

Байрашевский Борис Амуратович, доктор технических наук. Трудовой путь: БПИ, 1959г. Минск, инженер-теплоэнергетик; ТЭЦ-ПВС Орско-Халиловского металлургического комбината; Крымэнерго, ИТМО АН БССР; БелЭНИН (БелТЭИ); Минскэнерго.

Основной характер и направление научно-исследовательских работ в настоящее время – разработка математических моделей для исследования эффективности технологических процессов производства тепло- и электроэнергии с помощью компьютерных программ расчёта.

А Н Н О Т А Ц И Я

В монографии рассматриваются вопросы выявления резервов и экономии ресурсов широкого спектра оборудования в энергокомплексах, котельных, системах теплоснабжения и на промышленных предприятиях. Часть материала книги является итогом критического пересмотра известных традиционных устройств и их комплексов, связанных с производством электроэнергии и теплоты на фоне оценок их эффективности.

Работа рассчитана на специалистов и студентов в ВУЗах, инженеров и исследователей, занимающихся решением проблем энергоэффективности на производстве и в НИИ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблемы эффективности всегда были и будут актуальной темой исследования по мере развития научно-технического прогресса и освоения новых технологий в промышленности. Внедрение компьютерной техники во всех сферах повседневной деятельности инженерно-технического персонала в значительной мере облегчает решение таких проблем на ближайшее будущее. Именно эти возможности были учтены автором данной работы, представленной в качестве своеобразного примера выполнения подобных исследований на базе известного багажа знаний с помощью программных файлов.

Множество производственных проблем не менее сложны и актуальны, чем задачи фундаментальных исследований в лабораториях НИИ. Многие из этих проблем скрыты и в сознании эксплуатационного персонала (в силу известной меры адаптации и формального консерватизма) представляются не существенными до такой степени, что вызывают сомнения относительно целесообразности их решения. Внедрение новых технологий и методов анализа эффективности производства в условиях установившихся традиций, как правило, сопряжено с адекватной перестройкой некоторых устоев в области инженерной практики. Поэтому успех дальнейшего решения поставленных задач и результатов внедрения энергосберегающих технологий на производстве во многом зависит от совместных и согласованных действий, как разработчиков, так и производственников на местах.

Работы по модернизации и усовершенствованию существующих (традиционных) фондов энерговооружённости предприятий на первый взгляд имеют консервативный характер. Вместе с тем это не отвергает, а в ряде случаев и усиливает необходимость глубоких и фундаментальных исследований нетрадиционных методов производства тепло- и электроэнергии (новаторского характера) на базе новых технологий в стенах НИИ.

Любая система отчётности основана на первоначальной информации. Она представляет ценность в том отношении, что содержит в себе скрытые резервы предприятия во всех аспектах его деятельности. Остаётся только выявить эти резервы путём её целенаправленного и систематического анализа, т. е. путём организации постоянного мониторинга, что вполне реально и возможно при наличии вычислительной техники.

Работа рассчитана на специалистов, занимающихся изучением в ВУЗах и решением проблем энергоэффективности на производстве и в НИИ. Основной упор в данной монографии делается на методах изучения той или иной проблемы с помощью модельных исследований на компьютере, что может быть реализовано также инженерно-техническим персоналом в условиях производства. Значительная часть рассматриваемой тематики представляет собой поле деятельности для выполнения дипломных и диссертационных работ. Кроме того, излагаемые материалы представляют собой полезную информацию при выполнении конструкторских и научно-исследовательских работ в области теплоэнергетики. Они способствуют полезной ориентации производственно-технического персонала в области научно-технического прогресса при решении ряда вопросов, направленных на воплощение в жизнь Директивы №3 Президента РБ от 14 июня 2007г.

Ряд вопросов, затронутых в данной работе, носят полемический характер. Автор сделал только первые шаги в этом направлении и приложил известные усилия к тому, чтобы доказать актуальность дальнейшего продолжения начатых работ. Поэтому значительная часть материала в монографии представляет собой результат критического пересмотра известных традиционных устоев в области оценок эффективности тех или иных процессов, связанных с производством электроэнергии и теплоты. По каждому разделу исследований (кратких по своей сути) выдаются «ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ», которые выносятся на суд читателя.

