

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 3 / 2023, Vol. 10, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/09INOR323.pdf>

DOI: 10.15862/09INOR323 (<https://doi.org/10.15862/09INOR323>)

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Титов, Д. В. Методика анализа энергетических превращений при использовании теплоэнергетических сопряженных систем для повышения эффективности производственной деятельности уголовно-исполнительной системы / Д. В. Титов, А. Л. Золкин, Н. А. Гуляева // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/09INOR323.pdf> DOI: 10.15862/09INOR323

For citation:

Titov D.V., Zolkin A.L., Gulyaeva N.A. Method of analysis of energy transformations when using heat-power coupled systems to increase efficiency of production activities of the penitentiary system. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(3): 09INOR323. Available at: <https://resources.today/PDF/09INOR323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/09INOR323

Титов Дмитрий Валерьевич

ФКОУ ВО «Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний», Вологда, Россия
Старший преподаватель кафедры «Экономики, управления и инженерно-технического обеспечения деятельности уголовно-исполнительной системы»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: titov_dv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2377-7771>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=872015

Золкин Александр Леонидович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия
Доцент кафедры «Информатика и вычислительная техника»

Кандидат технических наук

E-mail: alzolkin@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5806-9906>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=540174

Гуляева Надежда Анатольевна

НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия», Москва, Россия
Старший преподаватель кафедры «Математики»

E-mail: superrata@bk.ru

**Методика анализа энергетических превращений
при использовании теплоэнергетических сопряженных
систем для повышения эффективности производственной
деятельности уголовно-исполнительной системы**

Аннотация. В настоящее время актуальными остаются вопросы диверсификации энергетических ресурсов, направленных на изменение энергии для совершения полезной работы. При этом теплотехнические устройства, используемые в производственных целях, априори работают в режимах, связанных с повышенным износом вследствие неэффективного распределения энергии.

Рост требований производства к эффективности теплообменных аппаратов вызван целью снижения энергетической составляющей затрат при сохранении существующей технологии. Сфера практического применения теплообменных аппаратов затрагивает многие виды технологических процессов. Поэтому исследования режимов работы подобных устройств имеют право на долгосрочную перспективу.

Для проведения исследований теплотехническое устройство можно представить в виде сопряженной теплогидравлической системы, в которой существуют все виды передачи теплоты, теплопроводностью через стенку устройства, теплопередачей от стенки и конвекцией охладителя (воздуха или жидкости) вдоль нагретой стенки. Проведение экспериментальных исследований сопряженных теплогидравлических систем в большинстве своем указывает на рост изменения энтропии на выбранных этапах теплового цикла. Процесс подвода энергии к данной системе в форме теплоты осуществляется с повышенными затратами, так как сам теплообменный аппарат работает со снижением эффективности.

Подобные исследования работы теплообменных аппаратов позволяют выявить точки сохранения или снижения запаса энергии, роста энтропии, определить время цикла подвода энергии и рассчитать требуемые ее значения.

В работе раскрываются актуальные вопросы идентификации теплоэнергетических параметров, представленных в обобщенном виде с использованием функции состояния системы. Излагаются энергетические превращения в сопряженных теплоэнергетических системах с позиции неравновесной термодинамики и законов энергоэнтропии. Представлены примеры анализа теплотехнического устройства для эффективности на примере производственной деятельности уголовно-исполнительной системы.

Ключевые слова: теплоэнергетическая система; самоорганизация; потенциал энергосбережения; неравновесная термодинамика; теплотехническое устройство

Введение

В работе В.И. Игонина [1] предлагается определение энергетики с точки зрения технического и синергетического анализа. Этот подход также предлагается Е.Я. Соколовым.¹

Рассмотрим общее представление энергетической системы как совокупность установок и устройств, используемых для преобразования первичных энергоресурсов в виды энергии, необходимые для нужд производственной деятельности уголовно-исполнительной системы, и передачи этой энергии от источников ее производства до объектов использования. Попытаемся выделить общие закономерности и отличительные особенности исследования энергетических превращений в теплоэнергетической сопряженной системе, используя позиции неравновесной термодинамики и синергетического анализа.

Актуальность исследования

Актуальность проводимых исследований заключается в необходимости уточнения и последующем проектировании схемы температурных режимов термонапряженного состояния конструкций, работающих в условиях нестационарного термомеханического нагружения.

