

Автореферат М
М80

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА

На правах рукописи

МОРОЗЮК Татьяна Владимировна

СХЕМНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ В
ИХ СОСТАВ АБСОРБИЦИОННЫХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ

Специальность: 05.14.05 - Теоретические основы
теплотехники;
05.04.03 - Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем
кондиционирования

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1994

Работа выполнена в Одесской государственной академии холода

Научный руководитель	- доктор технических наук, академик Б.А.Минкус
Научный консультант	- доктор технических наук, профессор Р.К.Никульшин
Официальные оппоненты	- доктор технических наук, профессор Б.Х.Драганов доктор технических наук, профессор Г.К.Лавренченко
Ведущая организация	- Институт технической теплофизики АН Украины

Защита диссертации состоится 22 июня 1994 года в
11 час. на заседании специализированного совета К.068.27.01
при Одесской государственной академии холода по адресу :

270100, г.Одесса, ул.Петра Великого, 1/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 20 мая 1994 года.

Ученый секретарь
специализированного совета

Р.К.Никульшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем.

Уровень обеспечения общества всеми видами энергии оказывает значительное и непосредственное влияние на решение технических, экономических, экологических и социальных задач. Полное энергетическое оснащение потребителя включает в себя наличие электричества, теплоты и холода. Оно может осуществляться как централизованно, так и от локальных, так называемых, систем малой энергетики.

Системы малой энергетики для одновременного теплохладозлектроснабжения предлагались еще в 50-ых годах, но несмотря на присутствие им преимуществ (отсутствие потерь энергии на транспортировку) не нашли достаточного применения из-за низкой эффективности теплонасосного (холодильного) контура и отсутствия необходимых технологий по изготовлению элементов силового контура.

При существующем высоком уровне мировых технологий повышение эффективности установки теплохладозлектроснабжения (ТХЭЦ) по использованию начальной энергии топлива, эксергетическому КПД и выбросам углекислого газа возможно при включении в их состав абсорбционных термотрансформаторов. Повышение эффективности абсорбционных термотрансформаторов возможно путем интенсификации процессов в термохимическом компрессоре методом донасыщения крепкого раствора парами хладагента в дополнительном абсорбере.

Таким образом проблема создания ТХЭЦ как систем малой энергетики с высокими потребительскими показателями является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы.

Создать новые, энергетически и экологически более эффективные в сравнении с существующими схемы систем ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами. На базе известных представлений о повышении эффективности абсорбционных термотрансформаторов создать их новые схемы. Разработать обобщенные математические модели систем абсорбционных термотрансформаторов как отдельно, так и в составе ТХЭЦ, и разработать общие методы системного анализа и расчета структуры таких систем и их технологической топологии, пригодных для САПР-электротеплохолод на этапе их функционального проектирования.

XV 1151
ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Научная новизна:

1. Разработаны новые схемы ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами.

2. Показано, что эффективность абсорбционного термотрансформатора зависит от донасыщения крепкого раствора в процессе абсорбции; разработаны схемные решения для осуществления процессов донасыщения.

3. Разработана теория обратного ректификатора абсорбционного термотрансформатора, позволяющая изменить структуру машины и интенсифицировать процесс абсорбции без затраты дорогостоящей низкотемпературной охлаждающей среды.

4. Разработан обобщенный метод математического моделирования и структурного анализа систем ТХЭЦ на основе теоретико-графовых представлений схем абсорбционных термотрансформаторов в форме их параметрических и эксергетических потоковых графов.

5. Разработан метод эквивалентирования схем абсорбционных термотрансформаторов путем декомпозиции сложных элементов и их идентификации.

6. Создана концептуальная модель выбора системы ТХЭЦ и комплексной оценки ее эффективности по экономическому, энергетическому, экологическому и социальному факторам.

Научные положения, защищаемые в диссертации:

1. Повышение эффективности установок малой энергетики для электротеплохладоснабжения (по эффективности использования начальной энергии топлива, эксергетическому КПД и выбросам углекислого газа) возможно при включении в их состав абсорбционных термотрансформаторов.

2. Повышение эффективности абсорбционных термотрансформаторов возможно путем расширения зоны дегазации методом донасыщения крепкого раствора парами хладагента в дополнительном абсорбере.

Практическая ценность работы заключается в разработке общих методов автоматизированного расчета ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами, отвечающих требованиям САПР-электротеплохолод на этапе их функционального проектирования. Практическую ценность представляют также схемы ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами и абсорбционных термотрансформаторов с расширенной зоной дегазации при многоцелевом использовании начальной энергии топлива.

Публикации: по материалам диссертации опубликовано 7 работ.

