

# ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ И РАСЧЕТУ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТЭС, БЛОЧНЫХ И АВТОНОМНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

МОШКАРИН А.В., д-р. техн. наук, СЕМАШКО В.А., канд. техн. наук, ПОЛЕЖАЕВ Е.В., инж.,  
МОШКАРИН А.А., ПОЛЕЖАЕВ А.А., АЛЕКСЕЕВ Д.В., аспиранты

Показаны возможности программных комплексов по моделированию и расчету тепловых схем паротурбинных и испарительных установок различного типа. Изложен круг задач, которые могут быть решены с помощью этих программных продуктов.

За последние семь лет на кафедре ТЭС ИГЭУ создан ряд современных программных комплексов, обеспечивающих проведение начальных этапов проектирования ТЭС, на основе моделирования и расчета тепловых схем паротурбинных установок, блочных и автономных испарительных установок [1, 2, 3, 4]. Работа проводилась в рамках научно-технической программы «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» по подпрограмме «Топливо и энергетика» (код проекта 206.01.01.035).

Целью разработки программных комплексов (ПК) являлось создание удобных и быстро осваиваемых инженерами-технологами современных программ для ЭВМ, обеспечивающих моделирование тепловых схем паротурбинных и испарительных установок, расчет их на различные условия работы с определением не только основных показателей, но и параметров и расходов теплоносителей по оборудованию, входящему в состав установок, графическую обработку полученных результатов для проведения сравнительной оценки альтернативных вариантов, а также предварительный выбор оборудования и диаметров трубопроводов с помощью СУБД.

Программный комплекс «Моделирование и расчет тепловых схем ТЭС и АЭС» [1] (рис. 1) позволяет проводить расчеты при различных исходных условиях: заданной электрической мощности блока, тепловой мощности котельного агрегата или заданному расходу острого пара.

