплообмена, характеристиками основного и вспомогательного оборудования из GT PRO, STEAM PRO в специальные программы GT MASTER и STEAM MASTER, обеспечивающие поверочные расчеты, в которых значения поверхностей теплообмена и характеристики оборудования зафиксированы и используются в качестве исходных данных. Эта возможность позволяет в переменных режимах работы оборудования рассчитывать значения темпера-

турных напоров и недогрева и получать более точные результаты показателей работы оборудования в целом. Аналогичные возможности имеет САПР BOILER DESIGNER, в которой предварительно полностью определяется конструкция котла и только затем проводятся расчеты переменных режимов блока в целом при условии присоединения к котлу модели паротурбинной установки [3].

Представление результатов расчета (значений мощности, расходов теплоносителей, термодинамических параметров и др.) в различных САПР может выполняться либо в табличном виде в соответствии с нумерацией элемен-

тов схемы (рис. 6, 7), либо в виде боксов со значениями параметров и расходов теплоносителей в характерных точках технологической схемы (рис. 4, 5), заданных пользователем на тепловой схеме, отображаемой на экране дисплея. Такие возможности обеспечивают высокую наглядность при оперативном сравнении альтернативных вариантов схем и режимов работы блока. Вывод значений расходов и параметров теплоносителей в характерных точках графического отображения схемы применен в САПР UNITED CYCLE и Thermoflow (GT PRO, STEAM PRO GT MASTER, STEAM MASTER, Thermoflex), что является несомненным их достоинством.