ВХОДНО-ТАЛОННИЙ
ТХЭЦ
ТАЛОННИЙ

Апробация работы. Результаты работы докладывались на: Респ. конф. "Энергосбережение в сельском хозяйстве", Киев, 1990г.; Респ. науч.-техн. конф. "Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК", Киев, 1991г.; Всесоюз. науч.-техн. конф. "Холод - народному хозяйству", Ленинград, 1991г.; 59-ой науч.-техн. конф. ОИИТЭ, 1992г.; ежегодной науч.-техн. конф. Укр. госуд. аграрного универс., Киев, 1993г.; III съезде Ассоц. инженеров по вентиляции, отоплению и кондиционированию, Москва, 1993г.

Структура и объем диссертации: диссертация изложена на 112 стр. машинописного текста, иллюстрируется 45 рисунками, содержит 12 таблиц и состоит из введения, 3 глав, выводов и списка литературы из 95 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Теплохладоэлектроцентрали с абсорбционными термотрансформаторами.

Проведенный анализ существующих и предлагаемых систем ТХЭЦ в качестве перспективных выделил системы с абсорбционными термотрансформаторами, аммиаком и водометиановым раствором в качестве рабочих веществ и природным или биогазом, зводящим в качестве первичного топлива. На основании рассмотрения существующих и разработки новых систем ТХЭЦ в работе предложена концептуальная модель выбора таких систем. Эффективность системы оценивается одновременно по четырем критериям: энергетическому, экономическому, экологическому и социальному. В качестве определяющих приняты энергетический и экологический, поскольку обуславливают возможность и среду обитания человечества в целом, в то время как экономический и социальный факторы обладают большой степенью конкретизации. Концептуальная модель позволяет на стадии предпроектных разработок и проектирования решить вопрос об экономической целесообразности применения той или иной системы ТХЭЦ в зависимости от климатических условий и потребности в отоплении, горячем водоснабжении, холоде и т.п.

Проведенные исследования позволили автору совместно с Б.А. Минкусом предложить три новых системы ТХЭЦ: с газо-турбинным двигателем, с двигателем внутреннего сгорания и с агрегатом турбина-электрогенератор, совмещенных с абсорбционным термотрансформатором.

Схема ТХЭЦ с агрегатом турбина-электрогенератор представлена на рис. 1а.

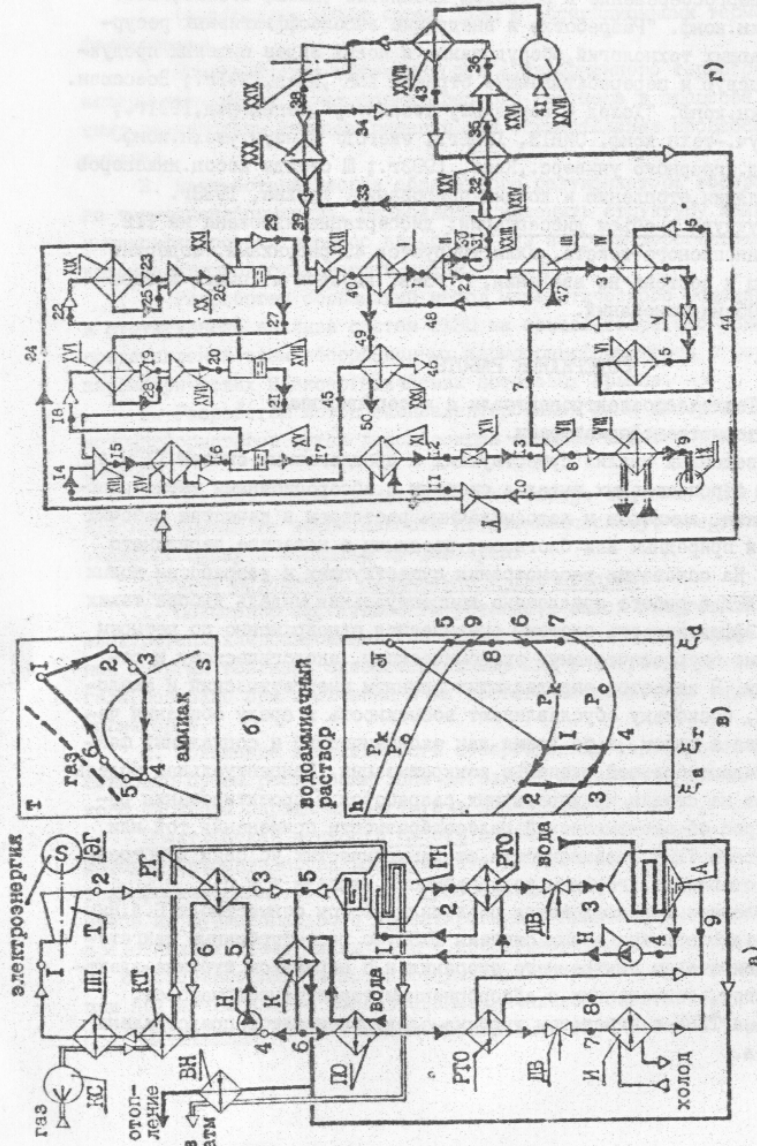


Рис. 1 ТХЭЦ с агрегатом турбина-электрогенератор и абсорбционным термотрансформатором: а) схема; б) цикл силового контура; в) цикл теплоносного контура; г) схема-эквивалент.

