УДК 621

# К ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАК СТРУКТУРЫ ДИССИПАТИВНОГО ТИПА

**Игонин В.И.**

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

Работа посвящена анализу на макро уровне применимости диссипативной и интегральной формулировки второго закона термодинамики к модельной структуризации электро тепло гидравлической системы.

**Ключевые слова: моделирование, структура, субъект, децентрализованная система теплоснабжения электро тепло гидравлического типа, диссипативные термодинамические системы, конструирование процесса диссипации, первый и второй законы термодинамики в интегральной диссипативной форме, термодинамический потоковый энергетический анализ отопительной установки**

# TO THE THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE HEATING SYSTEM AS PATTERNS DISSIPATION TYPE

**Igonin V.I.**

*Vologda State Technical University, Vologda, e-mail: igonvlad@yandex.ru*

The work is devoted to the analysis at the macro level, the applicability of a dissipative integral formulation of the second law of thermodynamics to a model structuring of electric and heat hydraulic system.

**Keywords: modeling, structure, subject, a decentralized system of a heat supply of electric and heat hydraulic type, dissipative thermodynamic system, designing the process of dissipation, the first and the second laws of thermodynamics in a dissipative integral form, thermodynamic stream energy analysis of the heating installation**

В работах [1, 2, 3, 4, 5] показано, что при моделировании любой энергетической системы требуется учитывать свойства ее человекомерности. Иначе говоря, модель системы создает человек со свойственным ему мировоззрением и глубиной понимания степени полезности рассматриваемого варианта. Несмотря на то, что модель делает «субъект» он же понимает итеративный характер процесса моделирования и связь апостериорных и априорных факторов, которые взаимно дополняют друг друга. В последнее время «научное сознание» признает важность особой роли диссипативных процессов при составлении энергетических балансов. Субъект считает, что любой энергетический объект это термодинамическая система (ТС) диссипативного типа[2]. Однако традиционная запись классической термодинамикой первого и второго законов не содержит этой энергетической составляющей, что на этапе изучения этой дисциплины затрудняет понимание энергетических преобразований в сложных энергетических системах, в которых присутствуют разные формы существования энергии [3, 4, 5]. Пусть энергия $DE_{\text{окр.ср.1}}$. подводится субъектом из окружающей среды к ТС для создания конечной разности потенциалов, за счет которой совершаются полезные эффекты и идут диссипационные процессы в результате чего структура сохраняет свою индивидуальность. Для моделирования работы отопительной системы субъект описывает запас термомеханической формы энергии уравнением (1) с реализацией возможностей получить слагаемые уравнения (2)

$$DE_{\text{окр.ср.1}}. \rightarrow \Delta Q_{\text{1т.м.}}, \quad (1)$$

$$\Delta Q_{\text{1т.м}}. \rightarrow (DL\text{мех} + \Delta U + \Delta U_{\text{дис}} + DL_{\text{дис}}), \quad (2)$$

где $\Delta U$, $DL$мех. – изменение внутренней энергии и работы потоками рабочего тела (жидкости), $\Delta U_{\text{дис}}$, $DL_{\text{дис}}$ – необходимые расходы внутренней энергии и механической работы на диссипационные процессы. При этом субъект понимает, что диссипационные составляющие увеличивают или уменьшают величины слагаемых внутренней энергии или работы, а также то, что этот «суммарный запас» энергии нужен для создания температурного и механического потенциалов в энергосистеме. Для примера рассматриваются условия диссипационного моделирования на лабораторно-вычислительном комплексе [6]. Фотография лабораторной установки имитирующей схему децентрализованного теплоснабжения показана на рис. 1. Четыре системообразующих элемента комплекса соединены между собой тепловой сетью из пластиковых трубопроводов с помощью фитинговых соеди-

нений. К ним относятся: электротеплогенератор (ЭТГ), циркуляционный насос (ЭН), несколько тепловых конвекторов (ТГ), баки аккумуляторы энергии (БАЭ).

