

## О РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ

*С.Д. Ваулин, А.Л. Карташев, Е.В. Сафонов, А.Л. Шестаков*

Рассмотрена интегрированная система индивидуального учета, распределения и потребления энергетических ресурсов. Ядром системы является математическая модель теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах. Предложены принципы построения математической модели на основе системного подхода к анализу теплового состояния инженерных объектов. Определены требования к математической модели. Разработана функциональная структура математической модели теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах.

### *Введение*

Эффективное потребление энергетических ресурсов в эпоху нарастания энергодефицита довольно проблематично осуществлять без индивидуального учета, оптимального распределения и рационального потребления энергетических и водных ресурсов (их производство также требует больших энергетических затрат). Одним из путей решения данной проблемы является разработка интегрированной Системы индивидуального учета, распределения и потребления энергоресурсов (далее по тексту – Система) в сложных инженерных объектах.

В качестве сложных инженерных объектов могут быть рассмотрены различные технические устройства, промышленное производство, а также здания и сооружения, в которых производится распределение и потребление энергетических ресурсов.

Такая Система должна, во-первых, служить инструментом, обеспечивающим реальный учет и оплату потребленных ресурсов, во-вторых, играть роль фактора, побуждающего потребителя к рациональному использованию потребляемых ресурсов, и, наконец, позволять оперативно управлять распределением и потреблением энергоресурсов, как в пределах отдельно взятого объекта (например, здания или сооружения), так и в масштабах нескольких объектов (например, микрорайонов).

Рассматривая Систему как единый комплекс, необходимо определить состав ее компонентов и установить параметры взаимодействия между ними.

В качестве компонентов Системы можно выделить ее следующие составляющие:

- математическая модель энергосберегающей Системы индивидуального учета, распределения и потребления тепла и электроэнергии;
- алгоритмический блок управления различными подуровнями многоуровневой Системы;
- технические элементы Системы, включая беспроводные сенсорные сети и беспроводные цифровые сенсоры, разработанные на основе современных достижений отечественной микросистемной техники;
- программное обеспечение Системы и используемый интерфейс;
- организационно-правовое обеспечение внедрения и функционирования Системы.

### *Основные принципы построения математической модели*

Математическая модель теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах с функцией корреляции неэквивалентного расположения по отношению к внешним климатическим условиям эксплуатации является основой для построения алгоритма индивидуального учета, распределения и потребления энергии.

Требования к построению такой модели и ее функционированию (функциональной структуре) должны обеспечивать обобщенное применение разрабатываемой математической модели для различных типов объектов (включая жилые, офисные, производственные и возможные другие типы помещений).

## Расчет и конструирование

Наиболее эффективными для построения математической модели являются принципы системного подхода, реализуемые в модульном построении модели, в ее многоуровневом иерархическом структурировании, а также комплексном учете входных параметров (технических, экономических, организационно-правовых и т.д.).

В целом разрабатываемая математическая модель должна включать в себя несколько моделей (субмоделей) и алгоритмов, таких как:

- статическая модель теплового режима объекта и его отдельных элементов;
- динамическая модель теплового режима объекта и его отдельных элементов;
- модель неэквивалентного расположения отдельных элементов объекта (например, квартир внутри здания);
- модель корреляционного учета неэквивалентных внешних воздействий на объект;
- модель корреляционного учета действия различных источников тепла в объекте и его элементах;
- модуль обработки входных и выходных данных;
- алгоритм расчета коммерческих показателей тепловой и электрической энергии на границе балансной принадлежности;
- алгоритм индивидуального учета потребления тепловой и электрической энергии;
- алгоритм дистанционного ограничения электрической энергии.

Разрабатываемая математическая модель должна стать основой разработки перспективных технологий для создания энергосберегающей системы индивидуального учета, распределения и потребления тепловой и электрической энергии в сложных инженерных объектах.