Результаты энергетического расчета установки анализировались по эффективности использования начальной энергии топлива (методика комиссии по тепловым насосам ЕЭС) и составили 114%. Данные для расчета и результаты иллюстрируются диаграммой потоков энергии, приведенной на рис.2. Эксергетический КПД системы ТХЭЦ определяется по зависимости, характерной для расчета сложных энергетических систем

$$\eta_{ex}^* = \sum_l \eta_{ex}^l \beta_l - \sum_k (1 - \eta_{ex}^k) \beta_k; \quad (1)$$

$$\beta_k = E_k / E_p^k; \quad \eta_{ex}^l = 1 - P_l / E_p^l; \quad \eta_{ex}^k = 1 - P_k / E_p^k,$$

где l, k - головные и неголовные элементы системы соответственно;
 β_k, β_l - коэффициенты влияния;
 E_p^l, P_l, E_p^k, P_k - эксергетические потери в k, l - элементах;
 E_p^l, E_p^k - располагаемая эксергия элементов, системы в целом.
 Результаты эксергетического расчета показали, что объединение силового контура с абсорбционным термотрансформатором повышает эксергетический КПД системы ТХЭЦ в целом на 5...10% (в зависимости от сезонного соотношения выработки холода и электроэнергии) против раздельного получения всех видов энергии.

Критерий оценки вредного влияния системы ТХЭЦ на окружающую среду определялся как

$$B = \sum_{i=1}^k a_i \psi_i; \quad (2)$$

где ψ_i - вредное экологическое воздействие;
 a_i - экологический ущерб, приходящийся на единицу производительности установки.

Главными экологическими критериями для энергетических установок являются сбросы теплоты и вредных веществ в окружающую среду. В системах ТХЭЦ обеспечивается полная утилизация теплоты. Выброс вредных веществ формализован отношением количества выбрасываемого углекислого газа на кВт производительности ТХЭЦ. Номограмма на рис.3 указывает, что выбросы в рассматриваемой системе ТХЭЦ составляют 0,1 кг/кВт вырабатываемой тепловой и холодильной мощности, что в 1,2 раза меньше лучших образцов компрессионных тепловых насосов с затратой механической работы.

Весторонний анализ системы ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами указывает на ее преимущество перед другими системами ТХЭЦ по следующим причинам: отказ от традиционных низкотемпературных источников энергии для тепловых насосов; отсутствие шума и вибраций; полная утилизация теплоты.

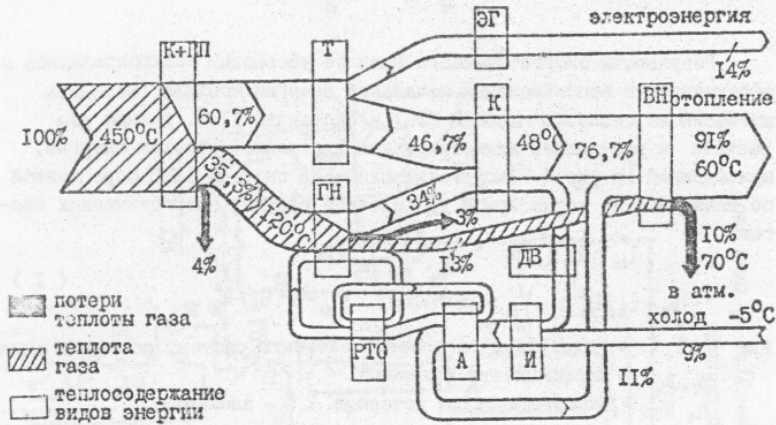


Рис.2 Диаграмма потоков энергии в ТХЭС с агрегатом турбина-электрогенератор и абсорбционным термотрансформатором.

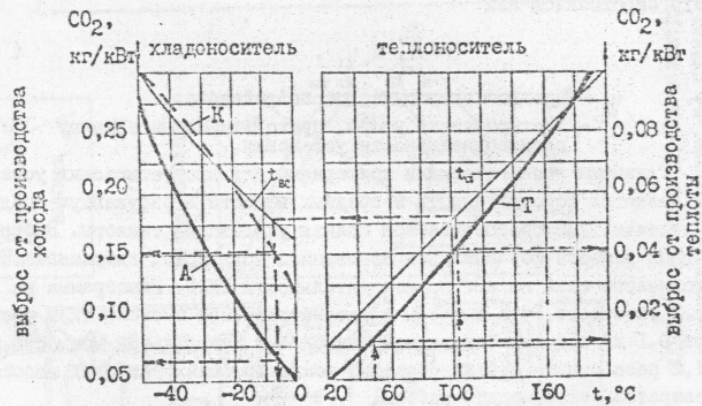


Рис.3 Выбросы углекислого газа в зависимости от температуры тепло- и хладоносителя: Т - теплоноситель; А - хладоноситель в абсорбционном тепловом насосе; К - хладоноситель в компрессионном тепловом насосе; t_a - теплоноситель для обогрева генератора абсорбционного теплового насоса; t_{ac} - вспомогательная линия.