Исследование нестационарных теплообмена и гидродинамики, в частности, при течении одно- и двухфазных теплоносителей в каналах и разработка методики их расчета представляют чрезвычайно актуальную для инженерной практики задачу [2].

¹ Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. — М.: Изд-во МЭИ, 2001 — 472 с.

Далее приходим к выводу, что анализ теплотехнических устройств невозможно проводить без учета законов надежности, так как для обеспечения необходимого запаса прочности деталей нужно с достаточной степенью достоверности знать их термонапряженное состояние [3; 4].

Существование степени достоверности опирается на знание механизма протекания переходных процессов и умение исследователя вести их расчет. Знание механизма протекания переходных процессов и умение вести их расчет позволяет не только создавать новое оборудование, но и правильно эксплуатировать его на базе разработки надежных и быстродействующих схем автоматического регулирования и управления процессами.

Приходим к выводам, что все технически организованные системы являются априори диссипативными и работают эффективно, в том числе за счет наличия в них диссипационных потерь. Теплотехническая система будет соответствовать принципу самоорганизации И. Пригожина [5], если будет соблюдаться условие «энергетического кругового движения».

По нашему мнению, именно теплоэнергетическая система способна как забирать извне, так и генерировать энергию, ведь в ней также происходят процессы диссипации, то есть создания потерь. Все это совершается циклическим способом, и в свою очередь самые современные системы лишь повышают скорость преобразования энергии, но также подчиняются принципам самоорганизации. Это отмечается авторами в работе [6], а также раскрывается в работе А.В. Дмитриенко и В.Г. Попова.² Таким образом, появление диссипационных потерь позволяет удерживать преобразуемую энергию в заданном конструктивном (геометрическом) пространстве теплотехнического устройства.

Математически описывая систему передачи и трансформации теплоты в устройстве, имеющем поверхность, участвующую в передаче теплоты, можно использовать следующую модель с граничными условиями III рода, представленную формулой:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_{нов} = -\frac{\alpha \cdot (T_{нов} - T_{ср})}{\lambda}, \quad (1)$$

где $\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_{нов}$ — градиент температуры на рабочей поверхности, м/К; α — коэффициент теплоотдачи с поверхности, Вт/м² К; λ — коэффициент теплопроводности материала, конструктивно определяющий теплотехническую характеристику поверхности, Вт/м К; $T_{нов}$ — температура поверхности, К; $T_{ср}$ — температура среды (воздух, жидкость), омывающей поверхность, К.

Можно утверждать, что теплотехническое устройство должно иметь исследуемое «рабочее тело», с помощью которого организовывается возможность «удержания энергии» в пространстве и во времени. Также должна быть доступна возможность создания разности тепловых потенциалов (градиента). Потенциалы отвечают за совершение полезного для устройства действия. Организованная нужным для субъекта образом энергия в форме теплоты идет на изменение внутренней энергии рабочего тела, на совершение работы с помощью рабочего тела, а также на диссипативные потери. От среды поступает энергия топлива и далее превращается в теплоту.

² Дмитриенко, А.В. Введение в феноменологическую неравновесную термодинамику: учеб. пособие / А.В. Дмитриенко, В.Г. Попов. — М.: МАТИ, 2007 — 180 с.

Для реализации этого процесса требуется теплообменное устройство, в котором организуется подвод теплоты к рабочему телу. Рабочее тело или теплоноситель получает комбинации энергии в формах теплоты и работы с соответствующими потерями энергии.

Таким образом, применяя на практике теплотехнические устройства, нужно учитывать тот факт, что оптимальным выбором будет использование устройств, в которых конструктивно заложен принцип обеспечения «удержания энергии», то есть сохранения работоспособности устройства, с возможностью преобразования первичных энергоресурсов.

Для оценки эффективности того или иного производственного процесса, его необходимо представить в виде модели, а затем определить потенциал энергосбережения [7]. Показатель сохранения подводимой к системе энергии (энергоресурсов), способность эффективно ее расходовать с минимальными потерями.

Можно сделать вывод, что исследования изменения режимов работы в устройствах, использующих движущийся теплоноситель, становится все более актуальной инженерной задачей. Поэтому можно утверждать, что использование теоретических методов исследования неравновесных термодинамических процессов, а также моделей нестационарных течений в термогидравлических системах имеет свое развитие в любых конструктивно возможных теплотехнических аппаратах.