На страницах книги приводится много фрагментов из выполненных программных средств. В каждом разделе даются краткие описания методов решения той или иной задачи и основные рабочие формулы, используемые при создании программных файлов. Это сделано с целью убедить читателя о преимуществах метода решений рассматриваемых проблем путём программных расчётов. В условиях производства они позволяют повысить уровень подготовки инженеров разных рангов. Большое внимание в излагаемых материалах уделяется вопросам исследования технологических процессов на моделях оборудования котельных, теплосетей, систем тепло- электроснабжения и энергосистемы в целом. При этом открываются неограниченные возможности выявления недостатков исследуемых процессов с учётом конкретных условий работы моделируемых или прогнозируемых оригиналов. Поэтому методы оценок эффективности технологических процессов производства, транспорта и потребления тепло- и электроэнергии на основании математических моделей следует рассматривать как сопутствующие и важнейшие атрибуты мероприятий в области энергосбережения, их следует развивать и совершенствовать также и в дальнейшем.

Программные файлы, представляющие определённый интерес для читателя, могут быть представлены по запросу: 220117, г. Минск, пр. газ. «Звезда», д.35, кв.248, т.8.017.221.86.51, моб. +375.29.355.74.88 (Velcom); E-mail: bair_1968@mail.ru Не исключается возможность выполнения аналогичных программных файлов применительно к конкретным условиям работы оборудования и с учётом требований пользователя.

Значительная часть материала монографии изложена в таком аспекте, как это представляется в видении автора. Безусловно, это не исключает «белых пятен», заметных опытным и инициативным специалистам. Это закономерно и должно приветствоваться. Автор работы готов принять на себя «удары» критиков, уповая на то, что именно это будет способствовать дальнейшему раскрепощению заторможенных процессов повышения эффективности во вселенной традиционных энергокомплексов.

Б. Байрашевский.

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЭНЕРГОКОМПЛЕКСАХ И ИХ РЕШЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
ГЛАВА 1. Общая характеристика излагаемых разработок.	
1.1. Актуальность проблемы.....	13
1.2. Цель и методы исследования.....	15
1.3. Научная новизна и значимость излагаемых разработок.....	16
ГЛАВА 2. Основы анализа эффективности энергоисточников с комбинированным производством тепло- и электроэнергии.	
2.1. Постановка вопроса.....	19
2.2. Закономерности изменения экономичности ТЭЦ.....	20
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	27
2.3. Основы нетрадиционного анализа показателей экономичности ТЭЦ и объединений.....	27
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	37
2.4. Нормирование и факторный анализ ТЭП энергоисточников.....	38
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	51
2.5. Нетрадиционный анализ отчётных показателей ТЭЦ на фоне традиционного физического метода.....	52
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	59
ГЛАВА 3. Анализ эффективности работы энергосистемы с учётом спроса её продукции.	
3.1. Постановка вопроса.....	61
3.2. Модель комплекса: Энергоисточник – Потребитель.....	61
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	72
3.3. Альтернативные методы оценки эффективности топливоиспользования на ТЭЦ и в объединениях.....	73
3.3.1. Вариант утилизации отработавшего пара.....	80

3.3.2. Экономический принцип.....	81
3.3.3. Пропорциональный метод.....	83
3.3.4. Унификация показателей.....	83
3.3.5. Технологический принцип.....	89
3.3.6. Анализ исходных данных.....	94
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	95
3.4. Влияние загрузки потребителей на систему формирования индивидуальных тарифов.....	96
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	109
3.5. Оптимизация нагрузок на энергоисточниках в условиях одновременной реализации покупной электроэнергии.....	110
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	120
ГЛАВА 4. Модернизация и расчёт отдельных тепловых устройств.	
4.1. Постановка вопроса.....	121
4.2. Модельные исследования парового котла типа ДЕ-25 на твёрдом топливе.....	121
4.2.1. Общие показатели.....	123
4.2.2. Камера подсушки топлива и горения.....	133
4.2.3. Топка.....	135
4.2.4. Конвективные пучки 1, 2.....	137
4.2.5. Пароперегреватель.....	142
4.2.6. Воздухоподогреватель.....	149
4.2.7. Водяной экономайзер.....	154
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	156
4.3. Тепловой расчёт и анализ режимов работы котла типа ДКВР с модернизированной схемой питания.....	157
4.3.1. Система исходных уравнений.....	158
4.3.2. Исходные данные.....	163
4.3.3. Результаты расчётов.....	173
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	178
4.4. Тепловой расчёт котла типа КВГМ.....	179
4.4.1. Исходные данные, необходимые для расчёта котла.....	179
4.4.2. Метод расчёта и основные рабочие формулы.....	180
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	187
4.5. Оценка вариантов модернизации котельной.....	188
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	208
4.6. Водогрейная котельная, как альтернативный вариант Мини-ТЭЦ на фоне когенерационной установки.....	209
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	220
ГЛАВА 5. Основы анализа эффективности водогрейных котельных.	
5.1. Постановка вопроса.....	221
5.2. Особенности температурных режимов работы поверхностей нагрева водогрейных котлов.....	222
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	238