2. Интенсификация процессов в абсорбционных термотрансформаторах.

Всесторонние исследования абсорбционных термотрансформаторов показали, что их работа напрямую связана с работой термохимического компрессора, а необратимости в его элементах - генераторе, ректификаторе и абсорбере - преобладают среди других, поэтому именно эти процессы должны быть интенсифицированы.

Одновременная интенсификация трех процессов возможна путем увеличения концентрации крепкого раствора на выходе из абсорбера. Общеизвестными методами увеличения концентрации являются: понижение температуры охлаждающей абсорбер среды и организация ступенчатой абсорбции при постоянной температуре охлаждающей среды.

Автором, совместно с Б.А. Минкусом предложены новые способы повышения концентрации крепкого раствора путем донасыхания его парами хладагента:

- низкого давления - из испарителя в обратном ректификаторе;
- среднего давления - из отделителя жидкости после первой ступени дросселирования в основном процессе в промежуточном абсорбере;
- высокого давления - из генератора путем эжектирования в промежуточном абсорбере.

В качестве примера на рис.4 приведена схема и цикл термохимического компрессора абсорбционного термотрансформатора с обратным ректификатором, который представляет собой тарельчатый абсорбер, работающий при том же давлении, что и основной абсорбер и объединенный с ним в одном кожухе. Температурный уровень охлаждающей среды для обратного ректификатора должен быть ниже, чем для основного абсорбера и меньшие его значения соответствуют большей эффективности прохождения процесса.

Включение обратного ректификатора в схему позволяет повысить эффективность абсорбционного термотрансформатора в целом, а использование внутренних источников охлаждения в качестве охлаждающей среды для обратного ректификатора позволяет достигать оптимальных режимов работы вне зависимости от температурного уровня внешней охлаждающей среды.

Кратность циркуляции крепкого раствора в термохимическом компрессоре при включении обратного ректификатора будет составлять

$$f = \frac{\xi_d - \xi_a}{\xi_r - \xi_a} - \psi \frac{\xi_{10} - \xi_{10}}{\xi_r - \xi_a} \quad (3)$$

Масса пара, поглощаемого укрепленным раствором в обратном ректификаторе для получения раствора высшей концентрации:

$$X_{op} = \psi \frac{\xi_{10} - \xi_r}{\xi_4^n - \xi_r} - \frac{\xi_d - \xi_4^n}{\xi_4^n - \xi_r} \quad (4)$$

Количество теплоты, необходимое для охлаждения обратного ректификатора

$$q_{op} = \psi (h_4 - h_{10}) + X_{op} (h_4^n - h_4) - (h_4^s - h_2) \quad (5)$$

Кратность циркуляции растворов (крепкого раствора и раствора высшей концентрации) рассчитываются аналогичным образом для любых способов донасыщения.

Оптимальным считается режим, в котором кратность циркуляции раствора высшей концентрации $\psi = 1$, т.е. вся теплота дефлегмации отводится раствором, что дает возможность отказаться от дополнительного водяного дефлегматора, что уменьшает металлоемкость машины.

Процесс донасыщения крепкого раствора в процессе абсорбции позволяет сократить расход теплоты генератора, теплоты основного абсорбера, а следовательно, энергии на привод насосов крепкого раствора, снизить металлоемкость всей машины, включая конденсатор и испаритель, повысив таким образом тепловой коэффициент абсорбционного термотрансформатора в целом.

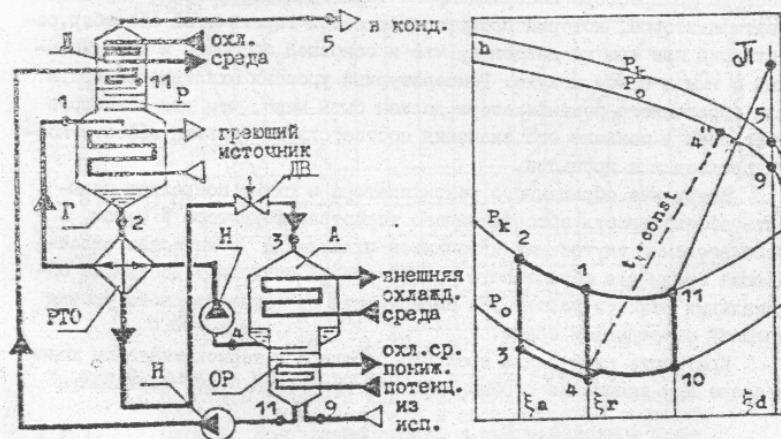


Рис.4 Схема (а) и цикл (б) термохимического компрессора абсорбционного термотрансформатора с обратным ректификатором.

3. Математическое моделирование схем, основных элементов и процессов в системах ТХЭЦ.