Управление потоками теплоносителя осуществляется с помощью гарнитуры в виде запорных органов (задвижек) и кранов. Организация той или иной технической схемы осуществляется путем изменения пути перемещения теплоносителя в разные координатные точки геометрического пространства [6]. Продуманной последовательностью открытия и закрытия запорных элементов осуществляется движение теплоносителя в нужном направлении для решения той или иной поставленной задачи.

*Рис. 1. Внешний вид лабораторно-вычислительного комплекса*

Основные элементы комплекса следующие:

1. Электротеплогенератор (ЭТГ); 2. Шаровый кран; 3. Манометр стрелочный показывающий МП-16; 4. Циркуляционный насос GrunDfos UPS серии100 25-60; 5. Термосопротивление; 6. Мембранный расширительный бак Reflex; 7. Конвектор Комфорт-20; 8. Водяной счётчик ВСК-25; 9.Фильтр магнитный сетчатый; 10.Обратный клапан; 11. Теплосчётчик СТ10; 12. Баки –аккумуляторы; 13. Сбросной клапан; 14. Кран Маевского; 15. Участок со стеклянной трубой; 16. Элетрическая сеть; 17. Кнопка запуска насоса; 18.Блок управления температурным режимом ЭТГ; 19. Амперметр; 20. Вольтметр.

Системно отдельные группы элементов схемы субъект структурирует в четыре блока. Два блока имитируют систему источник: ЭТГ и ЭН. Один блок – потребитель тепломеханической энергии (ТК и БАЭ). Четвертый блок представляет собой группу элементов тепловой сети (Тес). Потребители и источники энергии связаны водяным циркуляционным контуром Тес за счет энергии ЭН. В целом организована система «источник- приемник» с прямыми и обратными потоковыми энергетическими связями.

На рис. 2 показана модель, в некотором приближении имитирующая энергоустановку для отопления помещения с помощью электро тепло гидравлического конвектора. Энергоустановка помещается в термодинамическую систему (ТС) путем построения ограждающей поверхности, которая отделяют ее от окружающей среды.

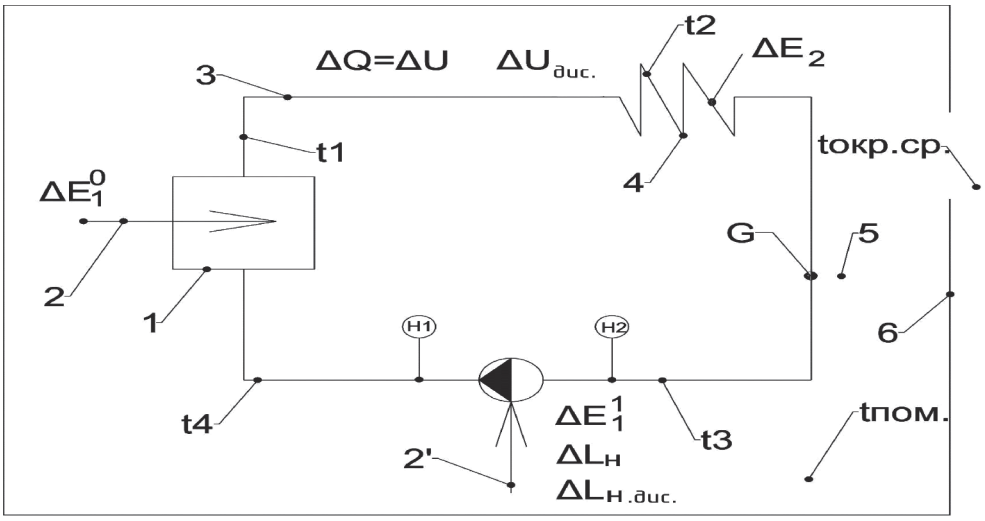


*Рис. 2 Модель диссипативной термодинамической реальности с ограждающей поверхностью*

Диссипативная ТС представляет собой климатическую ячейку со следующими температурными параметрами: $t_1$ – температура теплоносителя в тепловой сети после электротеплогенератора 1, $t_2$ – стенки конвектора, $t_3$ – жидкости перед насосом, $t_4$ – после насоса, температуры помещения – $t_{пом}$, окружающей среды за ограждающей поверхностью – $t_{окр.ср.}$.