5.3. Анализ распределения разнотемпературных потоков воды в пределах котельной.....	239
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	247
5.4. Распределение нагрузок между котлами в пределах котельной.....	247
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	255
5.5. Исследование вариантов модернизации топки котла.....	255
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	261
ГЛАВА 6. Схемы питания водогрейных котлов.	
6.1. Постановка вопроса.....	262
6.2. Варианты модернизации схем циркуляции воды в водогрейных котлах.....	263
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	271
6.3. Общий принцип каскадной схемы питания котлов и её эффективность.....	272
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	276
6.4. Примерные варианты модернизация водогрейных котлов путём организации каскадной схемы питания.....	277
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	283
6.5. Исследование режимов работы водогрейного котла с двухсекционной каскадной схемой питания.....	285
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	311
ГЛАВА 7. Теплофизические характеристики теплопроводов, как теплообменных аппаратов.	
7.1. Постановка вопроса.....	312
7.2. Основы расчёта теплофизических характеристик традиционных теплопроводов.....	314
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	332
7.3. Основы расчёта теплообменников в условиях теплопотерь в окружающую среду.....	333
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	344
7.4. Теплопровод типа «труба в трубе» как альтернативный вариант двухтрубной прокладки.....	345
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	353
7.5. Основы расчёта теплофизических характеристик теплопроводов с кольцевыми каналами.....	354
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	364
7.6. Теплопотери, как фактор денежных затрат в процессе изготовления и эксплуатации теплопроводов.....	364
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	373
ГЛАВА 8. Проблемы повышения уровня эксплуатации теплосетей.	
8.1. Постановка вопроса.....	375
8.2. Показатели размеров теплосетей.....	375
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	378
8.3. Корректировка отчётных теплопотерь и	

анализ показателей эффективности теплосети	379
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	389
8.4. Организация факторного анализа показателей работы теплосети.....	390
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	396
8.5. Общая оценка эффективности и планирование работы теплосетей по отчётным данным.....	396
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	401
ГЛАВА 9. Исследования систем теплоснабжения и энергокомплексов на моделях.	
9.1. Постановка вопроса.....	402
9.2. Показатели эффективности системы теплоснабжения.....	403
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	409
9.3. Методика исследования режимов работы систем отопления и горячего водоснабжения.....	409
9.3.1. Исходные данные по расчёту показателей ЦТП.....	413
9.3.2. Результаты расчёта показателей режимов работы ЦТП.....	414
9.3.3. Исходные данные по расчёту показателей жилого дома.....	420
9.3.4. Результаты расчёта показателей режимов работы жилого дома.....	421
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	426
9.4. Модернизация ЦТП и стабилизация режима работы системы теплоснабжения.....	427
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	432
ГЛАВА 10. Теплосиловые комплексы предприятий и утилизация теплоты.	
10.1. Постановка вопроса.....	433
10.2. Мини-ТЭЦ на базе парогазовой установки и котла-утилизатора.....	434
10.2.1. Обоснование целесообразности установки парогазовых энергоблоков на территории завода.....	435
10.2.2. Вариант реализации парогазовой установки на территории завода.....	436
10.2.3. Метод изучения режимов работы энергокомплекса завода.....	437
10.2.4. Исходные данные и основные расчётные формулы.....	442
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	450
10.3. Мини-ТЭЦ на базе поршневого двигателя, камеры горения и котла-утилизатора.....	450
10.3.1. Процентный состав и расчётные характеристики абсорбционных газов (АБГ).....	452
10.3.2. Процентный состав и расчётные характеристики газов метановодородной фракции (МВФ).....	454