Математическая модель, отображающая систему ТХЭЦ представляет собой систему отношений между переменными, в число которых входят термодинамические и расходные параметры, характеризующие режимы работы системы, а также переменные, отражающие свойства ее элементов и структуры в целом.

Методы математического моделирования позволяют разработать математическую модель системы ТХЭЦ в виде функционального оператора, осуществляющего нелинейные преобразования вида

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= \bar{F}_y (\bar{X}, \bar{U}, \bar{K}, \bar{G}) \\ \bar{\Phi} &= \bar{F}_\phi (\bar{X}, \bar{U}, \bar{K}, \bar{G}) \\ \bar{Z} &= \bar{Z} (\bar{X}, \bar{U}, \bar{K}, \bar{G}) \end{aligned} \quad (6)$$

- где \bar{Y} - вектор выходных параметров системы;
 $\bar{\Phi}$ - вектор параметров функциональных характеристик системы;
 \bar{U} - вектор входных внешних параметров системы;
 \bar{F}_y, \bar{F}_ϕ - нелинейные вектор-функции;
 \bar{X} - вектор входных внутренних параметров системы;
 \bar{K} - вектор конструктивных параметров элементов системы;
 \bar{G} - технологическая топология схемы системы;
 \bar{Z} - нелинейная функция критерия эффективности.

ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами является сложной системой с большой степенью совмещения тепло-массообменных процессов в одном аппарате. Это повлекло за собой при создании математической модели необходимость эквивалентирования схемы, т.е. представление системы простым набором элементов, которые в целом эквивалентны рассматриваемой системе относительно функционирования и свойств. На рис.1б изображена схема-эквивалент действительной.

При решении задачи анализа ТХЭЦ использован теоретико-графовый метод их представления с последующим переходом к алгебраическому описанию структуры исследуемой системы и возможностью сведения исходной задачи к известным алгоритмам теории графов.

Если изобразить систему в виде графа $G(A, \Gamma)$, где вершины - это элементы систем, в дуги - физические потоки между элементами, то будет получен граф, для которого

- $G(A, \Gamma) \neq G(A, \Gamma^{-1})$ - ориентированность;
- $\forall a_i \in A, \hat{\Gamma}(a_i) = A$ - связность;
- $\forall a_i \in A, \forall a_j \in A, (a_i, a_j) \in A \Rightarrow (a_j, a_i) \in A (i \neq j)$ - антисимметричность;
- $(a_j, a_i) \in A$ - неполнота,

и который описывает топологию этой системы и является ее строгой математической моделью.

Для расчетов и анализа свойств системы использовались параметрический потоковый граф (ППГ) – рис.5 и эксергетический потоковый граф (ЭПГ) – рис.6. Запись матриц инцидентий ППГ и ЭПГ позволяет перенести структуры потоковых графов на язык алгебры, что в свою очередь позволяет организовать программные процедуры расчета схем на ЭВМ.

Математическая модель любого из элементов системы представляется аналогично (6), но относится к каждому конкретному элементу в отдельности. Например, для i -го элемента

$$\begin{aligned} \bar{y}_i &= f_{y_i}(\bar{x}_i, \bar{u}_i, \bar{k}_i, \Gamma_i) \\ \bar{\phi}_i &= f_{\phi_i}(\bar{x}_i, \bar{u}_i, \bar{k}_i, \Gamma_i) \\ \psi &= (p, T, h, p, \xi) \end{aligned} \quad (7)$$

- где \bar{y}_i – вектор выходных параметров i -го элемента;
 $\bar{\phi}_i$ – вектор функциональных характеристик i -го элемента;
 f_{y_i}, f_{ϕ_i} – нелинейные вектор-функции i -го элемента;
 \bar{x}_i – вектор входных внутренних параметров i -го элемента;
 \bar{u}_i – вектор входных внешних параметров i -го элемента;
 \bar{k}_i – вектор конструктивных параметров i -го элемента;
 Γ_i – топология подключения i -го элемента;
 ψ – вид уравнения состояния.

Система (7) для теплообменных аппаратов, представляющих абсолютное большинство среди других элементов систем ТХЭЦ, может быть представлена в виде системы уравнений

$$\begin{aligned} \bar{x}_{T_0} &= \{ p_{j2}, h_{j2}, h_{j2}^I, h_{j2}^II, h_{j1}, h_{j1}^I, h_{j1}^II, G_{j2}, G_{j2}^I, G_{j2}^II, \xi_{j2}, \xi_{j2}^I, \xi_{j2}^II \} \\ \bar{\phi}_{T_0} &= \{ s_{j2}, h_{j2}, p_{j2}, \xi_{j2} \} \quad \text{или} \quad \psi_{T_0} = \{ t_{j2}, s_{j2}, p_{j2}, \xi_{j2} \} \\ \bar{u}_{T_0} &= \{ t_{cp} \} \quad \text{– для ТО, взаимодействующих с окружающей средой} \\ \bar{\Gamma}_{T_0} &= \{ \Phi \} \quad \text{– для регенеративных теплообменников} \\ \bar{\phi}_{T_0} &= \{ Q, N_{cp} \} \\ \bar{k}_{T_0} &= \{ d_n, d_{bn}, F_n, F_{bn}, d_p, \delta_p, s_p, s_n, s_2, l_T, n_{3ax}, z \} \\ \bar{H}_{T_0} &= \{ V_c, F_{3m}, D_c, H, H_1, H_2, H_3 \} \end{aligned} \quad (8)$$

