УДК 536

К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ДИССИПАТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА ПРОТОЧНО - ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТИПА

Игонин В.И., Стратунов О.В.

ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный университет, Вологда, Россия, e-mail: igonvlad@yandex.ru

TO DEVELOP A METHODOLOGY FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF DISSIPATIVE ENERGY PROCESSES FOR ELECTRIC HEAT SOURCE OF THE FLOW - HYDRAULIC TYPE

Igonin V.I., Stratunov O.V.

FGBOU VPO «Vologda state university, Vologda, Russia, e-mail: igonvlad@yandex.ru

Работа посвящена анализу на микро уровне применимости диссипативной и интегральной формулировки второго закона термодинамики к модельной структуризации электро тепло гидравлической системы. Последовательное освещение проблем построения единой или интегральной модели служащей для оценки эффективности энерго технической системы. Поиск обобщенного интегрального энергетического показателя в условиях интеграции и трансформации наук существующего знания.

Ключевые слова: Моделирование, структура, субъект, децентрализованная система теплоснабжения электро тепло гидравлического типа, конструирование структуры модели через обзор описания процессов диссипации на уровне априорного знания через систему дифференциальных уравнений для элемента электро тепло гидравлического типа, обобщенный показатель элемента и его функционал

The work is devoted to the analysis at the micro level, the applicability of a dissipative integral formulation of the second law of thermodynamics to a model structuring of electric and heat hydraulic system. Consistent coverage of problems of creation of the unified or integrated models used to assess the effectiveness of energy technical system. Search generalized integral energy indicator in the conditions of integration and transformation of Sciences of existing knowledge.

Keywords: Modeling, structure, subject, a decentralized system of a heat supply of electric and heat hydraulic engineering the structure of the model through review the description of dissipation processes at the level of prior knowledge through a system of differential equations for the item electric and heat hydraulic type, generalized index of the element and its functionality

В работах [1],[2] проведен термодинамический анализ отопительной системы как структуры диссипативного типа. Здесь субъект представляет натурную модель и внешний вид лабораторно-вычислительного комплекса. Последовательно рассматривает несколько моделей диссипативной термодинамической реальности. Это модельная схемотехническая реальность с ограждающей поверхностью, модель в виде потокового графа учитывающая все потоки энергии, в том числе и диссипативные, термодинамическая структурная модель рассматриваемой энергетической системы теплоснабжения. Субъект при этом понимает, что модель классической термодинамики подразумевает наличие холодного (ХИТ) и горячего (ГИТ) источников теплоты, которые связаны прямой и обратной связями с помощью рабочего тела (РТ). Два разнородных источника теплоты (ЭТГ) и механической (ЭН) энергии в системе питаются электрической энергией. Система разнородная потому, что ее основные блоки связаны между собой рабочим телом(теплоносителем) имеют разное функциональное назначение. Рабочее тело перемещается в тепловой сети по кольцевой системе. За счет источника электрической энергии организован термодинамический цикл с изменением внутренней энергии рабочего тела и с совершением механической работы. В окружающую среду (ОС) уходит теплота от холодного источника и каждого блока системы. Если диссипативные потоки теплоты от блоков уходят в ОС ограниченную ограждающими поверхностями помещения , то учитывается их влияние на параметры микроклимата в нем,рис.1.

Таким образом, субъект иллюстрирует методологическое удобство от использования слагаемых, описывающих свойства "диссипативности и интегральности применения первого и второго законов термодинамики" на примере рассмотрения нескольких термодинамических моделей как

объективной, так субъективных реальностей[1,2].

Работа актуальна, поскольку производственные установки с электротепло- гидравлическими преобразователями энергии широко применяются в системах децентрализованного теплотехнологического типа. В связи с их экологической, технико-экономической целесообразностью они получили распространение в местах, где оказываются неконкурентоспособными источники теплоты другой технической организации.

В таких установках для получения теплоты наряду с электрической формой энергии используются энергетические потоки диссипативного типа, которые вызваны турбулентными, вихревыми, кавитационными, электромагнитными эффектами. Считается, что особым образом организованные диссипативные процессы энергии дают возможность использовать полезно «дополнительное количество теплоты при незначительном увеличении входной мощности».[3].Сознательный выбор субъектом тех или иных преимуществ от комбинированного использования энергии требует наличия методики изложения материала связанного с эффективностью тех или иных особенностей диссипативных взаимопревращений энергии неизбежно сопутствующих суммарному и полезному энергопревращениям.

