

## Компьютерная модель расчета показателей работы системы теплоснабжения жилого массива

САФЬЯНЦ А.С., ГРИДИН С.В., ПОПОВ А.Л., САФОНОВА Е.К., БЕЗБОРОДОВ Д.Л.

Донецкий национальный технический университет

Рассматривается компьютерная модель процесса теплоснабжения позволяющая решить проблему соответствия параметров теплоносителя нормативным показателям и определить показатели качества предоставления услуг горячего водоснабжения и отопления. Компьютерная модель и реализующий ее программный комплекс рекомендованы для проведения численных исследований при проектировании систем теплоснабжения жилых массивов.

Розглядається комп'ютерна модель процесу теплопостачання, що дозволяє вирішити проблему відповідності параметрів теплоносія нормативним показникам і визначити показники якості надання послуг гарячого водопостачання та опалення. Комп'ютерна модель і реалізує її програмний комплекс рекомендовані для проведення чисельних досліджень при проектуванні систем теплопостачання житлових масивів.

A heating process computer model which allows to solve the problem of matching the parameters of the coolant normative parameters and determine the quality of service hot water and heating is considering in this paper. Computer model and implementing software package recommended for numerical studies in designing of housing estates heating systems.

**Введение.** Анализ функционирования систем централизованного теплоснабжения жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Украины показывает, что в данный момент эти системы имеют ряд проблем, связанных с ростом цен на первичные энергоресурсы, нерациональными потерями тепла в котельных и внешних тепловых сетях, нерациональностью внутренней тепловой схемы абонентов. Одной из основных проблем является отсутствие централизованных систем горячего водоснабжения (ГВС) или нестабильное и экономически неэффективное функционирование существующих систем. Эти факторы ведут к увеличению себестоимости тепловой энергии и, как следствие, к росту тарифов на коммунальные услуги.

Низкая эффективность процессов производства, передачи и потребления тепловой энергии в существующих системах теплоснабжения ЖКХ подтверждает актуальность внедрения в них механизмов энергосбережения [1]. Решение данной проблемы возможно за счет внедрения и совершенствования систем энергетического менеджмента (СЭМ) на промышленных, энергетических предприятиях и в зданиях с целью выявления нерационального использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

СЭМ - это комплекс организационных мероприятий, технических средств и программно-методического обеспечения, которые в совокупности позволяют таким образом управлять производственным процессом, чтобы потреблялось только минимально необходимое количество ТЭР для производства требуемого количества продукции или услуг [2].

В современных условиях управление системами любой сложности неразрывно связано с применением информационных технологий. Если раньше информационные технологии повышали эффективность функционирования системы, то теперь они могут принципиально изменить ее структуру за счет использования высокоскоростных вычислительных сетей, сетевого программного обеспечения, использования Интернета.

В основе таких программно-методических информационных систем обычно лежат модели, в рамках

которых реализуются известные и специально разработанные расчетные методики [2] и обширные базы справочных данных.

Современный уровень сложности задач, решаемых с помощью подобных информационных систем, постоянно растет. Именно поэтому с позиций даже самого сдержанного оптимизма вполне логично ожидать дальнейшую оптимизацию уже существующих информационных систем и создание новых, многоцелевых систем глобального масштаба, функционально обеспечивающих решение вопросов от банального справочного общения с компьютером до автоматизированного сбора, обработки и интерпретации информации, управления, проектирования, моделирования и прогнозирования различных процессов.

К настоящему времени практикой накоплен большой опыт построения многоуровневых информационных систем, решающих те или иные узко специфичные или, напротив, многоцелевые задачи. Часть из них хорошо исследована теоретически, другая часть с той или иной долей достижимого эффекта осуществлена на практике. В области теплоснабжения попытки создания многоцелевой информационной системы и перехода от идей к их практическому воплощению не реализованы. И по сути даже сама мысль о подобной разработке, за отсутствием приемлемых концепций и теоретических выкладок, в известной мере была и остается призрачной. В числе объективных причин, определяющих ситуацию, было и есть отсутствие до последнего времени основного потребителя - государственной структуры, контролирующей ситуацию, координирующей разрозненные действия различных теплоснабжающих организаций, определяющей и лимитирующей те или иные коммунальные услуги.