Создание математической модели для ее реализации в системе интегрированного учета потребления и распределения тепла должно быть непосредственным образом связано с техническим исполнением Системы, в частности, с наличием необходимого количества беспроводных сенсоров, данные которых являются входной информацией для функционирования математической модели (прежде всего, ее динамического ядра) в режиме реального времени.

### *Системный подход к построению математической модели*

Для построения математической модели необходимо использовать методологию системного анализа. Иерархическая структура математической модели включает в себя общую математическую модель и набор независимых либо связанных друг с другом модулей (субмоделей), которые должны функционировать так же совместно либо независимо друг от друга. Кроме того, субмодели различных иерархических уровней должны иметь способность адекватно описывать работу интегрированной системы учета и распределения тепловой и электрической энергии без использования структуры более высоких иерархических уровней.

Рассмотрим построение математической модели теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах на примере зданий (сооружений).

Разрабатываемая математическая модель должна состоять из следующих иерархических уровней (от высших уровней к низшим).

Статическая модель теплового режима здания, как единой теплоэнергетической системы, в состав которой входят следующие субмодели:

- математическая модель теплоаккумуляционных характеристик оболочки здания;
- математическая модель теплоэнергетического воздействия наружного климата на здание;
- математическая модель теплоэнергетического баланса помещений здания.

Статическая модель должна включать в себя наиболее полное описание теплоэнергетического состояния здания с учетом всех факторов, влияющих на это состояние.

Основное назначение статической модели - проведение поверочного расчета теплового режима здания (сооружения) в соответствии с рекомендациями, приведенными в Своде Правил СП 23-101-2000 «Проектирование тепловой защиты зданий», а также расчет коэффициентов для аппроксимационных зависимостей для использования в динамической модели теплового режима здания (сооружения).

Динамическая модель теплового режима здания включает в себя:

- математическое ядро, основанное на аппроксимационных зависимостях;
- модуль обработки текущих параметров, характеризующих текущее состояние распределения и потребления энергоресурсов в здании;

- модуль формирования выходных данных.

Динамическая модель должна обеспечить:

- сбор и предварительную обработку оперативных входных данных;
- математическую обработку (усреднение, интегрирование и т.д.) исходных и расчетных данных за отчетный период;
- поверочный расчет теплового режима в зависимости от текущих климатических условий;
- формирование выходных данных (корреляционных коэффициентов), которые позволяют получить уточненные сведения о теплопотреблении того или иного помещения, учитывающих теплоэнергетическую неравноценность местоположения помещений для учетных подсистем распределения тепловой нагрузки по потребителям.

Алгоритм расчета коммерческих показателей тепловой и электрической энергии, а также водных ресурсов на границе балансной принадлежности должен обеспечить точный учет потребляемых ресурсов в соответствии с существующими нормативными документами (в настоящее время Строительные нормы и правила РФ СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»; «Правила учета тепловой энергии и теплоносителя», Москва, 1995 год; «Правила учета электрической энергии», утверждены Минтопэнерго и Минстроем РФ, 1996 год).

Алгоритм индивидуального учета потребленных ресурсов с учетом общих затрат на здание (сооружение) должен функционировать посредством учета корреляционных коэффициентов динамической модели объекта.

Алгоритм дистанционного управления ограничением электрической мощности предназначен для поэтапного ограничения электрической мощности индивидуальному потребителю в случае задержки оплаты за потребленные энергоресурсы.

Описанная структура математической модели в общем виде представлена на рис. 1.