и обобщенная математическая модель:

$$\begin{aligned} \bar{f}_1^{T_0} &\rightarrow h_{j2} = f_1^{T_0}(h_{j2}, h_{j2}^I, h_{j2}^II, h_{j1}, h_{j1}^I, h_{j1}^II, G_{j2}, G_{j2}^I, G_{j2}^II, \xi_{j2}, \xi_{j2}^I, \xi_{j2}^II) \\ \bar{f}_2^{T_0} &\rightarrow Q = f_2^{T_0}(k, F_n, \theta) \end{aligned}$$

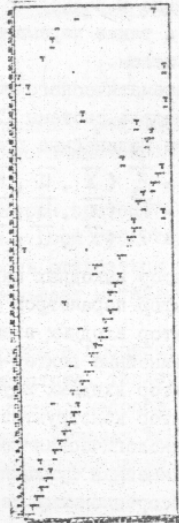
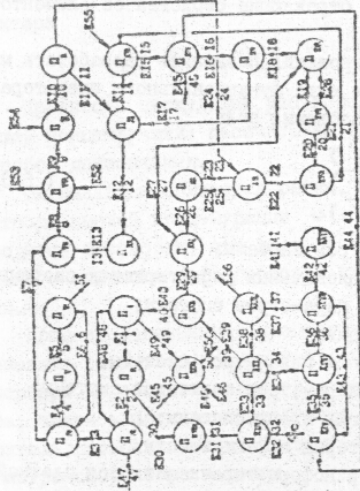


Рис.6 Эксергетический потоковый граф системы ТХЭЦ, изображенной на рис.1.

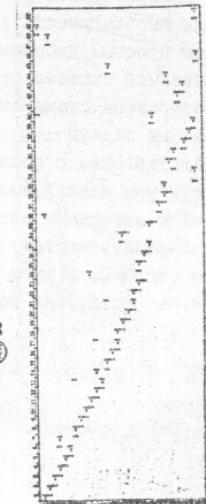
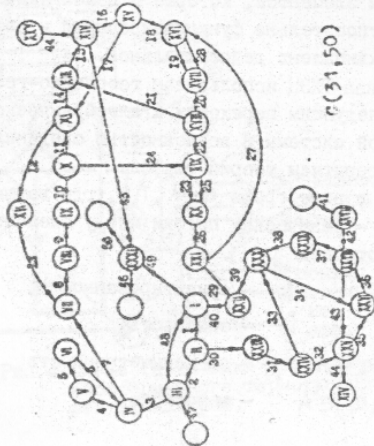


Рис.5 Параметрический потоковый граф системы ТХЭЦ, изображенной на рис.1.

$$\begin{aligned}
 f_{13}^{T_0} &\rightarrow Q_{13} = f_{13}^{T_0}(Q, \alpha_{13}, F_{13}) \\
 f_{14}^{T_0} &\rightarrow Q_{14} = f_{14}^{T_0}(Q, \alpha_{14}, F_{14}) \\
 f_{15}^{T_0} &\rightarrow k = f_{15}^{T_0}(\alpha_{15}, \alpha_{16}, d_{15}, d_{16}, \beta, \delta_{15}, \delta_{16}, \lambda_{15}, \lambda_{16}, \lambda_{17}) \quad (9) \\
 f_{16}^{T_0} &\rightarrow \alpha_{16} = f_{16}^{T_0} \\
 f_{17}^{T_0} &\rightarrow \alpha_{17} = f_{17}^{T_0} \\
 f_{18}^{T_0} &\rightarrow \Delta p_0 = f_{18}^{T_0} \\
 f_{19}^{T_0} &\rightarrow \Delta p_0 = f_{19}^{T_0} \\
 f_{20}^{T_0} &\rightarrow G = f_{20}^{T_0}(D_c, \beta_n, w_n)
 \end{aligned}$$

Конкретизация связей (9) осуществляется по известным литературным источникам в зависимости от типа аппарата и вида теплообмена в нем. Система (9) замыкается балансными уравнениями:

- уравнение баланса расходов потока j в i -ом элементе

$$\sum_{j=1}^k G_j m_{ij} = 0; \quad (10)$$

- уравнение подкомпонентного баланса для смеси потока j в i -ом элементе

$$\sum_{j=1}^k G_j m_{ij} \xi_j = 0; \quad (11)$$

- уравнение баланса энергии i -го элемента с учетом топологии схемы при его взаимодействии с j -ым потоком

$$\sum_{j=1}^k G_j m_{ij} h_{ij} \xi_j + N_i = 0 \quad (12)$$

где N_i - внешняя энергетическая нагрузка на i -ый элемент;

- уравнение гидравлического баланса потока j в i -ом элементе

$$\sum_{j=1}^k P_j m_{ij} + \Delta p_i = 0 \quad (13)$$

- уравнение изменения энтальпии потока j в i -ом элементе

$$\sum_{j=1}^k h_j m_{ij} + \Delta h_i = 0. \quad (14)$$

Прикладное программное обеспечение (ППО) для расчета термодинамических и теплофизических параметров рабочих веществ, теплового расчета цикла, тепловых, конструктивных и гидродинамических характеристик элементов абсорбционного термотрансформатора составили программы и подпрограммы, разработанные и опробованные на кафедре холодильных машин ОГАХ.