С момента создания Инспекции по энергосбережению и начала деятельности его территориальных органов ситуация изменяется. Сформировавшаяся специфика задач энергосбережения при реализации государственной энергетической политики Украины, решаемых региональными органами, вынуждает последние к сис-

тематической интерпретации лавинообразно нарастающей информации.

При этом становится все более ясным, что локальное использование мощных средств вычислительной техники для оптимизации отдельных процессов (в основном расчетных) не приносит желаемого эффекта и что нужна целостная взаимосвязанная и взаимозависимая информационная система, осуществляющая поддержку деятельности структурных подразделений на всех уровнях и по всем проблемным вопросам.

В данной статье рассматривается компьютерная модель расчета показателей эксплуатации и анализа эффективности работы систем теплоснабжения жилого массива как один из вариантов усовершенствования методов исследования тепловых сетей и их внедрения при проведении энергетических обследований.

Последовательно излагая результаты предпринятой работы, остановимся на постановке основных задач, рассмотрим способы их решения, процесс построения вычислительного алгоритма и его перевода в машинную программу.

**Постановка задачи.** Для системы теплоснабжения разные варианты ее структуры определяют ее разделение на открытую и закрытую (по способу присоединения установок ГВС), зависимую и независимую (по способу присоединения теплопотребляющих установок), водяную, паровую или воздушную (по типу теплоносителя) [3].

Рассматриваемая компьютерная модель процесса теплоснабжения жилого массива показывает связь между техническими показателями (надежность, энергетическая эффективность, тепловая нагрузка) системы теплоснабжения и параметрами ее элементов (скорость, давление, расход, температура теплоносителя, теплопроводность).

Показатели системы бывают линейные и точечные. К линейным показателям систем теплоснабжения относятся, например, мощность, теплопродуктивность, КПД, к точечным – ремонтпригодность или технологичность.

Эти показатели определяются для ситуации с открытой системой теплоснабжения, жилищным массивом в качестве потребителя тепловой энергии и тепловыми пунктами. В рамках данной ситуации предусматривается решение проблемы соответствия параметров теплоносителя нормативным показателям и определение показателей качества предоставления услуг горячего водоснабжения и отопления.

Область допустимых значений параметров определяется физическими, химическими свойствами конструктивных материалов и веществ, а также внешними требованиями и ограничениями.

Для системы теплоснабжения возможный диапазон изменения температур в подающем трубопроводе ограничиваются нижней границей температуры теплоносителя – температурой горячей воды 60 °С. Верхняя граница определяется давлением при условии отсутствия закипания воды. Верхняя граница расхода определяется давлением источника тепла, нижняя – отсутствием закипания воды при данной температуре.

Регулирование параметров возможно как на источнике тепла, так и в тепловом пункте. В данное время применяется качественное регулирование, которое состоит в определении температур воды в тепловой сети

при ее постоянном расходе, в зависимости от тепловой нагрузки. Дополнительное регулирование осуществляется в тепловом пункте, где возможно регулирование температуры расхода и времени подачи теплоносителя. Данное регулирование позволяет решить задачу поиска оптимального необходимого количества тепла для данного потребителя.

Поскольку система теплоснабжения жилого массива имеет огромное количество потребителей тепла, для контроля за процессами в каждом из тепловых пунктов необходимо создание службы диспетчеризации на котельной с необходимым программным обеспечением.

Наша задача состоит в том, чтобы разработать в качестве программного обеспечения компьютерную модель в виде комплекса программ с модельно-библиотечной структурой в виде: главная программа, библиотека модулей и библиотека стандартных программ и рекомендовать ее для расчета показателей эксплуатации и анализа эффективности работы систем теплоснабжения жилого массива при их проектировании. Достоверность расчета должна быть достаточной для условий эксплуатации индивидуальных тепловых пунктов.