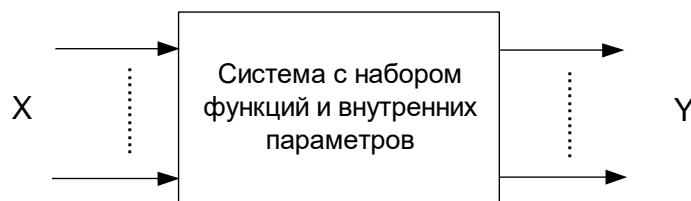
Вышесказанное позволяет сделать вывод о необходимости применения таких моделей, с помощью которых моделей появилась возможность оценки энергетического состояния системы с точки зрения использования энергоресурса, в натуральном и стоимостном выражении. Также возможно потребуется надстройка параметров модели для ее регулярного использования в инженерной практике. Для достижения данной цели требуется выполнение ряда сложных конструкторских и инженерных задач:

1. Используемый для исследования энергетический аппарат, например, тепловой насос для нужд отопления должен иметь возможность передачи данных в цифровом виде по стандартным протоколам передачи данных. Здесь нужно отметить, что не все подобные устройства можно оснастить модулями сбора и передачи данных. Часть подобных аппаратов имеют такую возможность, но передаваемые ими параметры не отражают в полной мере эффективность их работы, а показывают лишь технико-экономические параметры: расход теплоносителя, температуру с датчиков и т. п. Таким образом, нельзя составить функцию, которая однозначно определяла бы энергетическое состояние системы — потенциал энергии и эффективность самого аппарата в течение термодинамического цикла.

2. Тепловые насосы, задача использования которых состоит в повышении энергоэффективности теплотехнических систем необходимо дорабатывать на предмет определения ими обобщенных энергетических параметров, таких как разность тепловой энергии в выбранных точках цикла, то есть такое значение ΔQ , которое удалось достичь при использовании эффекта теплового насоса. Очевидно, что на данный вопрос можно ответить, используя функцию обобщенного энергетического состояния, то есть функцию изменения энтропии ΔS . Каким образом решить данную задачу? Практически ни один существующий прибор не может вычислять изменение энтропии в натуральном выражении, тем более определять эффективность собственного цикла при передаче теплоты или во время подвода энергии извне. Сделать это возможно, изначально зная точки перехода функции ΔS через ноль, определяя, в каких циклах функция возрастает, а в каких снижается.

Как известно из теории моделирования, практически любой реальный объект или процесс окружающей среды может быть представлен моделью с определенным уровнем адекватности. Получаемые сведения об объекте уменьшают степень неопределённости знаний для получения о нем достаточной информации.

Для построения модели объект (процесс) представляется в виде некой системы, функционирующей по определенному закону с набором входных и выходных параметров [8] (рис. 1).³



$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — вектор входных параметров; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ — вектор выходных параметров системы.

Рисунок 1. Структурная схема модели системы

Параметрами системы будут соответственно выступать: подводимая тепловая (электрическая) энергия (вход) и полезно расходуемая энергия (выход). Внутренними параметрами будут характеристики объекта, определяющие долю энергетических потерь.

В качестве теплотехнических устройств, в которых происходит трансформация теплоты по данному принципу, будем рассматривать современные теплогенерирующие установки [9]. Покажем это на примере задач для нужд производственной деятельности уголовно-исполнительной системы.

Таковыми установками выступают теплогенераторные установки, работающие на биотопливе. Структура таких устройств позволяет обеспечить тепловые процессы получения теплоты за счет преобразования различных видов энергии. В качестве первичного источника используется биотопливо, то есть топливо, полученное способом переработки древесных отходов (в основном, это щепы или «опил»).

В древесине находится как «свободная вода» в клеточных полостях, так и «связанная вода» в клеточных стенках. Свободная вода во время сушки испаряется достаточно быстро, так как движение воды наружу облегчается через трубчатые структуры клеток. Отдача связанной воды, напротив, значительно медленнее, так как происходит только благодаря диффузии, то есть движение водяного пара из-за перепада парового давления внутри клеточных соединений. Отдача находящейся на поверхности древесины воды в воздух проводится испарением.