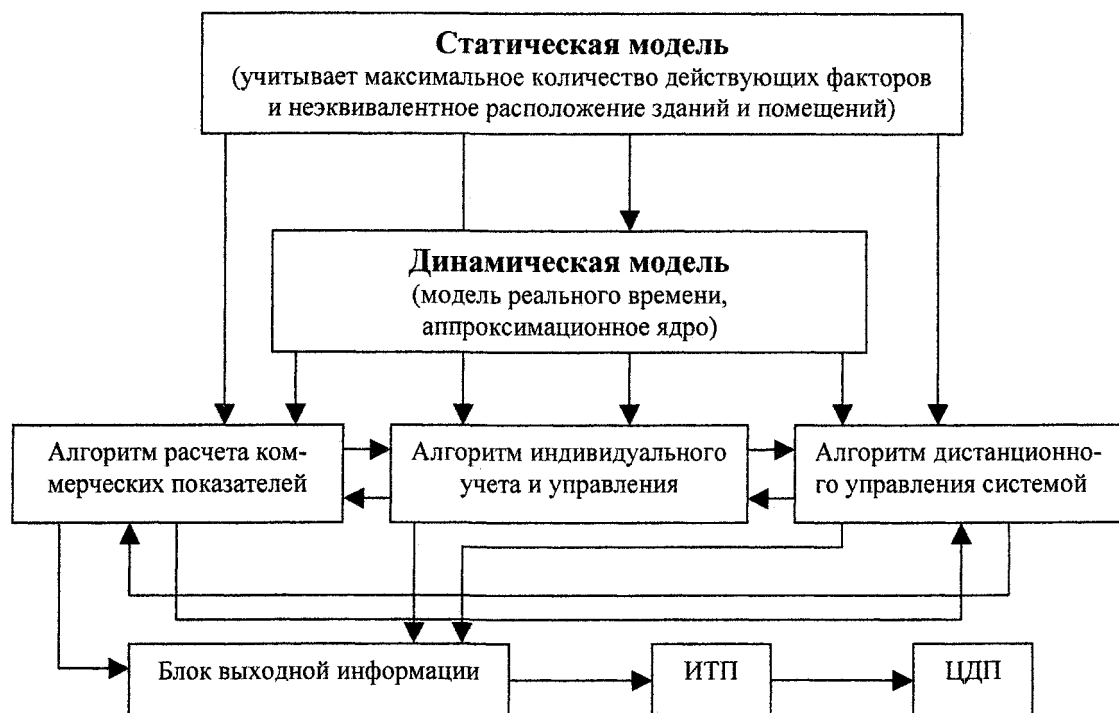


Рис. 1. Общая структура математической модели  
(ИТП – индивидуальный тепловой пункт, ЦТП – центральный тепловой пункт)

Составляющие математической модели должны строиться на следующих исходных данных, содержащихся в теплоэнергетическом паспорте здания:

## Расчет и конструирование

- общая информация: сведения о местоположении и времени возведения здания, разработчике проекта и др.;
- расчетные условия: данные о функциональном назначении, типе и конструктивном решении здания, климатических характеристиках района строительства, включая данные об отопительном периоде, и параметры микроклимата помещений;
- геометрические показатели: общестроительные данные о геометрии и ориентации здания, его объем, площади помещений, площади наружных ограждающих конструкций (на основе этих данных вычисляются показатель компактности здания и коэффициент остекленности фасада здания);
- энергетические показатели: теплозащита здания, включающие приведенные сопротивления теплопередаче и воздухопроницаемость отдельных ограждений, воздухообмен; рассчитываются: приведенный коэффициент теплопередачи и приведенная воздухопроницаемость оболочки здания, тепловые потери за отопительный период, бытовые теплопоступления, теплопоступления за счет солнечной радиации.

Математическая модель, являющаяся ядром интегрированной системы индивидуального учета, распределения и потребления энергоресурсов в зданиях и сооружениях должна соответствовать следующим основным требованиям.

### Требования к математической модели теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах:

- требования к исходным данным;
- требования к детализации описания процессов и воздействующих внешних факторов;
- требования к построению математической модели;
- требования к получаемым результатам.