#### Структурная схема работы модели

Ввод начальных параметров: номер дома, температурный график, температура внешнего воздуха, напор сетевого насоса
Расчет температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе при выходе из котельной
Расчет максимального секундного расхода воды на ГВС на расчетном участке сети
Расчет тепловых потерь на заданном участке тепловой сети
Расчет температуры в подающем и обратном трубопроводе в ИТП
Расчет гидравлических потерь на заданном участке тепловой сети
Расчет напора повышающего насоса в ИТП
Расчет режима работы смесительных насосов системы отопления и ГВС
Сравнение расчетных расходов теплоносителя с нормативными
Зависимость потерь тепла в сети от расхода теплоносителя
Вывод значений расчетных параметров и графиков

#### Описание математического аппарата при нахождении расчетных параметров

Температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе в соответствии с заданным температурным графиком и температурой наружного воздуха рассчитываются следующим образом:

$$\tau_{01} = t_{ep} + (\tau'_{01} - t_{ep}) \cdot \frac{t_{ep} - t_n}{t_{ep} - t_{no}};$$

$$\tau_{02} = t_{ep} + (\tau'_{02} - t_{ep}) \cdot \frac{t_{ep} - t_n}{t_{ep} - t_{no}};$$

где  $t_{ep}$  - внутренняя расчетная температура воздуха, °С;

$t_n$  - внешняя температура воздуха, °С;

$t_{no}$  - температура наиболее холодной пятидневки, °С;

$\tau'_{01}$  - температура теплоносителя в подающем трубопроводе сети при температуре наиболее холодной пятидневки, °С;

$\tau'_{02}$  - температура теплоносителя в обратном трубопроводе сети при температуре наиболее холодной пятидневки, °С;

Максимальный секундный расход воды на расчетном участке сети горячего водоснабжения, л/с, при гидравлическом расчете подающих трубопроводов определяется по формуле

$$q^h = 5 \cdot q_0^h \cdot \alpha,$$

где  $q_0^h$  - секундный расход воды, величина которой согласно [4] для жилых зданий квартирного типа с централизованным горячим водоснабжением при наличии ванн и умывальников принимается равным 0,2 л/с;

$\alpha$  - коэффициент, который определяется согласно [4] в зависимости от общего количества приборов  $N$  на расчетном участке сети и вероятности их действия  $P$ .

Для вероятности действия санитарно-технических приборов в жилищных зданиях  $P=0,2$  имеем следующую зависимость  $q^h$  от общего количества приборов  $m$  на заданном участке:

$$q^h = 0,0005 \cdot m^2 + 0,0604 \cdot m + 0,5275$$

Скорость движения теплоносителя  $w$ , м/с в трубопроводе заданного диаметра с заданным расходом рассчитывается как:

$$\omega = \frac{V}{f} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2},$$

где  $V$  - расход теплоносителя на данном участке трубопровода, м<sup>3</sup>/с;

$d$  - диаметр данного участка трубопровода, м.

Гидравлические потери на трение:

$$\Delta P_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2},$$

где:  $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления для данного типа материала трубопровода;

$l$  - длина данного участка сети, м;

$d$  - диаметр данного участка трубопровода, м;

$\rho$  - плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  - скорость движения теплоносителя, м/с.

Гидравлические потери на местные сопротивления:

$$\Delta P_{mc} = \Sigma K_{mc} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2},$$

где  $\Sigma K_{mc}$  - сумма коэффициентов местного сопротивления вдоль всей длины тепловой сети;

Суммарные потери напора на заданном участке тепловой сети:

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{mp} + \Delta P_{mc}$$

Для тепловой сети, трубопроводы которой проложены подземным способом в непроходимых каналах, термические сопротивления для подающего и обратного трубопровода равняются:

$$R_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_u} \cdot \ln \frac{d_{n1}}{d} + \frac{1}{\pi \cdot d_{n1} \cdot \alpha_n} + \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot \alpha_{cm}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \frac{4h}{d_3};$$

$$R_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_u} \cdot \ln \frac{d_{n2}}{d} + \frac{1}{\pi \cdot d_{n2} \cdot \alpha_n} + \frac{1}{\pi \cdot d_3 \cdot \alpha_{cm}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{zp}} \cdot \ln \frac{4h}{d_3},$$

где  $\lambda_u$  - коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/м<sup>2</sup>°С;

$\lambda_{zp}$  - коэффициент теплопроводности почвы, Вт/м<sup>2</sup>°С;

$d$  - диаметр трубопровода, м;

$d_{n1}$  - наружный диаметр подающего трубопровода с учетом толщины изоляции, м;

$d_{n2}$  - наружный диаметр обратного трубопровода с учетом толщины изоляции, м;

$d_3$  - эквивалентный диаметр непроходного канала, м;

$\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи от поверхности теплоизоляции к воздуху, Вт/м<sup>2</sup>°С;

$\alpha_{cm}$  - коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренним стенкам канала, Вт/м<sup>2</sup>°С

$h$  - глубина прокладки канала, м.

Условное дополнительное термическое сопротивление, которое учитывает взаимное действие подающего и обратного трубопровода:

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\alpha_{zp}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2}$$

где  $h$  - глубина прокладки канала, м;

$b$  - горизонтальное расстояние между осями труб, м;

Удельные тепловые потери подающего трубопровода:

$$q_1 = \frac{(t_1 - t_0)R_2 - (t_2 - t_0)R_0}{R_1 \cdot R_2 - R_0^2};$$

обратного трубопровода:

$$q_2 = \frac{(t_2 - t_0)R_1 - (t_1 - t_0)R_0}{R_1 \cdot R_2 - R_0^2}$$

где:  $t_1, t_2$  - температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе, °С;

$R_1, R_2$  - термические сопротивления для подающего и обратного трубопровода.

Общие тепловые потери теплопровода по всей длине равняются, Вт:

$$Q = q \cdot l$$

Температура теплоносителя в конце участка при условии отсутствия изменения агрегатного состояния:

$$t_k = t_n - \frac{Q}{G \cdot c},$$

где  $t_k$  - температура теплоносителя в конце участка тепловой сети, °С;

$t_n$  - температура теплоносителя в начале участка тепловой сети, °С;

$Q$  - общие потери тепла на данном участке тепловой сети, Вт;

$G$  - расходы теплоносителя на данном участке тепловой сети, кг/с;

$c$  - теплоемкость теплоносителя, Дж/кг °С.

Необходимый напор повышающего насоса в ИТП:

$$H_{нов} = (1,1 \cdot H + 2) + (\Sigma \Delta P / 9807) - H_{сн},$$

где  $H$  - высота здания, м;  
 $\Sigma \Delta P$  - общие гидравлические потери, Па;  
 $H_{сн}$  - напор сетевого насоса, м.

Необходимый расход теплоносителя на отопление здания:

$$G_{от} = \frac{q_0 \cdot V}{3600 \cdot c \cdot (t_1 - t_2)},$$

где  $q_0$  - удельная характеристика отопления здания, Дж/м<sup>3</sup> °С;  
 $V$  - объем здания, м<sup>3</sup>;  
 $c$  - теплоемкость теплоносителя, Дж/кг °С;  
 $t_1$  - температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С;  
 $t_2$  - температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С.

Расход теплоносителя на смешивание в ИТП для поддержания необходимой температуры:

$$G_{см} = G_{от} \cdot \frac{60 - t_{1умн}}{t_{1умн} - t_{2умн}},$$

где  $t_{1умн}$  - температура теплоносителя в подающем трубопроводе в ИТП, °С;  
 $t_{2умн}$  - температура теплоносителя в обратном трубопроводе в ИТП, °С.