К основным климатообразующим потокам энергии относятся потоки электроэнергии $\Delta E_1^0$, который нагревает жидкий теплоноситель до температуры $t_1$, и $<\Delta E_1^1$ – питающий электронасос для создания необходимой механической энергии насоса $H_1$. ЭН совершает работу проталкивания теплоносителя $\Delta L_{н.}$ Гидравлические и термические сопротивления формируют диссипационные составляющие $\Delta L_{дис}$ и $\Delta U_{дис}$. Электрические источники 2, 2' питают электрический насос и ТВэлы теплогенератора. $\Delta Q$ – количество теплоты равное $\Delta U$ попадает в теплоноситель от нагревательных элементов и от диссипации механической энергии в теплоту в насосе $\Delta L_{н.дис}$. $H_2$, $H_1$ – потенциалы механической энергии до и после насоса. $G$ – расход теплоносителя в циркуляционном контуре тепловой сети. $\Delta E_2$ –энергия тепла от конвекторов.

Субъект продолжает параметрический анализ ТС выделяя основные энергетические потоки на рис. 3.

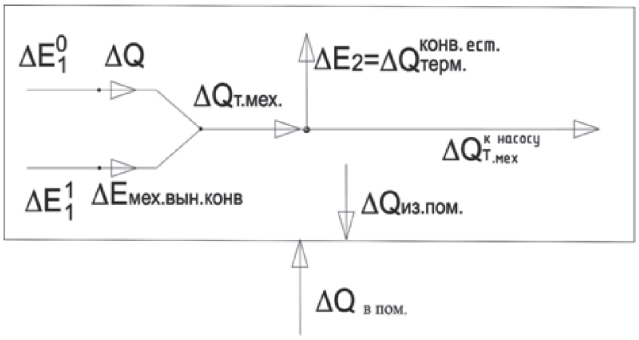


*Рис. 3. Баланс потоков энергии*

Электрическая энергия в общем случае преобразуется в термомеханическую энергию $\Delta Q_{т.мех}$ теплоносителя (рис. 3), которая равна

$$\Delta Q_{т.мех} = \Delta E_{мех.\ вын.\ конв} + \Delta Q, \qquad (3)$$

где $\Delta E_{мех.\ вын.\ конв.}$ – конвективный поток жидкости от насоса, $\Delta Q$ – поток теплоты от теплогенератора. Часть $\Delta Q_{т.мех.}$ уходит в помещение в виде $\Delta E_2$ термомеханического потока естественной конвекции $\Delta Q_{терм.конв.ест}$. Другая ее часть $\Delta Q^{к\ насосу}_{терм.мех.}$ уходит к насосу. Пото-

ки естественной конвекции $DE_2$ поступают в помещение, чтобы поддерживать балансовое соотношение между потоками входящей $\Delta Q_{\text{в.пом.}}$ и выходящей $\Delta Q_{\text{из.пом.}}$теплоты, что сохраняет постоянной температуру $t_{\text{пом.}}$ независимо от изменения температуры окружающей среды $t_{\text{окр.ср}}$.

Субъект систематизирует условия энергообмена в диссипативной термодинамической системе. На рис. 4 субъект показал следующую модельную реальность организованную в виде потокового графа, который учитывает основные перетоки энергии в ТС.

Модель увязывает три блока Т(ТГ), Н-(ЭН),К-(ТК) с помощью основных и диссипационных потоков механической и тепловой форм энергии.