На практике было доказано, что наиболее интенсивно и эффективно сгорают отходы, имеющие размер от 20 до 100 мм, т.е. подобны размеру технологической щепы [9]. Эффективное сжигание больших древесных отходов не может быть достигнуто, потому что невозможно создать в топке достаточно плотный слой. Таким образом, продуктом первичной переработки кусковых древесных отходов является технологическая щепа.

Для получения теплоты, генерации и преобразования энергии в целях получения нового топлива применяется биотопливный теплогенератор. На практике, теплогенератор использует тот вид сырьевых древесных отходов, который используется для производства готовых топливных пеллет или брикетов. Вместе с тем, в большинстве случаев, на производстве в учреждениях, в целях экономии ресурсов используют древесные отходы — опилки, щепу, не используемые по назначению отходы деревообработки.

³ Пижурин, А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки: учебник / А.А. Пижурин. — 2-е изд., испр. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 259 с. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1090549> (дата обращения: 05.10.2023).

Инженерный подход повышения эффективности подразумевает использование теплогенератора пиролизного типа. Процесс пиролизного горения включает 3 этапа:

- испарение влаги без запуска процесса горения;
- запуск процесса пиролиза, при котором происходит выделение из древесины пиролизных газов, в системе начинается генерация энергии на выходе;
- превращение отходов древесины в уголь, повышается теплотворная способность топлива в рамках одной системы, генерация большого количества энергии с одновременным остановом процесса горения.

Используя эмпирические данные [9], построим зависимость расхода топлива в теплогенераторе условной мощностью 1 МВт от его исходной влажности, проведем интерполяцию данных нелинейной функцией. Зависимость приведена на рисунке 2.

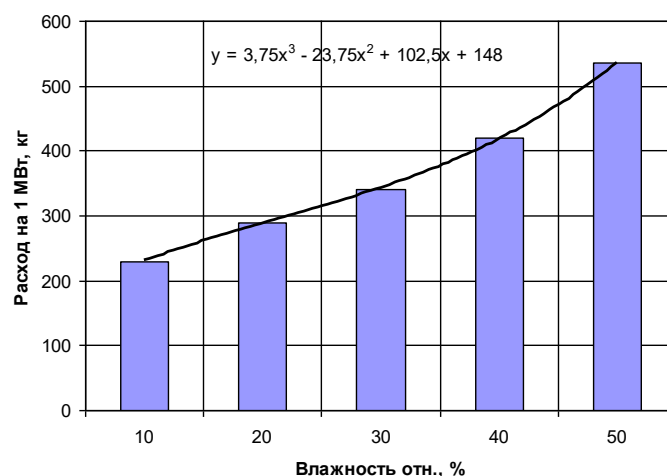


Рисунок 2. Зависимость фактического расхода с ростом относительной влажности древесного топлива [9]

В работе теплогенератора топливе повышенной влажности, решающее значение имеет конструкция топки [10]. Процесс горение топлива происходит в потоке воздуха в момент турбулентной фазы течения слоя топлива, по причине создания вихревого потока с помощью турбоагнетательного агрегата. Процесс можно сделать еще более эффективным, создав в структуре топлива «кипящий слой». Данный новый слой топлива создается за счет сохранения температуры на сужающейся колосниковой решетке и движением среды поступает снизу с помощью специальной системой нагнетания воздуха. Тем самым, в верхней части многослойной структуры топливной смеси топлива образуется кипящий слой с повышенной температурой. Это дает увеличение доли эффективного использования теплоты, а сам процесс становится непрерывным.

Выводы по работе:

1. Теплоэнергетическая система становится самоорганизованной, то есть тепловые процессы, происходящие в ней, позволяют генерировать энергии за счет именно диссипационных потерь. Показателем сохранения работоспособности системы будет смена знака функции состояния $\Delta S < 0$, который показывает, то есть система не только не нуждается в подводе энергии в виде первичной теплоты, она, за счет собственных потерь изменяет длительность и форму теплового цикла, что сопровождается повышением температуры в тепловом устройстве.