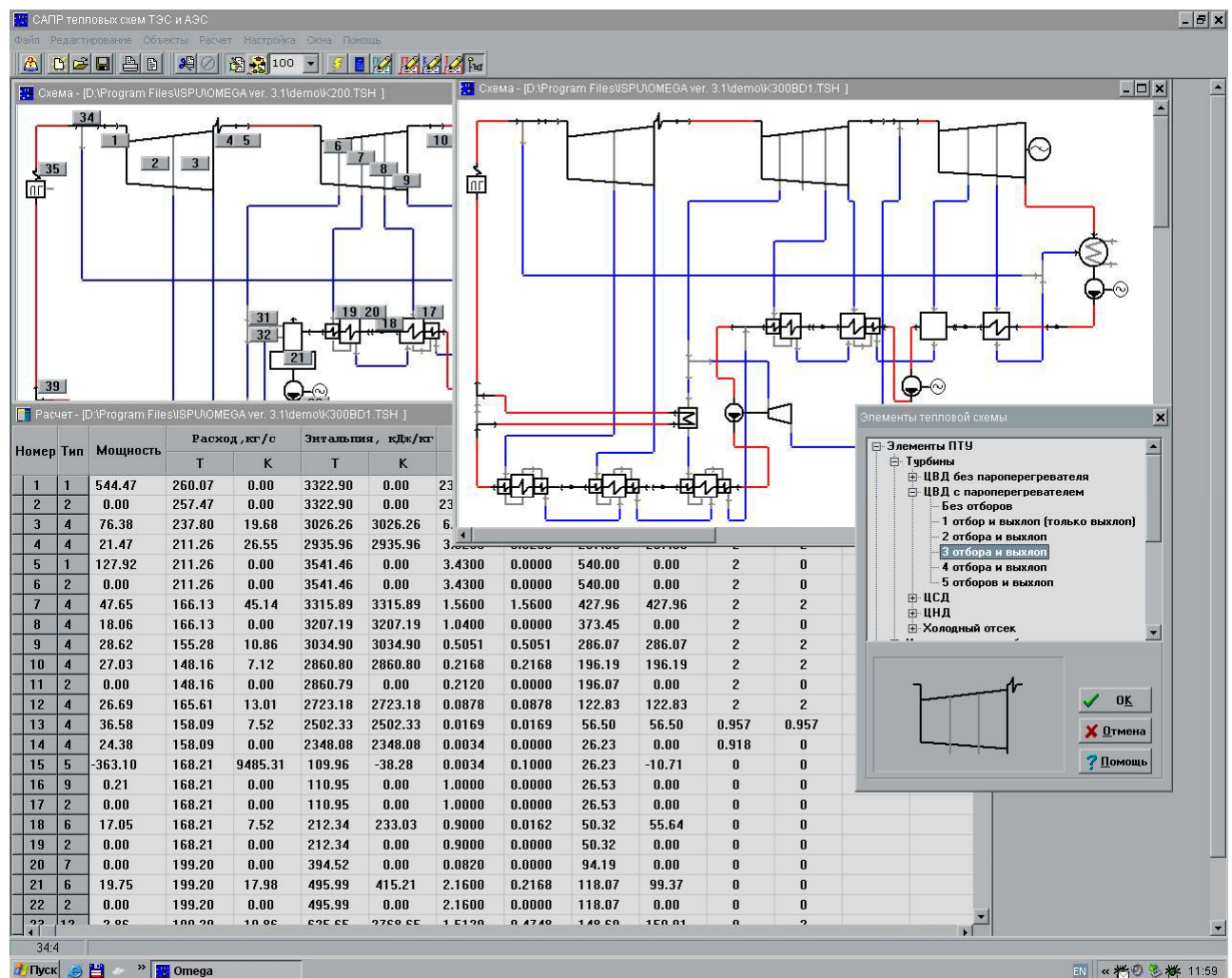


Рис. 1. Экранные формы программного комплекса «Моделирование и расчет тепловых схем ТЭС и АЭС»

Точность и эффективность алгоритма расчета и термодинамических функций, заложенных в рассматриваемом ПК, подтверждаются высокой схожимостью результатов, полученных на его основе, с результатами, выполненными зарубежными фирмами «Сименс» (Германия) и «Альстом» (Франция) по своим программным разработкам и представленными в документации для участия в тендерных торгах по проведению модернизации ЦВД турбин К-300-23,5 ЛМЗ [5].

На основе рассматриваемого ПК выполнены экспертные оценки по выбору типа питательных насосов для замены отработавших свой ресурс насосов для блоков мощностью 300 и 1200 МВт ОАО «Костромская ГРЭС», а также обширные численные исследования по выбору оптимальных параметров и рациональных схем ПТУ для пылеугольных блоков на суперсверхкритические давления пара 30 и 40 МПа, которые наиболее перспективны для районов Сибири [6, 7]. Подтверждено влияние вынесенных пароохладителей на распределение оптимального подогрева питательной воды. Показано, что подогрев воды в подогревателях с вынесенными пароохладителями должен быть увеличен в 1,4 раза. Этот факт доказывает смещение индифферентных точек в циклах ПТУ с одним и двумя промежуточными пароперегревателями в сторону более высоких давлений в схемах с пароохладителями, включенными по схеме Рикара и Виолен, что ранее уже отмечалось в работах В.Я. Рыжкина [8] и М.И. Щепетильникова [9].

Программный комплекс нашел внедрение на ряде предприятий РАО «ЕЭС России» и Росэнергоатом и используется для оценки эффективности изменений, вносимых в тепловые схемы действующих ТЭС.

**Программный комплекс «САПР многоступенчатых испарительных установок»** [2] (рис. 2) включает типовые проектные процедуры структурного и параметрического синтеза.

При выполнении первой процедуры создается или уточняется схема питания МИУ, число ступеней испарения, типоразмеры испарителей, типы и число подогревателей питательной воды, дистиллята, место их включения. Процедура параметрического синтеза обеспечивает поиск параметров греющего пара для обеспечения заданной производительности установки. По результатам проектирования (расчета) выполняются автоматизированный поиск диаметров основных трубопроводов и подготовка проектной документации.