**Анализ полученных результатов и предложения по расчету показателей работы систем теплоснабжения жилого массива**

Особенности компьютерной модели и программы расчета состоят в том, что они позволяют рассчитать температуру и расход воды на потребности отопления и горячего водоснабжения, которые распределяются по схеме индивидуального теплового пункта, приведенного в патенте на полезную модель "Устройство регулирования режима работы теплового пункта при открытой системе теплоснабжения" [5] с учетом следующих параметров:

- температурный график работы котельной;
- температура внешнего воздуха;
- объем здания;
- характеристики сетевого насоса;
- тепловые и гидравлические параметры тепловых сетей.

Программа рассчитывает режимы работы теплового пункта таким образом, чтобы обеспечить параметры теплоносителя в соответствии с требованиями действующих норм и правил организации отопления и горячего водоснабжения (рис.1).

После ввода исходных данных согласно тепловой схемы района (рис.2) и заполнения табличных данных по домам и участкам выполняется расчет. После выполнения расчета анализируются полученные данные по секундным расходам теплоносителя по участкам (рис.3,а), а также графические зависимости реальных и нормативных тепловых потерь по домам жилого района, а также по температурам  $t_1$  и  $t_2$  ИТП (рис.3,б).

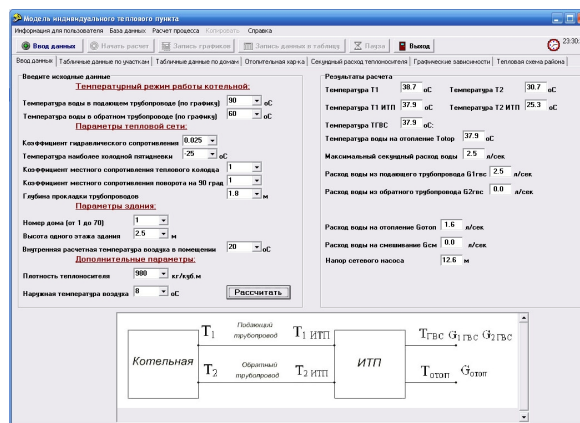


Рис. 1. Окно ввода данных программы «ИТП»