Ввиду сложности процессов сопровождающих энергопревращения в установках электротеплогидравлического типа требуется получение большого объема разнородной экспериментальной и расчетной информации, которая не всегда может быть получена и обработана в одноуровневом иерархическом представлении. Поэтому субъект склонен рассмотреть несколько модельных уровней представления информации.

Из работы [3] следует, что уравнение для расчета «избыточного» диссипативного тепла активированной жидкости $Q_{изб}$ содержит коэффициент активации жидкости k_1

$$Q_{изб} = k_1 \frac{m}{\mu}\left(s_{в1} - s_{в2}\right)\left(T_1 - T_{пл}\right), \qquad (1)$$

где $S_{в1}$, $S_{в2}$ – удельные энтропии активированной и не активированной жидкости, *кДЖ/кг·К*; *m*, μ масса и молярная масса жидкости, кг, кг/моль; T_1, $T_{пл}$ – температуры жидкости на участке активации и после нее в К. Для определения k_1 необходимо иметь поля указанных термодинамических параметров до и после активации элементарных объемов рабочего тела. Как правило поля параметров субъект получает экспериментально- расчетным путем.

Системы дифференциальных уравнений с диссипативными слагаемыми в потоках жидкости сформированы в работах Л.Д. Ландау, Л.Г. Лойцянского, А.Н Патрашева[4],[5],[6].

В уравнении (2) (Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц) первый член в правой части отражает составляющую энтропии от процесса теплопроводности, а остальные два слагаемых обусловлены силами внутреннего трения.

$$\frac{\partial}{\partial t}\int \rho s dV = \int \frac{\lambda\left(\nabla T\right)^2}{T^2} dV + \int \frac{\eta}{2T}\left(\frac{\partial \upsilon_i}{\partial x_k} + \frac{\partial \upsilon_k}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ik}\frac{\partial \upsilon_l}{\partial x_l}\right)^2 dV + \int \frac{\zeta}{T}\left(divV\right)^2 dV. \qquad (2)$$

Л.Г. Лойцянский изменение внутренней энергии $\frac{dU}{dt}$ и энтропии $\frac{ds}{dt}$ в потоке несжимаемой вязкой жидкости связывает с притоком тепла *pq*поступающего в систему из вне, и потерянной мощности действующих механических внутренних сил($-N_{in}$) (3)

$$\rho\frac{dU}{dt} = \rho T\frac{ds}{dt} = \rho q + N_{in} \qquad (3)$$

В (3) величина мощности внутренних сил эквивалентна выделяемой теплоте, существенно положительна, и ее изменение приводит к увеличению потока внутренней энергии и энтропии.

В электро термогидравлических системах, где имеет место нагрев жидкости за счет прямого пропускания электрического тока через воду возникают электромагнитные силы. Воздействие таковых на поток жидкости рассмотрены в работах А.Н Патрашева, Л.И. Седова[7]. Балансовые уравнения энергии гидромеханики уточняются источниками энергии от пондеромоторных $G_э$ электродинамических сил (4). В результате с учетом сил турбулизующих потоки жидкости формируется система дифференциальных уравнений в частных производных (4) – (12).

$$\rho\left[\frac{\partial \upsilon}{\partial t}+(\upsilon\nabla)\upsilon\right]=G_0-\nabla p+\mu\Delta\upsilon+G_э, \quad (4)$$

$$G_э=\rho_э\vec{E}+\left[\vec{j}\times\vec{B}\right], \quad (5)$$

$$T\rho\left(\frac{\partial s}{\partial t}+v\nabla s\right)=j^2/\sigma+div(\lambda\nabla T)+N_{дисс}+W_0, \quad (6)$$

$$\vec{j}=\frac{1}{\eta}\mathrm{rot}\vec{B}=\rho_э\vec{\upsilon}+\sigma\left\{\vec{E}+\left[\vec{j}\times\vec{B}\right]\right\} \quad (7)$$

$$\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}=\mathrm{rot}\left[\vec{v}\times\vec{B}\right]+\frac{1}{\eta\sigma}\cdot\Delta\vec{B} \quad (8)$$