На основе рассматриваемого ПК выполнена оценка экономичности различных схем МИУ, исследовано влияние на показатели МИУ водоводяных и пароводяных регенеративных подогревателей (рис. 3) и их сочетаний, построены диаграммы режимов работы установок [10, 11]. Результаты расчетов на ЭВМ использованы для анализа тепловой эффективности схем включения МИУ в схемы ТЭЦ, КЭС, ПГУ [11, 12], а также определения топливной составляющей стоимости дистиллята.

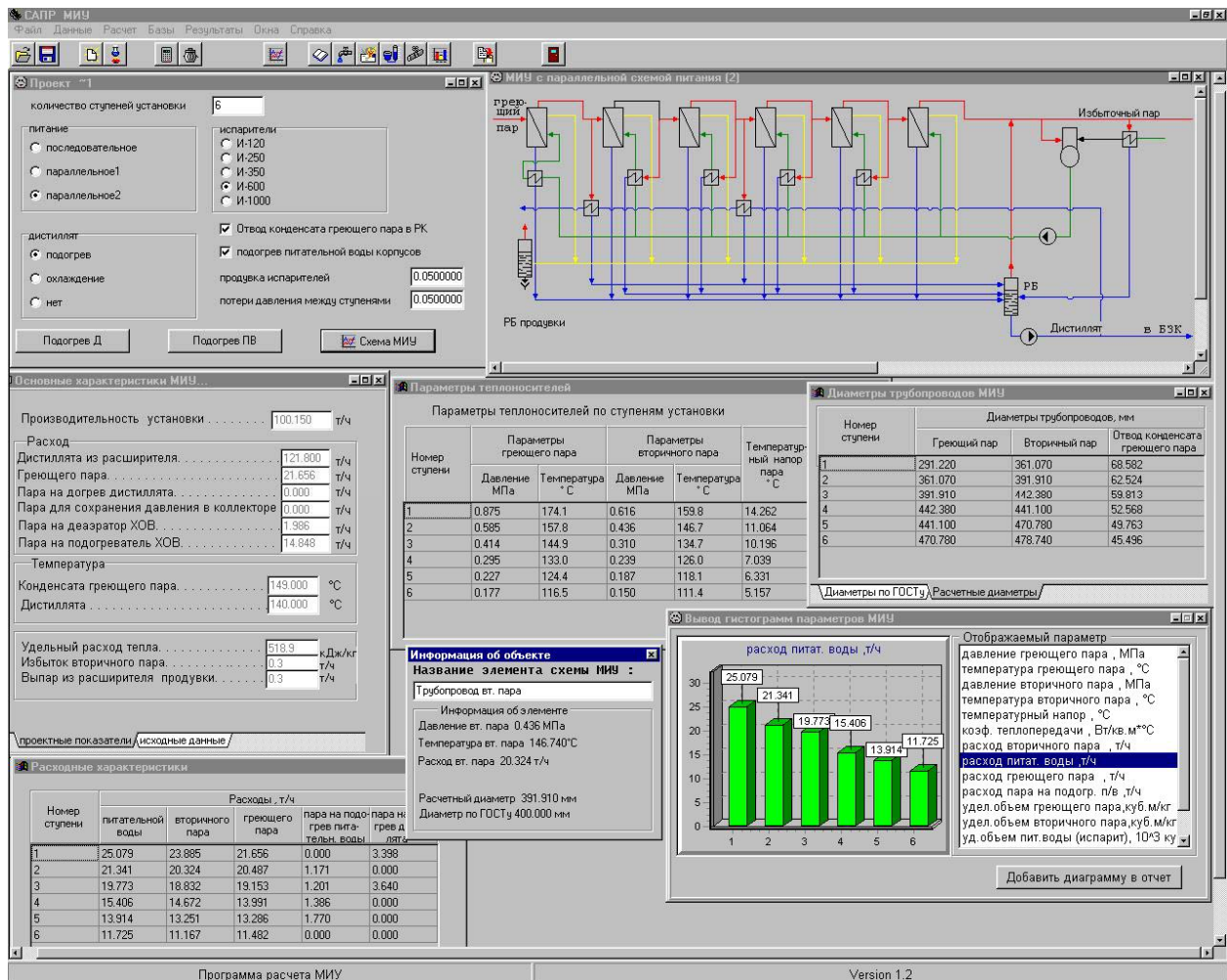


Рис.2. Экранные формы программного комплекса «САПР общестанционных многоступенчатых испарительных установок»

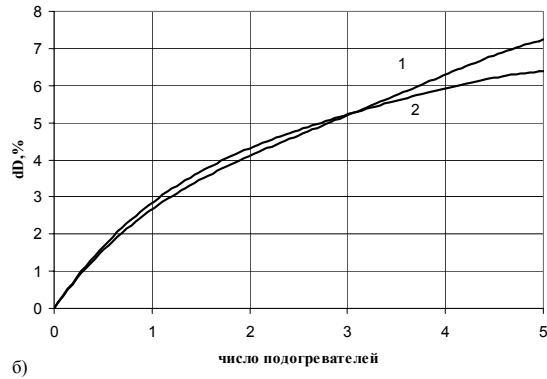
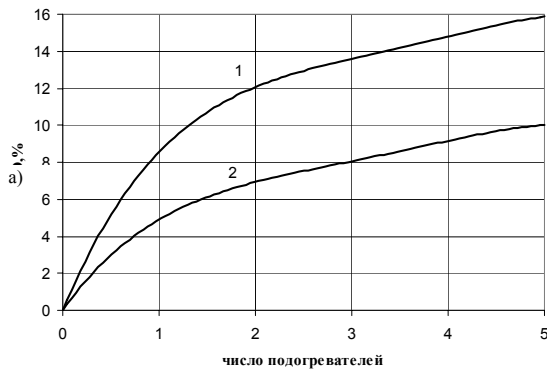


Рис.3. Зависимость изменения производительности шестиступенчатой МИУ от числа подогревателей для:  
 а) - последовательная схема питания ступеней;  
 б) - параллельной схема питания ступеней;  
 1-пароводяные подогреватели; 2- водоводяные подогреватели

**Программный комплекс «Моделирование и расчет блочных испарительных установок» [3]** решает задачи проектирования одноступенчатых и двухступенчатых испарительных установок, включаемых в систему регенеративного подогрева основного конденсата паротурбинных установок или систему подогрева сетевой воды теплофикационных турбин (рис. 4).