10.3.3. Природный газ с вероятным процентным содержанием компонентов заданного состава.....	458
10.3.4. Камера горения (КГ).....	459
10.3.5. Котёл-утилизатор (КУ).....	464
10.3.6. Когенерационная установка (КГУ) с поршневым двигателем (ПД).....	468
10.3.7. Энергоисточник в целом (ЭИ) типа мини-ТЭЦ, содержащий когенерационную установку (КГУ) и котёл-утилизатор (КУ),.....	476
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	480
10.4. Основы рациональной утилизации теплоты с поверхностей промышленных печей.....	481
10.4.1. Вариант полной замены теплоизоляционных материалов по обе стороны метаталлического корпуса печи.....	482
10.4.2. Вариант установки коаксиальных теплообменников со стороны наружной поверхности печи.....	486
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	493
10.5. Основные направления повышения эффективности теплосилового хозяйства завода по выпуску автошин.....	493
10.5.1. Состояние вопроса и постановка задачи.....	494
10.5.2. Редукционные клапана, как вспомогательное оборудование в системе пароснабжения.....	494
10.5.3. Вариант модернизации технологического процесса в вулканизаторе путём сохранения силового потенциала теплоносителя.....	494
10.5.4. Вариант модернизации вулканизатора путём замены пара на инертные газы.....	497
10.5.5. Паропреобразователь, как средство решения проблем с загрязнённым конденсатом.....	498
10.5.6. Контроль и оценка теплотерь в паропроводах.....	498
10.5.7. Паровая турбина, как средство исключения эксергетических потерь в редукционных клапанах.....	507
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....	517
Литература.....	520

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является итогом теоретического обобщения производственного опыта и направлена на реализацию актуальных потребностей в научно-техническом прогрессе действующего оборудования электростанций, котельных, теплосетей и систем теплоснабжения, включая малую энергетику на производственных предприятиях.

Переход народного хозяйства нашей страны на рыночные отношения ставит серьезные задачи в области теплоэнергетики, как одной из ведущих отраслей промышленности. Наряду с политической направленностью научно-технический прогресс является основной движущей силой, позволяющей решать эти задачи.

Энергетическая политика Республики Беларусь предусматривает развитие систем теплоснабжения на основе прогрессивных технологий. В связи с этим вопросы эффективности системы теплоснабжения в нашей стране имеют особое значение. Географическое положение страны требует отопления в течение более шести месяцев в году. Теплоснабжение необходимо также для поддержания важнейших систем и объектов инфраструктуры, включая промышленные предприятия. Более половины всех потребляемых в республике первичных энергоресурсов приходится на долю теплоснабжения.

Эффективное использование метода комбинированной выработки тепло- и электроэнергии наблюдается во многих странах Западной Европы. Это оказывает влияние также на успешные внедрения децентрализованных источников теплоты на наших предприятиях путём создания когенерационных установок (мини-ТЭЦ) с утилизацией теплоты после газовых турбин или отработанных газов за поршневыми двигателями. В этом отношении показателен опыт Германии и Дании. С позиций 2-го закона термодинамики основной особенностью этих установок является повышенное соотношение между значениями температур теплоносителей в «горячем» и «холодном» состояниях, что способствует увеличению коэффициентов топливоиспользования. Кроме того, имеются неограниченные возможности сочетания их работы с технологией производства разных видов продукции. Возможно, именно это качество и способствует их широкому внедрению на промышленных предприятиях, что зачастую ошибочно воспринимается, как негативная мера по отношению к модернизации централизованных энергоисточников Минэнерго.

Первая в Беларуси мини-ТЭЦ электрической мощностью 11 мВт и тепловой 8,6 Гкал/ч на базе поршневого двигателя установлена на ОАО «Гродно Химволокно». ТЭЦ когенерационного типа вряд ли будут играть весомую роль в большой энергетике Минэнерго Беларуси на ближайшую перспективу. Но, работая в условиях промышленных предприятий, будут успешно способствовать решению проблем снижения себестоимости продукции и конкурировать на рынках электрической и тепловой энергии. Это в свою очередь создаст условия сдерживания роста адекватных тарифов.

Теплосети относятся к пассивному типу оборудования, потребляющего энергию. Согласно официальным данным потери теплоэнергии при транс-

порте в магистральных теплопроводах концерна «Белэнерго» оцениваются величиной порядка 9-10 % . Требования к потерям тепловой энергии при проектировании тепловых сетей установлены строительными нормами. В частности, на территории населенных пунктов разрешена только бесканальная прокладка тепловых сетей из предизолированных труб. Остальные виды прокладок допускаются только при их технико-экономическом обосновании.