По ППО была проведена проверка адекватности математических моделей элементов абсорбционного термотрансформатора реальным процессам, протекающим в нем, путем сравнения расчетных данных с экспериментальными данными других авторов и по паспортным данным на комплектующее оборудование.

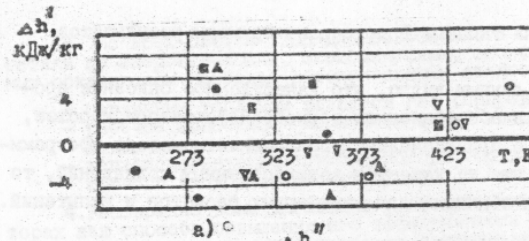
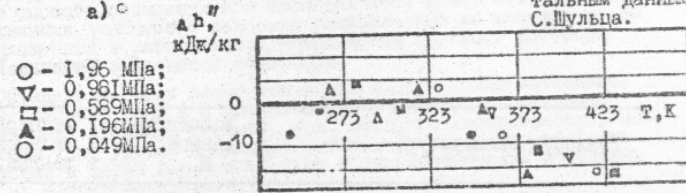


Рис.7 Отклонение значений энтальпии водоаммиачного раствора (а) и пара (б) на линии насыщения, рассчитанных по соответствующим уравнениям и полученными экспериментальными данными С.Шульца.



б)

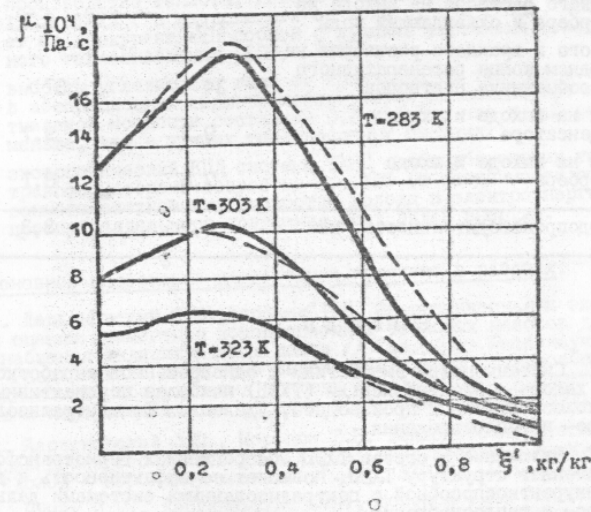


Рис.8 Коэффициент динамической вязкости водоаммиачного раствора на линии насыщения: — эксперимент А.А.Заторского; — расчет по соответствующим уравнениям.

На рис.7 и 8 и в таблице I приведены примеры результатов сравнения.

Из приведенных данных видно, что качественное описание процессов, протекающих в абсорбционном термотрансформаторе, хорошее, что свидетельствует о принципиальной правильности метода программного моделирования, что же касается количественных совпадений, то расхождения являются обычными для инженерных расчетов и испытаний.

Таблица I

Разности температур	: расчетные : данные, : К	: эксперимен- : тальные : данные, К
грешного пара и слабого раствора на выходе из генератора	22,4	23,6
конденсации и охлаждающей воды	6,3	5,2
крепкого раствора на выходе из абсорбера и охлаждающей воды	10,7	9,1
слабого и крепкого растворов на холодном конце регенеративного теплообменника растворов	34	37
воды на выходе и входе конденсатора	9,3	9,7
воды на выходе и входе абсорбера	7,6	8,1
холодопроизводительность, кВт	3,7	3,3

Выводы

1. Системы малой энергетики с одновременной выработкой теплоты, холода и электроэнергии (ТХЭЦ) наиболее перспективны для сельскохозяйственных производств, удаленных от централизованного электро- и теплоснабжения.

2. Включение в состав ТХЭЦ абсорбционных термотрансформаторов изменяет структуру ТХЭЦ, повышает ее эффективность и делает ее конкурентноспособной с централизованными системами дальнего электро- и теплоснабжения.

3. Из всех систем ТХЭЦ для современного состояния малой энергетики по энергетическим, экономическим, экологическим и социальным показателям наиболее перспективными являются те, в которых:

- первичным топливом является газ (природный газ или биогаз);
- рабочее вещество - озонобезопасный хладагент (аммиак или водоаммиачный раствор);
- теплоиспользующий термотрансформатор в качестве теплонасосного (холодильного контура).