#### Требования к исходным данным

1. Математическая модель должна опираться на теплоэнергетический паспорт здания, содержащий расчетные условия, геометрические и энергетические показатели, включая:

- сведения о типе и функциональном назначении здания, его этажности и объеме;
- данные об объемно-планировочном решении с указанием данных о геометрии и ориентации здания и отдельных помещений, площади его ограждающих конструкций и пола отапливаемых помещений;
- климатические характеристики района строительства, включая данные об отопительном периоде;
- проектные данные по теплозащите здания, включающие приведенные сопротивления теплопередаче, как отдельных компонентов ограждающих конструкций, так и здания в целом;
- проектные данные по системам поддержания микроклимата и способам их регулирования в зависимости от изменения климатических воздействий, по системам теплоснабжения здания;
- проектные теплоэнергетические характеристики здания, включающие удельные расходы энергии на отопление здания в течение отопительного периода как по отношению к 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади, так и по отношению к 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади и градусо-суткам отопительного периода;
- изменения в построенном здании (объемно-планировочные, конструктивные, систем поддержания микроклимата) по сравнению с проектом;
- результаты испытания энергопотребления и теплозащиты здания после годичного периода его эксплуатации;
- сопоставление проектных и эксплуатационных данных о теплозащитных и приведенных к расчетным условиям теплоэнергетических характеристиках;
- присвоение зданию категории теплоэнергетической эффективности.

2. Математическая модель должна учитывать особенности отдельного помещения на основе теплоэнергетического паспорта индивидуального помещения, включающего:

- тип и количество отопительных приборов (радиаторов), их тепловую мощность и инерционность по паспортным данным (ФГУП НИИ Сантехники, г. Москва либо иной сертифицированный центр);
- тип остекления (при отклонении от проекта здания), ориентация по сторонам света и его площадь;
- наличие дополнительной теплозвукоизоляции стен, потолка, пола;

- наличие дополнительного источника теплоступления и его тепловые характеристики: устройство подогрева пола, источники теплового излучения и т.д.

Требования к детализации описания процессов и воздействующих внешних факторов

1. Математическая модель должна учитывать следующие процессы:

- теплоступление в здание от источника теплоснабжения;
- теплоступление в здание за счет солнечной радиации;
- теплоступление от внутренних бытовых источников, включая освещение, электрогазопотребление;
- теплопередачу через ограждающую оболочку здания, включая ограждающие стены, подвальное и чердачное перекрытие;
- теплообмен за счет инфильтрации воздуха в помещении;
- теплообмен между внутренними помещениями в результате теплопередачи через ограждающие конструкции и конвективного перемешивания воздушной массы.

2. Математическая модель должна учитывать следующие факторы:

- инерционность ограждающей конструкции оболочки здания и внутренних перегородок;
- параметры окружающей среды: температуру, относительную влажность воздуха, направление и скорость ветра, атмосферное давление;
- время суток и время года.

Требования к построению математической модели

Математическая модель должна строиться на принципах модульности. Модулем является индивидуальное помещение (квартира), связанное по средствам теплового баланса с соседними помещениями и окружающей средой. Границей модуля является совокупность внешних и внутренних ограждающих конструкций, проведенная по их внутренней стороне (обращенной в объем помещения).

Результат разработки математической модели может быть представлен в виде программы «Теплоэнергетическая модель здания» для ЭВМ, производящей расчеты теплоэнергетических показателей здания согласно СП 23-101-2000 и СНиП П-3-79 «Строительная теплотехника».

Требования к результатам, получаемым с помощью математического моделирования:

- математическая модель должна позволять получать модульное (поквартирное) распределение тепловых потерь при обеспечении условий комфортного проживания, задаваемых СП 23-101-2000 и проектных данных здания по теплоэнергетическому паспорту;
- математическая модель должна предоставить возможность поквартирного определения коэффициентов понижения к расчету платы за индивидуальное теплоступление;
- математическая модель должна получать модульное распределение температур;
- математическая модель должна определять степень влияния на тепловые потери отклонения климатических условий от типовых (средних) для данной местности и устанавливать корреляционную связь;
- математическая модель должна определять степень влияния на тепловые потери модуля разности температур между модулями и устанавливать корреляционную связь;
- математическая модель должна позволять управлять Системой в режиме реального времени (динамическая субмодель);
- математическая модель должна позволять переходить с одного уровня управления и тарификации на другой в режиме реального времени при изменении режимов потребления энергоресурсов.