Тепловые пункты являются элементами системы теплоснабжения, которые связывают тепловую сеть с потребителями теплоты. С их помощью осуществляется управление системами отопления, горячего водоснабжения и вентиляции, а также распределение теплоты и контроль ее расхода. В настоящее время нарастает тенденция к постепенному переходу на независимые схемы теплоснабжения потребителей и к ликвидации по мере возможности центральных тепловых пунктов взамен на индивидуальные. Это позволит расширить внедрение количественно-качественного регулирования тепловых нагрузок теплосетей, как более эффективного метода.

В качестве предмета исследования в данной работе рассматривается модель реально существующего региона тепло- и электроснабжения города или его периферии, включающая в себя энергоисточники типа ТЭЦ, ГРЭС котельные, теплосети и однотипные потребители пара и горячей воды. По мере локализации вопросов исследования рассмотрены технико-экономические показатели (ТЭП) и режимы работы котельных, ТЭЦ, как отдельных энергоисточников, так и мини-ТЭЦ когенерационного типа, установленных на промышленных предприятиях. Рассматриваются и исследуются на моделях процессы теплообмена между окружающей средой и теплоносителями с массовыми потоками в помещениях потребителей (включая ЦТП), в теплопроводах традиционной конструкции (также с применением ПИ-труб) и в теплопроводах типа «труба в трубе». Результаты исследования положены в основу создания ряда программных средств, позволяющих анализировать фактические режимы работы оборудования, выполнять ряд целенаправленных расчётов консультационно-справочного и познавательного характера.

К сожалению, в настоящее время нет должного внимания к разработкам программных средств, необходимых к использованию на рабочих местах в качестве консультационно-справочных или поверочных расчётов. Вместе с тем существует множество Положений, Методик и Инструкций, регламентирующих многовекторный характер деятельности человека и целых коллективов в условиях производства. Многие из них на фоне политики энергосбережения дублируют друг друга на разные лады. К тому же их многообразие при решении однотипных задач только настораживает, как обилие знахарей в области медицины. Известная строгость при создании и утверждении нормативной документации здесь просто необходима, учитывая, что глубоко уважаемый труд многих специалистов, участвующих в разработках этих утверждённых документов, бесспорно, огромен.

Ознакомление с некоторыми из упомянутых материалов позволяет по этому поводу заметить следующее:

– требования к качеству разрабатываемых методик и инструкций, касающихся ответственных звеньев в области энергоэффективности, следует повысить до уровня научно-исследовательских работ, т. е. выполнять их с обязательным участием не только производственных кругов, но и НИИ с последующими соответствующими экспертизами;

– представляемые к использованию методики и инструкции должны в обязательном порядке сочетаться и сопровождаться программными обеспечениями, проходить определённый срок проверок и адаптации.

Автор данной работы полагает, что материалы, изложенные в данной монографии, окажут должное влияние на реализацию этих замечаний в дальнейшем. Для этого необходимо объединить и «консолидировать» множество отдельных методик, инструкций с учётом новых соответствующих разработок и публикаций. Создать единый руководящий документ с образцовыми программными приложениями по многим направлениям и постоянно его корректировать по мере накопления опыта. Например, по расчёту технико-экономических показателей, по организации факторного анализа, по оценкам результатов систематического освоения резервов экономии топливно-энергетических ресурсов и т. д.

В работе большое внимание уделяется вопросам изучения автомобильных процессов, определяющих эффективность работы системы Энергоисточник – Потребитель. Сделаны первые шаги по определению критериев подобия, определяющих общие свойства энергоисточников. Например, на основании выполненных разработок по унифицированным взаимосвязям между Энергоисточниками и Потребителями всех рангов показано, что эти критерии имеют определённую нишу в действующей цепи тарифообразования. Это важно в условиях рынка и убедиться в этом можно путём выполнения целенаправленных расчётов с помощью специально разработанного программного средства, например, АДР6, рассматриваемого в данной работе.

Каждая из глав данной работы является определённым этапом исследования с неограниченными возможностями дальнейшего углубления в этих областях знаний. Этому способствуют также приведенные в книге фрагменты из программных файлов, позволяющие глубже разобраться в сути излагаемых вопросов. Автор работы возлагает большие надежды на творческий потенциал читателей этой книги и ожидает от них дальнейшего развития и совершенствования первоначальных решений рассматриваемых задач.