$$\rho C_p\overline{\omega}_x\frac{\partial T}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial y}\left[(\lambda_2+\lambda_{2T})\frac{\partial T}{\partial y}\right], \quad (9)$$

$$\rho\overline{\omega}_x\frac{\partial\overline{\omega}_x}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial y}\left[(\mu_2+\mu_{2\partial})\frac{\partial\overline{\omega}_x}{\partial y}\right];\quad \begin{matrix}\tau\geq 0\\ h_1<y\leq l_2\end{matrix} \quad (10)$$

$$\tau_T=\rho\left(\ell_т\frac{\partial\overline{\omega}_x}{\partial y}\right)^2. \quad (11)$$

$$q=-\lambda\frac{\partial T}{\partial y}+\rho C_p\frac{\partial\overline{\omega}_x}{\partial y}\left(\ell_т\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2, \quad (12)$$

где j^2/σ мощность, затрачиваемая на джоулево тепло; W_0 - мощность заданных объемных механических сил; λ – коэффициенты теплопроводности жидкости; η – магнитная проницаемость жидкости; B - магнитная индукция, Тл; $\partial B/\partial t$ - изменение энергии среды при включении магнитного поля, $\mathrm{rot}\left[\vec{v}\times\vec{B}\right]$-совершаемая работа, производимая над токами (источниками магнитного поля) $\Delta B\eta/\sigma$, Дж, $\rho_э$ - плотность электрических зарядов, Кл/м^3; j – вектор плотности электрического тока, А/м^3; $\sigma_{э.п.}$ – электрическая проводимость жидкости; $G_э$- пондемоторная сила, на единицу объема жидкости; ∇p - градиент давления, Па/м; $\mu\Delta\upsilon$ - составляющая характеризующая наличие сил вязкости; G_0- внешняя объемная сила механической природы; ∇T - градиент температуры в элементарном объеме жидкости; $\partial s/\partial t$ - изменение энтропии во времени; $v\nabla s$ - скорость изменения энтропии в координатном пространстве; $N_{дисс}$ - мощность механических диссипативных сил переходящих в теплоту; ξ,η – коэффициенты молекулярной и объемной вязкости;

Значения локальных турбулентных эпюр скоростей ω_x входят в дифференциальные уравнения турбулентного движения жидкости Фурье-Кирхгоффа вида (9) и Навье - Стокса (10). В систему входят феноменологические коэффициенты в виде коэффициентов турбулентной эффективной теплопроводности $\lambda_{эф}$ и вязкости μ_{2T}, которые зависят от профилей температуры $\mathrm{grad}T$ и скорости $\mathrm{grad}\omega$ в пограничных слоях, касательных турбулентных и эффективных механических напряжений τ_T, $\tau_{эф}$, длины

пути перемешивания $\ell_т$ (11,12). Упрощенная запись дифференциальных уравнений энергии и движения (9), (10) для турбулентного движения жидкости через значения локальных турбулентных скоростей выведена на основе трех зонной теории турбулентности Л.Прандтля и А.Н.Шерстюка[8],[9], который приспособил ее для цилиндрических каналов.

Система уравнений (1-12) наиболее полно отражают связь между удельным обобщенным энергетическим показателем электротермомеханического состояния теплоносителя (энтропией) и другими параметрами, влияющими на его энергетическое состояние.

В трудах М.П. Вукаловича, И.И. Новикова, А.И. Андрющенко, В.М Бородянского, Д.П. Гохштейна[10],[11],[12],[13], «энтропия» рассматривается как калорический параметр состояния идеальной или реальной равновесной термодинамической системы. В микроуровневом представлении он входит в дифференциальные характеристические уравнения для ряда термодинамических потенциалов, что позволяет вычислять физические свойства веществ. определять эксергетические и энергетические потери в реальных процессах, идущих в теплотехнических установках.