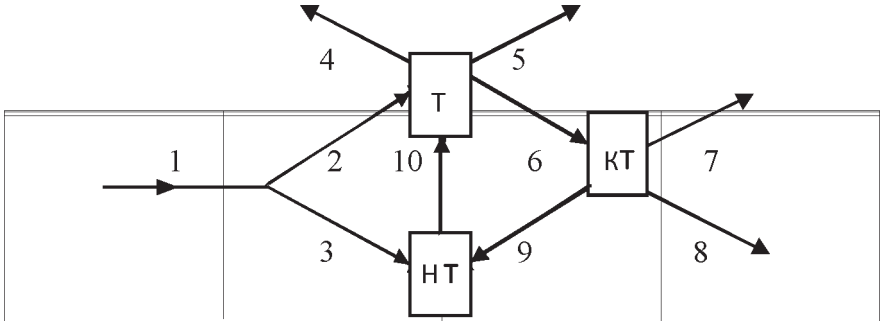


*Рис. 4. Потоковый граф для диссипативной модели системы теплоснабжения: Т – электротеплогенератор (ТГ); Н – циркуляционный насос (ЭН); К – потребитель (ТК) –теплоконвекторы; Вектора связей – потоки энергии: 1 – электрической энергии из электрической сети; 2 – электрической энергии на тепловыделяющие элементы; 3 – электрической энергии на клеммы электродвигателя насоса; 4 – тепловой диссипационной механической энергии внутри теплоносителя в ТГ; 5 – тепловой диссипационной энергии конвективно-радиационного теплообмена от поверхности ТГ; 6 – тепломеханической энергии поступающей к конвекторам; 7 – теплоотдачи в виде конвективно-радиационного потока от конвекторов в окружающую среду; 8 – тепловых диссипативных потерь напора (механической энергии) связанных с преодолением гидравлических сопротивлений конвекторов; 9 – тепломеханической энергии к ЭН; 10 – тепломеханической энергии к ТГ*

Обобщенные условия термодинамического баланса показаны на рис. 5. Поток электрической энергия $I_{\text{эл}}$ имитирует горячий источник теплоты. Из источника выходят эквивалентные потоки количеств теплоты для циклического воспроизводства тепловой $Q_{\text{и.т}}$ и механической форм энергии $Q_{\text{и…м}}$.

Поток тепломеханической энергии $Q_{\text{1.т.м.}}$ состоит из суммы указанных выше составляющих $Q_{\text{и.т}} + Q_{\text{и.м}}$. Он представляет тепломеханическую форму энергии рабочего тела, которая перемещается к холодному источнику. Поскольку при перемещении присутствуют диссипационные составляющие обеих форм энергии, то к холодному источнику подходит поток тепломеханической энергии $Q_{\text{х}}^{\text{пр.}}$.

Естественно он отличается от значений потока $Q_{\text{1.т.м.}}$ на величину значений диссипационного потока $Q_{\text{х.дис.}}^{\text{пр.}}$ в прямом трубопроводе тепломеханической системы.

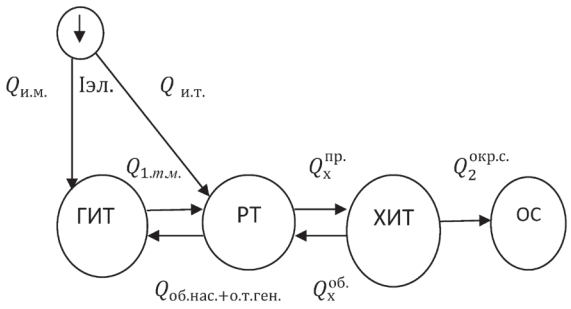


*Рис. 5. Термодинамическая структурная модель энергетической системы*

Субъект отмечает, что увеличение диссипационной составляющей внутренней энергии возможно за счет потока теплоты от необратимого действия сил вязкого трения, с одновременным эквивалентным уменьшением потока механической энергии теплоносителя. В тепловой составляющей изменение энергии диссипационного потока неизбежно за счет явлений необратимого теплообмена и ухода части теплоты внутренней энергии из системы через поверхности трубопроводных подсистем.