Алгоритм расчета БИУ, по сравнению с алгоритмом, приведенным в [13], претерпел ряд уточнений. Программный комплекс использован для исследований режимов работы различных БИУ для блоков 200, 300 и 800 МВт.

**Вывод результатов расчета**

Производительность ИУ, т/ч	76.800
Производительность первой ступени ИУ, т/ч	38.473
Производительность второй ступени ИУ, т/ч	38.327
Температурный напор в первой ступени ИУ, °C	8.952
Температурный напор во второй ступени ИУ, °C	9.254
Температура вт. пара в первой ступени ИУ, °C	145.880
Температура вт. пара во второй ступени ИУ, °C	136.620
Козф. теплопередачи в первой ступени ИУ, Вт/кв.м°C	2441.000
Козф. теплопередачи во второй ступени ИУ, Вт/кв.м°C	2484.500
Температура осн. конденсата на входе в КИ, °C	125.780
Недогрев основного конденсата в КИ, °C	0.465
Температура осн. конденсата на выходе из КИ, °C	136.160
Расход греющего пара на ИУ, т/ч	33.517
Температура конденсата греющего пара ИУ, °C	154.830
Энтальпия конденсата греющего пара, кДж/кг	155.950
Расход продувочной воды в И2, т/ч	1.536
Расход питательной воды в И1, т/ч	78.336
Расход питательной воды в И2, т/ч	39.863