В работах Г.Н. Алексеева [14], описываются особенностях применения энтропии в разнообразных энергетических системах, сформулированы законы энергоэнтропики в явном виде. Применение, которых к анализу нескольких неравновесных термодинамических систем позволяет сравнивать их энергетическое состояние и выбирать оптимальные для работы условия. И.Р. Пригожин[15], сформулировал принцип минимума воспроизводства энтропии для открытых линейных неравновесных термодинамических систем находящихся в стационарных условиях. И. Дьярмати, Р. Шехер [16],[17], удачно использует принцип минимального возникновения энтропии вместе с вариационными методами решения задач гидротермического типа. Я.И. Аснин[18], ввел в обращение энтропийный критерий, который позволяет в сочетании с другими критериями теплообмена обрабатывать большое количество экспериментальных данных. И. Дьярмати вывел уравнения баланса энтропии и показал, что из них можно получать все уравнения гидродинамики, теплообмена и математической физики. Тем самым сделал шаг к утверждению, что неравновесная термодинамика становится наукой имеющей общий мировоззренческий междисциплинарный характер. С.Р.Де Грот, П. Мазур[19], пользуются в своих работах дифференциальными уравнениями баланса и воспроизводства энтропии для изучения процессов переноса массы и энергии. Б.М. Коганович, А.П. Меренков [20],[21], используют понятие энтропии для решения экстремальных задач возникающих в гидравлических сетях. А.В. Лыков и Ю.А. Михайлов[22] широко пользуются энтропийной теоремой теории Онзагера для вывода уравнений тепломассопереноса. Э.Х. Лийв[23], вводит понятие «обобщенной энтропии» для решения не только задач информационного плана, но для различных систем, включая социальные. А.В. Дмитриенко, В.Г. Попов[24] излагают основы феноменологической линейной и нелинейной неравновесной термодинамики, где большое место уделено системному анализу существующих законов неравновесной термодинамики, которая использует при построении своих моделей феноменологические уравнения связанные с теорией энтропии. Они дают формулировку «нелинейной термогидравлической» системы. Показано, что эти системы являются одними из ярких представителей неравновесных систем, в которых сочетаются линейные и нелинейные области , которые сформированы и зависят как от агрегатного состояния рабочего тела, так и от пространственно – временного состояния системы. Приведены выражения для КПД неравновесной термодинамической системы через энтропию. Показано, что воспроизводство энтропии в системе зависит от необратимых процессов теплопроводности, гидродинамического трения и вязкости, скорости перемещения системы, электромагнитного воздействия, химических реакций, лучистого энергообмена, перекрестных эффектов в многокомпонентных системах и т.д. Однако в работах Эткина В.А. [25] энтропия названа «раковой опухолью» 20 века и приводится системное обоснование этого положения. Необратимость реальных процессов по Эткину В.А, связывается с диссипацией энергии (т.е. с потерей способности к совершению упорядоченной работы), она проявляется в скаляризации процесса, т.е. в утрате им

векторной природы. Энергоперенос связан с совершением неупорядоченной работы, энергопревращение - с совершением работы упорядоченной.

«Работа» разных систем описана одним выражением для систем механической, термической, электрической, химической и т.п. (в зависимости от природы преодолеваемых сил); внешней или внутренней (в зависимости от того, где возникают эти силы в самой системе или вне ее); полезной или диссипативной (в зависимости от того, чем сопровождается работа - целенаправленным преобразованием энергии или ее рассеянием).

Главную цель, которую ставит перед собой автор создания теории Эткин В.А дать единое изложение фундаментальных основ ряда инженерных и естественных наук с позиций энергодинамики, как обобщенного учения о силах, что является шагом на пути к построению единой теории поля и имеет большое общенаучное, педагогическое и практическое значения.

Признание существования принципов линейной неравновесной феноменологической термодинамики позволяет писать системы уравнений, в которых наряду с экспериментальными (феноменологическими) уравнениями Фурье, Ома, Фика, Дарси-Вейсбаха присутствуют уравнения типа теплопроводности, Навье-Стокса, Фурье-Кирхгоффа и т.д. По И. Дьярмати все эти уравнения входят в аппарат термодинамики необратимых процессов и справедливы для систем, которые находятся недалеко от состояния равновесия.

Обзор литературы позволяет субъекту понимать, что модель нестационарного течения турбулентного потока жидкости осложненного теплообменом и под воздействием электрического поля как минимум описывается двенадцатью дифференциальными уравнениями в частных и обыкновенных производных со своими граничными и начальными условиями, что для описания всех блоков системы следует искать обобщенный удельный энергетический показатель в виде удельной обобщенной энергии(энтропии), который позволит связать между собой входные и выходные параметры системы и построить энергетическое ее пространство состояния. Учитывая тот факт, что энергия является количественной мерой всех (упорядоченных и неупорядоченных, внешних и внутренних, полезных и диссипативных) работ, которые может совершить система.