2. При использовании технологии пиролиза процесс горения топлива становится более длительным, а производство тепловой энергии более выгодным в натуральном и стоимостном выражении.
3. В качестве практической значимости можно рассматривать возможность повышения эффективности теплоэнергетической установки.
4. Возможно сокращение затрат на отопление производственных объектов и режимных зданий, уменьшение нагрузки на существующую котельную установку.
5. Увеличивается потенциал энергосбережения объекта уголовно-исполнительной системы на счет снижения энергетической составляющей в себестоимости продукции для внутрисистемных нужд и внешних заказов. Это представляется актуальным на этапе реформирования производственного сектора уголовно-исполнительной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игонин В.И. Пути повышения эффективности теплоэнергетических систем: монография. — Вологда: ВоГТУ, 2007 — 119 с.
2. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 535 с.
3. Балышев, О.А. Анализ переходных и стационарных процессов в трубопроводных системах (теоретические и экстремальные аспекты) / О.А. Балышев, Э.А. Таиров. — Новосибирск: Наука. Сибирский филиал РАН. 1998. — 164 с.
4. Игонин, В.И. Модели температурного и напряженного состояния в элементах конструкций турбоагрегатов / В.И. Игонин, Ю.Р. Осипов. — Вологда: ВНИЦ Академии наук РФ, 1995. — 160 с., с ил.
5. Prigogine, I. Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes, Charles C. Thomas, Springfield, Ill., 1955; русский перевод: Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов [Текст] / Пер. с англ. канд. хим. наук В.В. Михайлова; Под ред. акад. Н.С. Акулова. — Москва: Изд-во иностр. лит., 1960. — 127 с.; 20 см.
6. De Groot S.R., Mazur P., Non-Equilibrium Thermodynamics, North-Holland Publ. Cj., Amsterdam, 1962, pp. 57–77; русский перевод: де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика, изд-во «Мир», 1964.
7. Бухмиров, В.В. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий / В.В. Бухмиров и др. — Томск: ИД ТГУ, 2014 — 96 с.
8. Агеев, С.П. Стохастические закономерности операционных циклов лесопильных рам / С.П. Агеев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2014. — № 4(340). — С. 80–89.
9. Биотопливо из древесного сырья: монография. Федоренчик А.С., Ледницкий А.В., Кожухов Н.И., Никишов В.Д. — Москва: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2010. — 384 с.
10. Биомасса древесины и биоэнергетика: монография: в 2 т. / Л.А. Занегин, И.В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В.М. Щелоков; Гос. науч. центр лесопром. комплекса, Моск. гос. ун-т леса. — М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2008. Т. 1. — 2008. — 428 с.: ил. — Библиогр.: с. 424–428.

Titov Dmitry Valerievich

Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, Russia
E-mail: titov_dv@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2377-7771>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=872015

Zolkin Alexander Leonidovich

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia
E-mail: alzolkin@list.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5806-9906>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=540174

Gulyaeva Nadezhda Anatolyevna

Moscow Financial and Industrial University «Synergy», Moscow, Russia
E-mail: superrata@bk.ru

Method of analysis of energy transformations when using heat-power coupled systems to increase efficiency of production activities of the penitentiary system

Abstract. Currently, the issues of diversification of energy resources aimed at changing energy to perform useful work remain relevant. At the same time, thermal engineering devices used for production purposes operate a priori in modes associated with increased wear due to inefficient energy distribution.

The increase in production requirements for the efficiency of heat exchangers is caused by the aim is to reduce the energy component of costs while maintaining the existing technology. The scope of practical application of heat exchangers affects many types of technological processes. Therefore, studies of the operating modes of such devices have the right to a long-term perspective.

For conducting research, a thermal engineering device can be presented in the form of a coupled thermohydraulic system in which there are all types of heat transfer, thermal conductivity through the wall of the device, heat transfer from the wall and convection of the cooler (air or liquid) along the heated wall. Conducting experimental studies of coupled thermohydraulic systems for the most part indicates an increase in entropy changes at selected stages of the thermal cycle. The process of supplying energy to this system in the form of heat is carried out with increased costs, since the heat exchanger itself works with reduced efficiency.

Such studies of the operation of heat exchangers make it possible to identify points of conservation or reduction of energy reserves, entropy growth, determine the time of the energy supply cycle and calculate its required values.

The article reveals the actual issues of identification of thermal power parameters presented in a generalized form using the system state function. The energy transformations in conjugate thermal power systems are described from the perspective of nonequilibrium thermodynamics and the laws of energy entropy.

The author presents examples of analysis of a heat engineering device for efficiency on the example of the production activity of the penal system.

Keywords: thermal power system; self-organization; energy saving potential; nonequilibrium thermodynamics; thermal engineering device