Если, например холодным источником теплоты является конвектор, то из тепловой схемы видно, что формируются два потока теплоты. Один поток для теплопередачи его в окружающую среду $Q_2^{\text{окр.с}}$, другой $Q_{\text{х}}^{\text{об}}$ для возврата теплоносителя по обратному трубопроводу в насос и далее в теплогенератор. На этом пути продолжается изменение энергии теплоносителя за счет диссипационных процессов. Механическая составляющая ее увеличивает внутреннюю энергию рабочего тела, а тепловая составляющая ее уменьшает. Появляется еще одна диссипативная составляющая $Q_{\text{хдис}}^{\text{об}}$ в общем энергетическом балансе. Она характеризует условия обратного пути теплоносителя в теплогенератор. Поток энергии после ЭН в количестве $Q_{\text{об.нас+о.т.ген}}$ поступает в ГИТ (теплогенератор) и участвует в формировании потока термомеханической энергии $Q_{\text{1.т.м}}$.

С учетом диссипационных эффектов последовательный ряд энергетических превращений имеет вид (4)

$$J_{\text{ЭЛ.}} \rightarrow (Q_{\text{и.м.}} + Q_{\text{и.т.}}) \rightarrow Q_{\text{1.т.м.}} \rightarrow Q_{\text{х}}^{\text{пр.}} \rightarrow (Q_2^{\text{окр.с.}} + Q_{\text{х}}^{\text{об.}}) \rightarrow Q_{\text{об..нас.+ о.т. ген}}. \quad (4)$$

Субъект 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 в системе (ЭН, ЭТГ) питаются электрической энергией. Источники энергии разнородные потому, что рабочее тело получает от электрического насоса механическую форму энергии, теплогенератор питает РТ тепловой ее формой. Рабочее тело перемещается в тепловой сети по кольцевой системе. За счет источника электрической энергии имеет место термодинамический цикл с изменением внутренней энергии рабочего тела и с совершением работы. В окружающую среду ОС уходит теплота от холодного источника. Если поток теплоты ОС влияет на параметры микроклимата в помещении, то для этой же цели уместно использовать диссипационные составляющие гидротермической энергии теплоносителя.

Таким образом, субъект иллюстрирует методологическое удобство использования «свойств диссипативности и интегральности» первого и второго законов термодинамики на примере рассмотрения нескольких термодинамических моделей как объективной (рис. 1), так субъективных реальностей рис. 2, 3, 4, 5. Формулы (1), (2) обеспечивают условия моделирования процессов в диссипативной термодинамической системе. Формула (4) учитывает все диссипативные слагаемые в (2) и в моделях всего комплекса тепломеханических структур участвующих в последовательном ряду энергопревращений [5, 6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игонин В.И. Особенности системной идентификации человекомерной модели функционирования технической энергосистемы./ В.И. Игонин // Современные наукоёмкие технологии. № 1, 2013. С. 22-26.

2. Игонин В.И., Модельная структуризация и синергетический анализ энерготехнической системы / В.И. Игонин // Современные наукоёмкие технологии. № 5, 2013. С. 39-45.

3. Игонин, В.И. Проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки / В.И. Игонин // Международный научно-исследовательский журнал. Часть1. 5(5). 2012. С.93-94. http://research-journal.org.

4. Игонин, В.И. Об очевидности проявления свойств интегральности при системном термодинамическом анализе энергетической установки / В.И. Игонин // Вестник Череповецкого государственного университета. № 1(45). 2013. С. 12-14.

5. Игонин, В.И. Методология научных исследований и научно-техническое развитие «субъекта»: учебное пособие / В.И. Игонин. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 111 с.

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