Для графа указанного на рис 1 и для системы (1-12) формируется функционал (13).

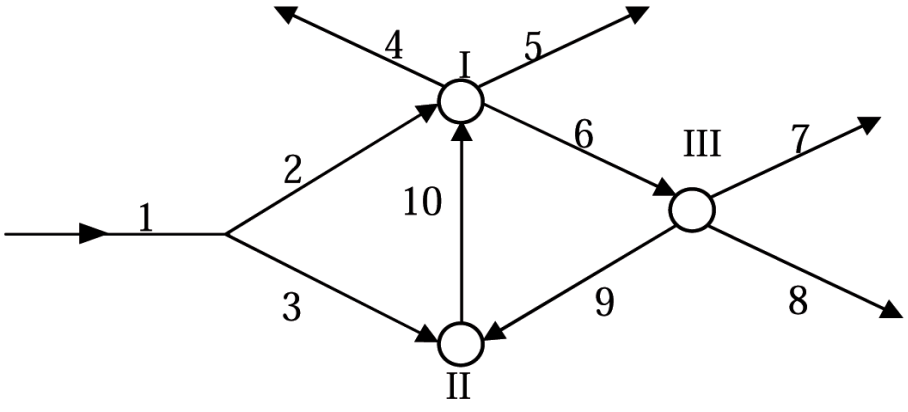

Рис. 1. Граф основных преобразователей (узлов) и потоков (связей) энергии в электро теплогидравлической системе[1,2]. I – электротеплогенератор (ЭТГ); II – циркуляционный насос(ЭН); III – потребитель; вектора связей - потоки энергии: 1 – электрической энергии из электрической сети; 2 – электрической энергии на тепловыделяющие элементы; 3 –электрической энергии на клеммы насоса; 4–тепловой диссипационной механической энергии внутри теплоносителя; 5 – диссипационной энергии теплоты конвективно-радиационного типа от поверхности теплогенератора; 6 – тепломеханической энергии к потребителю; 7 – теплоотдачи в виде в виде конвективно-радиационного потока от конвекторов; 8 – диссипационных потерь напора на преодоление сопротивлений конвекторов; 9 – тепломеханической энергии к насосу; 10 – тепломеханической формы энергии к электротеплогенератору.

На основе анализа уравнений (1-12), т.е. постановки задачи исследований для обобщенного блока, субъект для процессов идущих в источнике теплоты (ЭТГ) строит функционал (13)

$$\Delta S = f\left(f_{\text{сеч}}, \text{grad}T, \text{grad}\omega, \lambda_{\text{эф}}, \mu_{эф}, \tau_{\text{эф}}, F_{\text{тепл}}, q_{\text{эф}}, \tau\right), \quad (13)$$

который указывает на связи обобщенного интегрального показателя удельной обобщенной энергии (энтропии) с геометрическими, силовыми и потоковыми параметрами исследуемой линейной (нелинейной) диссипативной неравновесной термодинамической системы. Это характерные геометрические размеры ЭТГ, градиенты температур и скоростей, потоки механической и тепловой форм энергии, свойства теплоносителя и металла, время процесса нагрева теплоносителя[27,],[28],[29].

Экспериментально расчетное знание элементов входящих в функционал (13) позволяет вычислить поток удельной обобщенной энергии (энтропии) с использованием феноменологических уравнений Джоуля – Ленца, Ома, Фурье, Дарси, Вейсбаха для любого блока системы и установки в целом.

Список литературы

1. Игонин В.И.К термодинамическому анализу отопительной системы как структуры диссипативного типа. Журнал РАЕ «Современные наукоёмкие технологии» №11, 2013 год.с.65-69.

2. Игонин, В.И. Методические особенности структуризации научно-исследовательских лабораторно-практических занятий на лабораторно-вычислительном комплексе теплогидравлического типа. В.И.Игонин. Методическое пособие к лабораторно-практическим занятиям(для магистров). – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 34с.

3. Фурмаков Е.Ф.. Выделение тепла при изменении фазового равновесия в струе воды. В сб. «Фундаментальные проблемы естествознания», том I, РАН, СПБ, 1999 г.