Особенности учета некоторых факторов в математической модели:

- учет влияния внутренних бытовых источников тепла: внутренние бытовые источники осуществляют приток тепла в модуль, обеспечивая при неизменной температуре помещения снижение индивидуального теплоступления; указанное снижение теплоступления не является бесплатным, так как оплачивается потребителем косвенно при расчете за источник: электричество, газ, горячее водоснабжение и т.д.;
- в случае снижения (например, открытое окно и т.д.) или увеличения температуры модуля, в сопряженных модулях будет наблюдаться инерционный приток или отток тепла; данные потоки приводят к снижению или увеличению теплоступления в модулях, не связанному с действием потребителя, поэтому необходимо установить степень влияния внешних потоков тепла

## Расчет и конструирование

на модульный (квартирный) коэффициент теплопотребления и отличие его от типового проектного значения;

- в процессе эксплуатации здания постоянно изменяются климатические условия, в связи с этим необходимо определить степень влияния отклонения климатических условий на модульные (квартирные) тепловые потери и отличие их от типовых проектных значений.

Приведенная погрешность аппроксимации функций теплоэнергетического режима не должна превышать  $\pm 3\%$ .

При выборе математического метода решения системы уравнений математической модели должен быть выбран наиболее оптимальный, обеспечивающий не только требуемую точность математического моделирования по отношению к реальным процессам, но и требуемое быстрое действие.

Динамическая модель должна функционировать в составе опытного образца энергосберегающей системы индивидуального учета, распределения и потребления тепла и электроэнергии в зданиях и сооружениях в непрерывном круглосуточном режиме в реальном масштабе времени.

Динамическая модель должна функционировать в составе программного обеспечения домового концентратора.

### *Обеспечение многоуровневости и инвариантности применения математической модели*

Математическая модель, функционирующая в составе энергосберегающей системы индивидуального учета, распределения и потребления энергоресурсов должна обеспечивать многоуровневость использования Системы и инвариантность ее применения для различных типов зданий и сооружений.

На различных этапах своего развития Система может использоваться в различных конфигурациях, обусловленных как ее техническим наполнением, так и существующей на данный момент организационно-правовой базой, в рамках которой осуществляется функционирование Системы.

В расширенном уровне Система реализует свои функции в максимальном объеме с учетом большинства факторов, определяющих учет и распределение ресурсов, при наличии требуемых для этого средств измерения (сенсоров), интервалов их опроса, функционирования динамической математической модели в режиме реального времени. Однако, такой вариант Системы достаточно дорог, а точность учета энергоресурсов в ряде случаев может быть избыточной.

В случае реализации более простых уровней (число таких уровней может быть достаточно велико и определяться конкретным исполнением Системы) Система может использовать ограниченное число сенсоров для получения информации о потреблении различных ресурсов, иметь управляемый алгоритм опроса сенсоров (в том числе, исключая их определенное количество из процедуры опроса), а также использование полученных по результатам математического моделирования алгоритмов учета неэквивалентного расположения зданий и сооружений по отношению к внешним климатическим воздействиям.

На простейшем уровне Система функционирует как средство измерения, с функцией сбора информации о количестве потребленных энергоресурсов и передаче ее в биллинговый центр.

Инвариантность использования Системы обусловлена различными типами зданий и сооружений, в которых она будет использоваться.

Указанные выше свойства Системы должны быть обеспечены соответствующими свойствами математической модели. Для этого при разработке математической модели требуемого уровня используются только те процессы и факторы из описанных выше, которые оказывают существенное влияние на функционирование Системы необходимого уровня. Кроме того, обязателен учет действующей на момент разработки Системы законодательной базы в области учета, распределения и потребления энергоресурсов.