Рис.4. Экранные формы программного комплекса «Моделирование и расчет блочных испарительных установок»

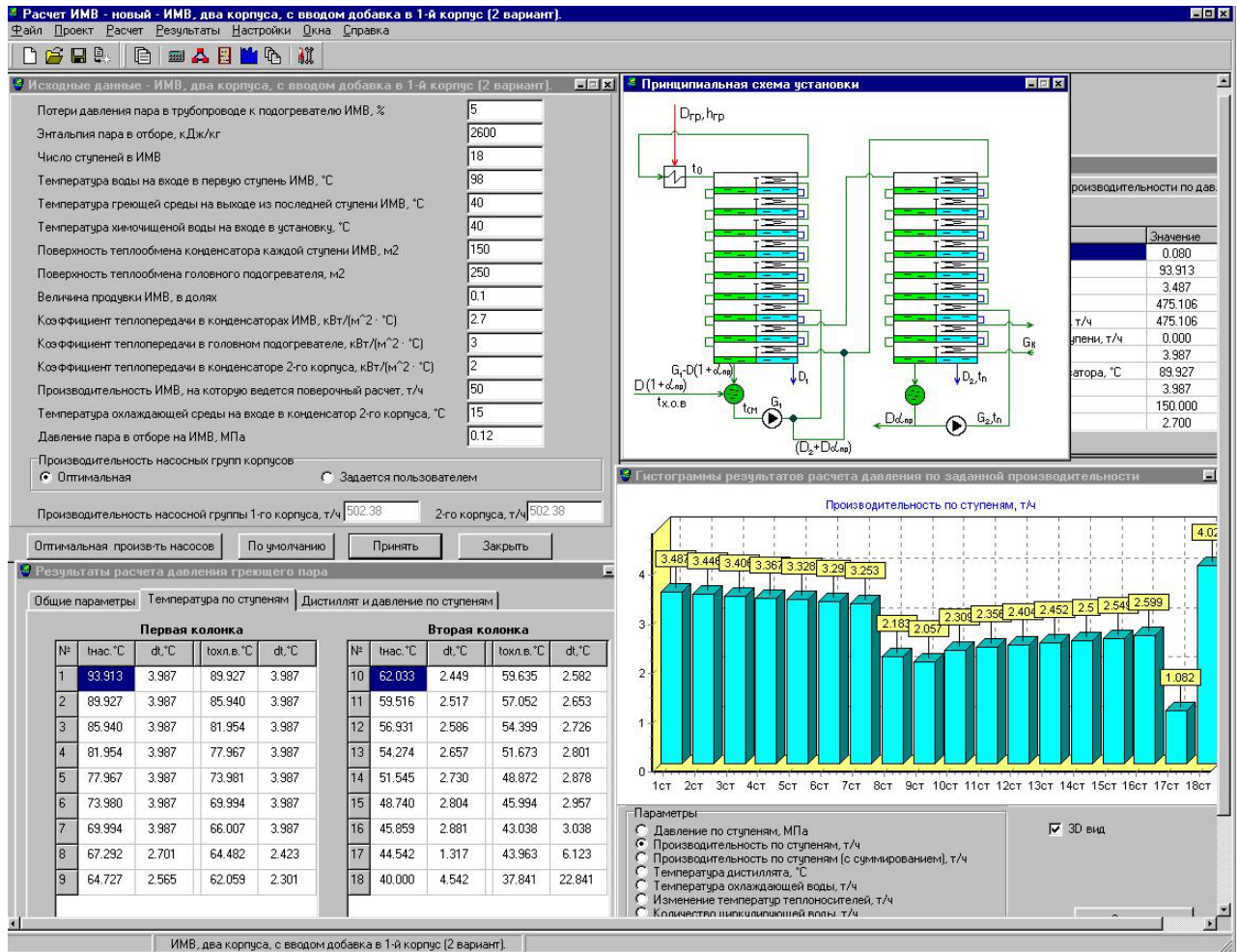


Рис.5. Экранные формы программного комплекса «Моделирование и расчет тепловых схем ТЭС и АЭС»