4. Расширение зоны дегазации в абсорбционных термотрансформаторах как способа повышения его эффективности может быть достигнуто различными методами, наиболее рациональным из которых является предложенный в работе метод донасыщения крепкого раствора парами хладагента в процессе абсорбции.

5. Объединение всех элементов холодильного (теплонасосного) контура и силового ТХЭЦ (с известным математическим описанием каждого из них) в единую систему, т.е. создание математической модели системы ТХЭЦ удобно проводить в терминах теоретико-графовых представлений в форме параметрических и энергетических потоковых графов и их матриц инцидентий.

6. Расчеты предложенных в работе схем ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами и их сравнение с результатами известных расчетов и экспериментов показали, что:

- эффективность использования начальной энергии топлива при производстве теплоты, холода и электричества составляет 114...122% (в зависимости от конструкции ТХЭЦ), что делает ее конкурентноспособной с лучшими системами теплонасосного теплоснабжения (100...150%);
- выбросы углекислого газа от производства теплоты и холода в абсорбционных термотрансформаторах на каждый кВт вырабатываемой мощности составили 0,1 кг/кВт, что в 1,2 раза меньше, чем в лучших теплонасосных системах;
- энергетический КПД системы ТХЭЦ с абсорбционными термотрансформаторами возрос на 5...10% (в зависимости от сезонного соотношения выработки холода и электроэнергии) против раздельного получения всех видов энергии.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Ларьяновский С.Ю., Морозюк Т.В. Энергетическая и экологическая оценка применения компрессионных тепловых насосов для теплоснабжения индивидуальных домов // Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. "Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК", Киев, КТИИП, 1991.-С.508.

2. Ларьяновский С.Ю., Морозюк Т.В. Теплонасосная установка для индивидуального жилого дома // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Холод - народному хозяйству".-Л., ЛТИХП, 1991.-С.42.

3. Чумак И.Г., Ларьяновский С.Ю., Морозюк Т.В. Теплонасосная установка для индивидуального жилого дома // Холод. техника и технология, науч.-техн. сб.- Киев.- 1991.-вып.53.-С.3-6.

4. Чумак И.Г., Минкус Б.А., Кочетов В.П., Морозик Т.В., Юсеф А. Энергосбережение при совместном производстве теплоты, холода и электричества // Судовая энергетика.-Одесса.-1993.-№1.-С.58-61.

5. Морозик Т.В., Минкус Б.А. Снижение затрат природных ресурсов в системах для совместного производства электрической энергии, теплоты и холода // Сб. докладов III съезда АВОК.- М.,1993.-С.38-43.

6. Морозик Т.В. Концептуальная модель выбора бытового теплового насоса // Деп. в ГНД Украины, 25.01.94, №200-Ук94, Киев, 1994.

7. Минкус Б.А., Никульшин Р.К., Морозик Т.В. Принцип создания математической модели сложной абсорбционной холодильной системы // Деп. в ГНД Украины, 3.05.94, №338Ук94, Киев, 1994.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

D, d - диаметр; F - площадь; f - кратность циркуляции; G - расход; H - геометрические размеры; h - удельная энтальпия; k - коэффициент теплопередачи; l - длина; m_{ij} - матрица инцидентий; N - мощность; n - количество; P - давление; Q - теплота; q - удельная теплота; S, s - геометрические параметры; s - удельная энтропия; T, t - температура; V - объем; z - количество; α - коэффициент теплоотдачи; δ - толщина; η - КПД; θ - температурный напор; ξ - концентрация по аммиаку; π - теоретический полес очистки; ρ - плотность; φ - кратность циркуляции; ω - скорость.

И Н Д Е К С Ы

верхние: o - объемный; TO - теплообменник; F - поверхностный;
нижние: sr - среда; n - наружный; vn - внутренний; p - ребро;
 t - труба; $зах$ - заход; $з$ - загрязнение; $ст$ - стенка; $с$ - сосуд;
 $эм$ - эмеевик; $п$ - пар; $ех$ - эксергетический; $а$ - слабый раствор;
 $г$ - крепкий раствор; d - пар хладагента.

ОБОЗНАЧЕНИЯ НА СХЕМАХ

КС, XXVII - камера сгорания; ЭГ - электрогенератор; Т, XXIX - турбина;
III, XXVIII - пароперегреватель; КТ, XXV - котел; ВН, XXXI - водонагреватель;
РГ, XXX - регенератор; Н, IX, XXIII - насос; К, I - конденсатор;
ПО, III - переохладитель; РТО, IV, XI - регенеративный ТО; ДВ, XII, V - дроссельный вентиль; И, VI - испаритель; А, (VII+VIII) - абсорбер;
Г, ГН (XIII - XXI) - генератор; П, XXIV, X - разделитель; ХХI, XXVI - смеситель; Д - дефлегматор; Р - ректификатор; СР - обращенный ректификатор.