4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб пособ.: Для вузов. В 10т. Т. VI. Гидродинамика. – 5 –е изд., стереот. – М.:ФИЗМАЛИТ, 2006. – 736 с.

5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа/Л. Г. Лойцянский.- 3-е издание переработанное и дополненное. Главная редакция физико-математической литературы издательства.- М.: «Наука», 1970 года.

6. Патрашев, А.Н. Прикладная гидромеханика/Под ред. А.Н. Патрашева.//М. – 1970 г. – 605 с.

7. Седов, Л.И. Механика сплошной среды: В 2 т. Т. 1 /Л. И. Седов; гл. ред. Физ.-мат. лит. изд-ва «Наука». – Л.: «Наука», 1976. - 576 с.

8. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика /Л. Прандтль. – М.:ИЛ, 1949.

9. Шерстюк, А.Н. Турбулентный пограничный слой / А.Н. Шерстюк - М.: «Энергия», 1974. - 268 с.

10. Вукалович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. М.,«Энергия»,-1968 г.

11. Андрющенко, А.И. Основы технической термодинамики реальных процессов. Учеб.пособие для вузов. – М.:Высшая школа, 1975. – 264с.

12. Бродянский, В.М. Эксергетические расчеты технических систем: Справоч. пособие. / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Каргеев и др.; Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР Ин-т технической теплофизики. – Киев: Наука думке, 1991. – 360с.

13. Гохштейн, Д.П. Энтропийный метод расчета энергетических потерь. – 2-е изд., перераб. / Гохштейн, Д.П. – Госэнергоиздат, 1963.-112с.

14. Алексеев, Г.Н. Энергоэнтропика /Г.Н.Алексеев,- М.:Знание, 1983. - 194с .

15. Prigogine, I. Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes, Charles C. Thomas, Springfield, III., 1955; русский перевод: Пригожин И.,Введение в термодинамику необратимых процессов. 1960.

16. Дьярмарти, И. Неравновесная термодинамики. Теория поля и вариационные принципы/ И. Дьярмати - М.: МИР, 1974. – 304с

17. Шехтер, Р.С. Вариационный метод в инженерных расчетах/Р.С.Шехтер, перевод с англ.В.Д.Скаржинского, под.ред. А.С.Плешанова – М.: «Мир», 1971. – 289с.

18. Аснин, Я.И. Тепловое подобие, конвективный теплообмен и энтропия/Я.И.Аснин. – Харьков: Изд-во Харьковского Ордена Трудового Красного Знамени Государственного Университета им. А.М.Горького, 1962.

19. Игонин, В.И. Научно-исследовательская работа в семестре. / О.В.Стратунов // Лабораторный практикум. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 90с.

20. 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.

21. Каганович, Б.М. Моделирование термодинамических процессов /Б.М.Каганович. – Новосибирск: Наука, 1993. – 122с

22. Меренков, А.П. Математические условия эквивалентности экстремального и алгебраического описания потокораспределения в цепи/А.П. Меренков//Журнал вычислительной математики и математической физики.- 1973.- №5.- С.15-17.

23. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса/ А.В.Лыков, Ю.А.Михайлов. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. –535 с.

24. Лийв Э.Х. Инфодинамика. Обобщенная энтропия и негээтропия./ Э.Х. Лийв – Таллин, 1998. – 200с.

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

26. Эткин В. А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). . СПб.: Наука, 2008

27. Стратунов. О.В. К построению пространства энергетического состояния электротеплогенерирующей установки/Стратунов. О.В., Игонин. В.И. Вузовская наука – региону: Материалы седьмой всероссийской научно-технической конференции. В 2-х т.-Вологда: ВоГТУ, 2009. – Т.1. – 173-175 с.

28. Игонин, В.И. Методика моделирования воспроизводства энтропии в преобразователе энергии/В.И. Игонин, О.В. Стратунов /Научный журнал Вестник Воронежского государственного технического университета: естественные и технические науки. ГОУ ВПО ВГТУ, №7(6), 2010, июль. – 139 с.

29. Стратунов, О.В. Особенности первичной структурной идентификации энтропийной модели электротеплогидравлического типа./О.В. Стратунов, В.И. Игонин// Научный журнал: Academia архитектура и строительство: Российская академия архитектуры и строительных наук №3 2010, сентябрь.- 428 - 438 с.