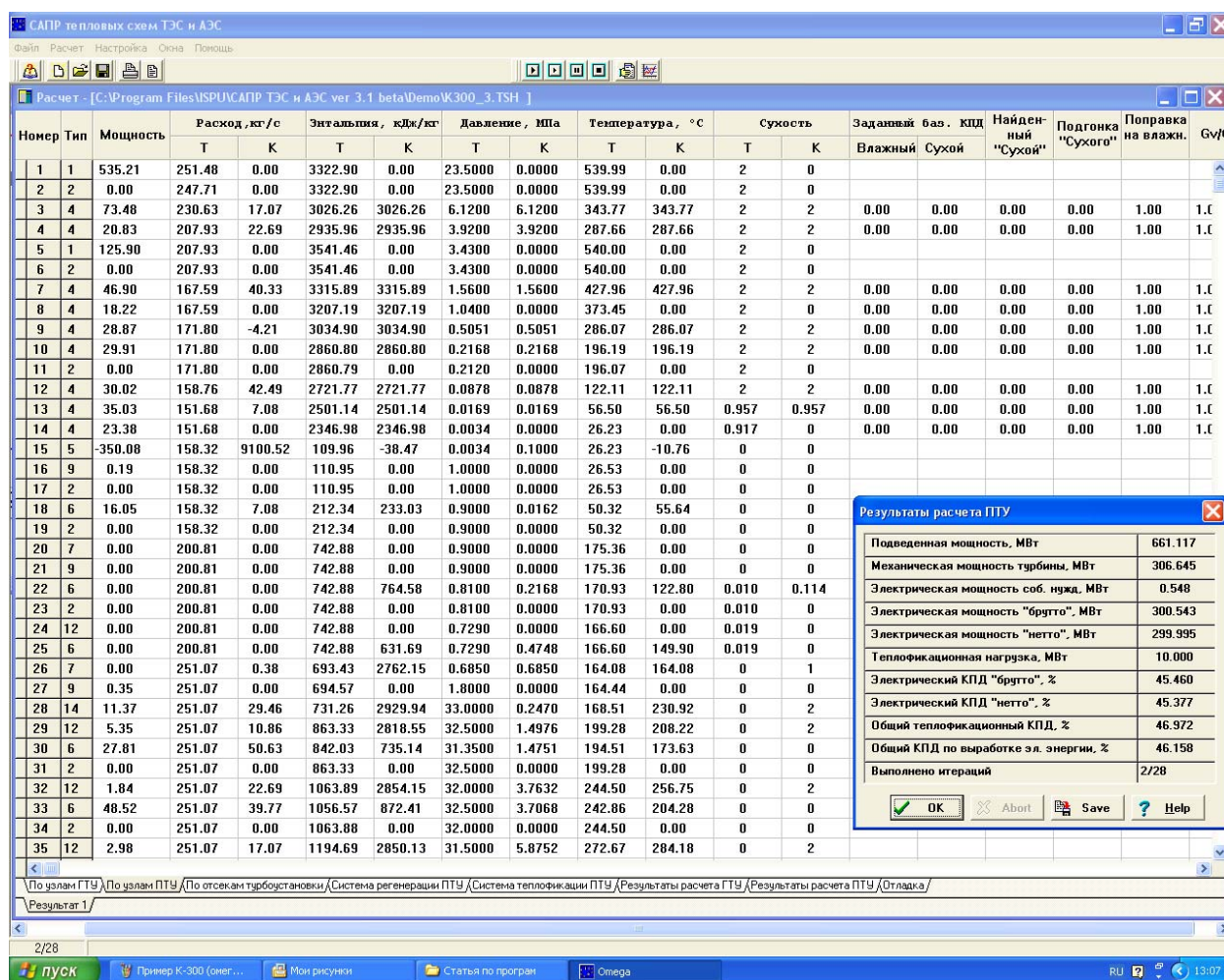


Рис. 6. Табличный вывод результатов расчета в соответствии с кодом узла (элемента) схемы в программе OMEGA

PEACE/GT PRO 20.0.1 - Project Output [C:\Documents and Settings\Хозяин\Desktop\GT PRO\ГТУ\ГТУ400F\$(T115)ТКраснодарская ТЭУ.gpr]

Файл Редактировать Вид Ценовые коэффициенты Помощь

Предварительная проработка Финансовая часть Тепловой баланс

Схемы Спецификация Кап. затраты Денежный поток Графики Текст

Стоимость проекта Основное оборудование Прочее оборудование Инфраструктура

Прочие и непредвиденные затраты Система газификации Система обессоливания CO2 Capture Plant

Строительно-монтажные работы Электротехническое оборудование Здания и сооружения Проектирование и пусконаладочные работы

	Материал	Рабочее время	Ставка заработной платы	Стоимость агрегата	Количество	Базовая стоимость	Расчетная стоимость
IV Строительно-монтажные работы						29 734 000	33 218 000
1. Транспортировка на площадку & Монтаж	2 680 000					2 680 000	3 082 000
2. Установка оборудования	1 283 000	209 950	40			9 678 000	11 840 000
Комплект ГТУ	150 500	26 260	40	1 201 000	1	1 201 000	1 471 000
Комплект поставки ПТ	131 750	22 980	40	1 051 000	1	1 051 000	1 287 000
КУ	614 200	107 150	40	4 899 000	1	4 899 000	6 001 000
Конденсатор	8 400	1 470	40	67 000	1	67 000	82 100
Грелерия							
Система подготовки подпиточной воды							
Дополнительный котел							
Электротехническое оборудование	132 400	23 090	40			1 056 000	1 294 000
Система охлаждения на входе ГТУ							
Дожигательный топливный компрессор	7 880	1 100	40	51 850	2	103 700	126 500
Насосы	12 380	2 160	40			98 750	120 950
Tanks + Auxiliary Heat Exchangers	48 620	8 480	40			387 850	475 050
Сетевой подогреватель (и)	2 070	361	40			16 530	20 250
Станционные/агрегатные воздушные компрессора	1 520	265	40			12 100	14 820
Мостовой кран (и)	4 760	830	40			37 950	46 490
Генераторная установка (и) поршневого двигателя							
Прочие	160 850	14 640	40			746 500	901 000
3. Трубопроводы	10 104 000	126 500	40	549	8 420	15 165 000	16 935 000
Пар высокого давления	719 800	11 870	40	8 160	146 m	1 195 000	1 349 000
Пар холодного ПП	126 750	3 630	40	1 680	162 m	272 050	314 750
Пар горячего ПП	444 500	8 110	40	4 950	155 m	768 900	872 200
Пар среднего давления							
Пар низкого давления	95 000	3 270	40	1 300	173 m	225 950	263 400
Пар стороннего источника	4 557 000	22 580	40	63 950	78.03 m	5 460 000	5 913 000
Циркуляционная вода	222 600	2 700	40	543	610 m	330 750	368 900
Вспомогательная ОВ	301 200	12 460	40	489	1 640 m	799 800	939 500
Питательная вода	312 350	7 980	40	1 270	497 m	631 700	727 200
Другая вода	906 600	11 870	40	8 070	171 m	1 382 000	1 546 000
Система Охлаждения/Подогрева на входе в ГТУ							
Сырая вода	61 050	3 300	40	406	476 m	193 000	229 050
Техническая вода	122 550	5 860	40	348	1 030 m	357 050	421 800
Сточные воды							другое
Отборы пара/воды							другое
Вода для коммунально-бытового водоснабжения							другое
Клапана							
Газообразное топливо	596 600	10 280	40	1 850	544 m	1 008 000	1 141 000
Жидкое топливо							
Смазочное масло	223 050	4 460	40	3 280	123 m	401 350	457 050
Сжатый воздух							
Отбор воздуха ГТУ							
Технологический воздух	20 500	2 470	40	155	770 m	119 150	144 850
Воздух под давлением	32 570	813	40	2 350	27.74 m	65 100	74 850
Регулирующий потенциометр							другое