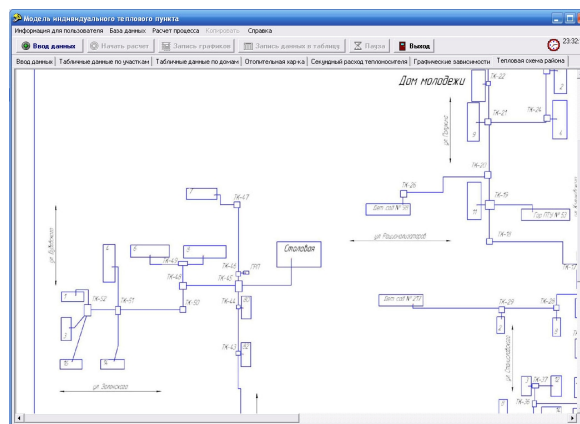


Рис. 2. Окно просмотра тепловой схемы района

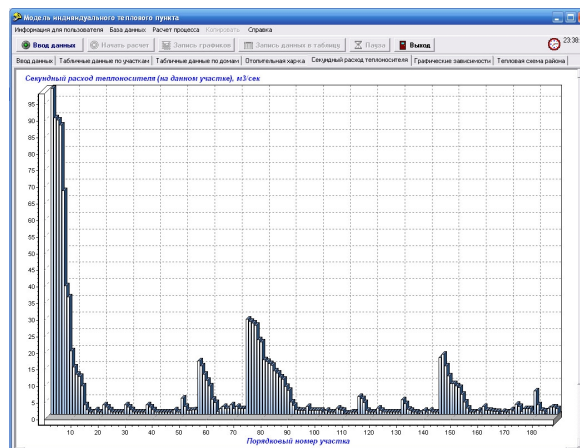


Рис. 3.а. Расчетные данные по секундным расходам теплоносителя по участкам

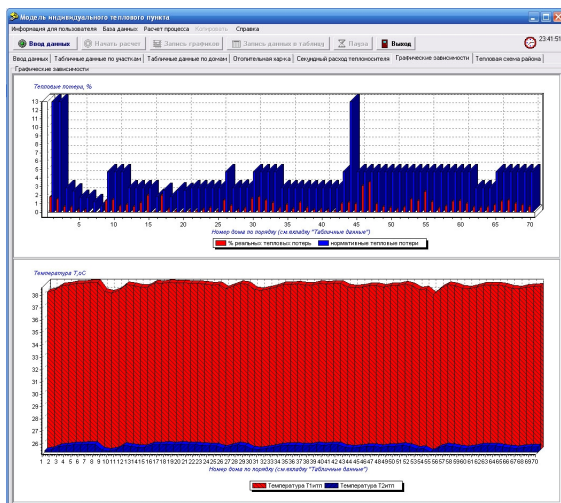


Рис. 3.б. Графические зависимости реальных и нормативных тепловых потерь по домам жилого района, а также по температурам  $t_1$  и  $t_2$  ИТП.

Программа снабжена подробными инструкциями, подсказками и описанием последовательности ее работы: ввод исходных данных, геометрических и теплофизических параметров, формирование условий различного рода и т.д. Входные данные формируются двояким образом. Часть данных уже занесена в файлы и базы данных, а часть заносится в процессе работы непосредственно с клавиатуры в файлы с помощью встроенного компонента Delphi Memo. Такие файлы создаются стандартными средствами операционной среды.

### Выводы

1. Предложена система как комплекс инвариантного ядра, которое выполняет управляющую роль, расчетных, проектирующих и сервисных подсистем. Все подсистемы или их часть взаимодействуют друг с другом, создавая укрупненную модель интегрированного процесса. Для информационно согласованных программ двух локальных задач используются результаты решения предыдущей задачи, которые являются входными данными для последующей задачи и т.д. Эта часть будет иметь вид системы по выбору рациональных параметров процесса теплоснабжения. Она снабжена системой многоуровневого меню, базами данных по участкам и номерам домов, системой выбора баз и их характеристик, информационными сведениями и т.д.

2. В результате численного исследования получены данные о значениях температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах на выходе из котельной и в ИТП; температур теплоносителя на ГВС и отопление дома; расходах теплоносителя с подающего и обратного трубопроводов на ГВС; расходах теплоносителя в смешительном трубопроводе системы отопления; общих расходах теплоносителя на ГВС и отопление; напоре теплоносителя в ИТП и необходимом напоре повышающего насоса. Полученные значения позволяют рассчитать температуру и расход воды на потребности отопления и горячего водоснабжения, которые распределяются по схеме индивидуального теплового пункта. Предлагаемая компьютерная модель и реализующая ее программа рассчитывает режимы работы теплового пункта таким образом, чтобы обеспечить параметры теплоносителя в соответствии с требованиями действующих норм и правил организации отопления и горячего водоснабжения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Пашкевич, «Без экономии энергоресурсов нет будущего», «Новая тема» №2(28)/2011 г, стр. 17-19.
2. Е.Е.Никитин. Разработка и совершенствование систем энергоменеджмента на промышленных предприятиях. "Проблемы загальної енергетики", № 6, 2002. 10с.
3. Величко В.И., Пронин В.А. Интенсификация теплоотдачи и повышение энергетической эффективности конвективных поверхностей теплообмена. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 64 с.
4. Ионин А.А. Газоснабжение: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
5. Заява на корисну модель «Пристрій регулювання режиму роботи теплового пункту при відкритій системі тепlopостачання» №I2008 12207 від 16.10.2008.
5. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев. – М. : Госэнергоиздат, 1956. – 392 с.
6. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : Наука, 1970. – 659 с.
7. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергоиздат, 1981. – 417 с.
8. Шорин С. Н. Теплопередача / С. Н. Шорин. – М. : Высшая школа, 1964. – 490 с.

пост. 05.02.12