**Программный комплекс «Моделирование и расчет испарительных установок мгновенного вскипания башенного типа»** [4, 14] рассчитан на проектирование новых перспективных типов испарительных установок, которые начали применяться на отечественных ТЭС (рис. 5). ПК позволил провести исследования режимов работы ИУМВ, выявить влияние схем питания корпусов (прямоточная, параллельная, последовательная) на экономичность и разработать ряд рекомендаций по их проектированию [11, 12, 14, 15].

В настоящее время все описанные выше ПК внедрены в учебный процесс. Они используются при курсовом и дипломном проектировании студентами специальностей 140101 (тепловые электрические станции) и 140106 (технология воды и топлива).

#### Список литературы

1. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610332. Моделирование и расчет тепловых схем ТЭС и АЭС / А.В. Мошкарин, В.А. Семашко, Е.В. Полежаев. – 26.03.2001 г. – М.: Роспатент, 2001.
2. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610214. САПР многоступенчатых испарительных установок / А.В. Мошкарин, В.А. Семашко, Е.В. Полежаев. – 19.02.2001 г. – М.: Роспатент, 2001.
3. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610212. Моделирование и расчет схем блочных испарительных установок / А.В. Мошкарин, А.А. Мошкарин. – 19.02.2001 г. – М.: Роспатент, 2001.
4. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004612424. Программный комплекс по моделированию и расчету схем испарительных установок мгновенного вскипания башенного типа / А.В. Мошкарин, В.А. Семашко, А.А. Мошкарин, М.Д. Турков. – 27.10.2004 г. – М.: Роспатент, 2004.
5. **Мошкарин А.В., Таран О.Е., Полежаев Е.В.** Оценка эффективности модернизации паровых турбин К-300-23,5 ЛМЗ Костромской ГРЭС // Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 6. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – С. 14–20.
6. **Анализ направлений развития отечественной теплоэнергетики** / А.В. Мошкарин, М.А. Девочкин, Б.Л. Шельгин, В.С. Рабенко; Под ред. А.В. Мошкарина; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002. – 256 с.
7. **Алексеев Д.В., Мошкарин А.В.** Результаты оптимизации параметров и структур тепловых схем блоков на давление 40 Мпа // Вестник ИГЭУ. – 2004. – №2. – С.12–16.
8. **Рыжкин В.Я., Кузнецов А.М.** Анализ тепловых схем мощных конденсационных блоков. – М.: Энергия, 1972. – 272 с.
9. **Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И.** Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. – М.: Энергоиздат, 1982. – 272 с.

10. **Мошкарин А.А., Мошкарин А.В., Петин В.С.** Режимы работы и тепловая экономичность традиционных и комбинированных испарительных установок ТЭЦ // Вестник ИГЭУ. – 2003. – № 3. – С. 8–16.
11. **Мошкарин А.А., Мошкарин А.В., Петин В.С.** Оценка тепловой эффективности получения добавочной воды на основе автономных испарительных установок // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – № 1. – С. 9–15.
12. **Мошкарин А.А., Шувалов С.И., Мошкарин А.В.** Методика расчета топливных затрат на получение дистиллята в многоступенчатых испарительных установках в летнем режиме работы ТЭЦ // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 1. – С. 12–14.
13. **Мошкарин А.А., Бускунов Р.Ш.** Испарительные установки ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
14. **Мошкарин А.В., Мошкарин А.А.** Моделирование, программный комплекс и результаты исследований испарительных установок мгновенного вскипания //Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 6. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – С. 34–52.
15. **Мошкарин А.А.** Оценка тепловой составляющей затрат на получение дистиллята в автономных испарительных установках при различных схемах утилизации избыточного пара в летних режимах работы ТЭС //Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 7. – 2004. – С. 19–26.