Примечание: Из-за округления итоги могут быть не совпадены. Currency conversion: 1 USD per US Dollar

Рис. 7. Табличный вывод результатов технико-экономических расчетов ПГУ-410 в программе PEACE

Thermoflow имеет в своем составе программу PEACE, обеспечивающую проведение технико-экономических расчетов по блоку в целом и по отдельным видам оборудования. Этими возможностями не обладает ни одна из других программ.

Использование программных комплексов в научных исследованиях в последние годы позволило расширить области поиска оптимальных параметров и эффективных тепловых схем паротурбинных блоков на суперсверхкритические параметры и схемы испарительных установок ТЭС, выполнить оценку эффективности режимов работы реальных ПГУ [2, 4].

Приобретение указанных САПР рядом отечественных фирм и проектных организаций, энергомашиностроительными заводами требует внедрения в учебный процесс этих программных комплексов и от технических университетов энергетического профиля. К сожалению, энергетическая отрасль не спешит оснащать вузы такими дорогостоящими САПР, что, на наш взгляд, является серьезной ошибкой, сдерживающей инновационные процессы в энергетике.

Обучение российских студентов работе с отмеченными САПР ведется в двух энергетических университетах страны: Московском и Ивановском. Выпускники, получившие навыки работы с программными продуктами, уже сегодня приглашаются в фирмы и проектные институты, которые ведут свои разработки на основе перечисленных и аналогичных САПР.

Список литературы

1. **Технология** проектирования ТЭС и методы ее компьютеризации / Н.Б. Ильичев и др.; под ред. А.В. Мошкарин, В.Н. Нуждина. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 234 с.
2. **Мошкарин А.В., Мельников Ю.В.** Анализ тепловых схем ТЭС / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 460 с.
3. **Расчет** котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов: учеб. пособие / Г.И. Доверман, Б.Л. Шелыгин, А.В. Мошкарин, Ю.В. Мельников. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2007. – 220 с.
4. **Мошкарин А.В., Мошкарин А.А.** Анализ схем испарительных установок ТЭС / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново. – 272 с.

Мошкарин Андрей Васильевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. В, ауд. 419,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Шелыгин Борис Леонидович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Жамлиханов Тимур Абдульверович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Малков Евгений Сергеевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Доверман Григорий Иосифович,
ООО «Оптсим –К», г. Москва,
кандидат технических наук, генеральный директор,
телефон (495)386-80-29,
e-mail: optsim@comtv.ru

Захаренков Евгений Владимирович,
«Thermoflow», г. Москва,
кандидат технических наук, маркетинговый представитель,
e-mail: Zakharenkov@thermoflow.ru