В связи с этим необходим анализ действия различных процессов и факторов с точки зрения влияния на конечный результат работы Системы - эффективность учета, распределения и потребления энергоресурсов. В соответствии с принятым подходом выделяются процессы и факторы первого, второго и т.д. уровней, которые следует учитывать при построении Системы требуемого уровня. Решение об отнесении влияния соответствующего процесса либо фактора к тому или иному уровню решается с учетом используемых в Системе средств измерений и техническо-

го оборудования, с помощью которого осуществляется доставка энергоресурсов конечному потребителю.

### **Обеспечение диагностической функции Системы с помощью математической модели**

Одной из важнейших функций Системы является диагностическая функция, позволяющая определять состояние Системы в режиме реального времени. Для осуществления этой функции в математической модели (динамическая субмодель) должен находиться модуль, который бы выполнял следующие функции:

- диагностика несанкционированного потребления энергоресурсов;
- диагностика технических неисправностей элементов Системы;
- диагностика технических неисправностей в сетях подачи энергоресурсов потребителю;
- диагностика пиковых нагрузок потребления энергоресурсов, превышающих возможности сетей либо установленные лимиты потребления.

### **Функциональная структура математической модели**

Анализ функционирования математической модели, взаимодействия ее субмоделей и модулей может быть проведен с помощью функциональной структуры математической модели.

Разработка такой структуры позволяет детализировать требования, предъявляемые к математической модели, установить взаимосвязи элементов модели, в случае необходимости легко варьировать составом субмоделей и модулей математической модели.

Функциональная структура позволяет создавать различные уровни математической модели, о которых шла речь выше.

И, наконец, с помощью функциональной структуры математической модели можно построить процедуру оптимизации учета, распределения, потребления энергоресурсов, как в рамках индивидуального помещения, так и всего здания в целом.

Предлагаемая структура математической модели представлена на рис. 2. Следует отметить, что модульное построение системы математического моделирования позволяет при необходимости откорректировать и функциональную структуру математической модели в соответствии с Концепцией развития Системы и конкретным уровнем ее развития в данный момент времени.

Входные данные для математической модели в соответствии с ее функциональной структурой формируются на основании шести блоков.

**Блок 1 - «Условия комфортного проживания».** Условия комфортного проживания формируются на основе свода правил СП 23-101-2000 и СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», в которых определена комфортная температура и относительная влажность внутри помещения для различных сезонов и категорий зданий.

**Блок 2 - «Типовые климатические условия».** Типовые климатические условия устанавливаются на основании СНиП 23-01-99 и СП 23-101-2000, к которым относятся:

- скорость и направление ветра ( $w_0$ );
- атмосферное давление ( $p_0$ );
- средняя температура воздуха в течение отопительного сезона по СНиП 23-01-99 ( $t_0$ );
- среднее значение суммарной солнечной радиации СП 23-101-2000 ( $q_0$ );
- относительная влажность наружного воздуха в течение отопительного сезона ( $\psi_0$ ).

Данный блок является основой для расчета типовых распределение тепловых потерь по зданию  $Q_i^{T_{in}}$  и вычисления модуля (помещения) с минимальными тепловыми потерями  $Q_{min}^{T_{in}}$ .

**Блок 3 - «Типовой проект зданий».** Блок определяет теплозащитные характеристики конструкций, элементов здания и материалов, устанавливает геометрические характеристики и типовое проектное оформление помещений, определяет район строительства. Формирование блока осуществляется на основании теплоэнергетического паспорта здания.

**Блок 4 - «Текущие климатические условия».** Текущие климатические условия определяются на основании статистических данных и показаний метеостанции, устанавливаемой на здании (группе зданий). Задаёт текущую климатическую картину и определяет текущие параметры:

- скорость и направление ветра;
- атмосферное давление;
- температуру наружного воздуха;

# Расчет и конструирование

- значение суммарной солнечной радиации;
- относительную влажность наружного воздуха.

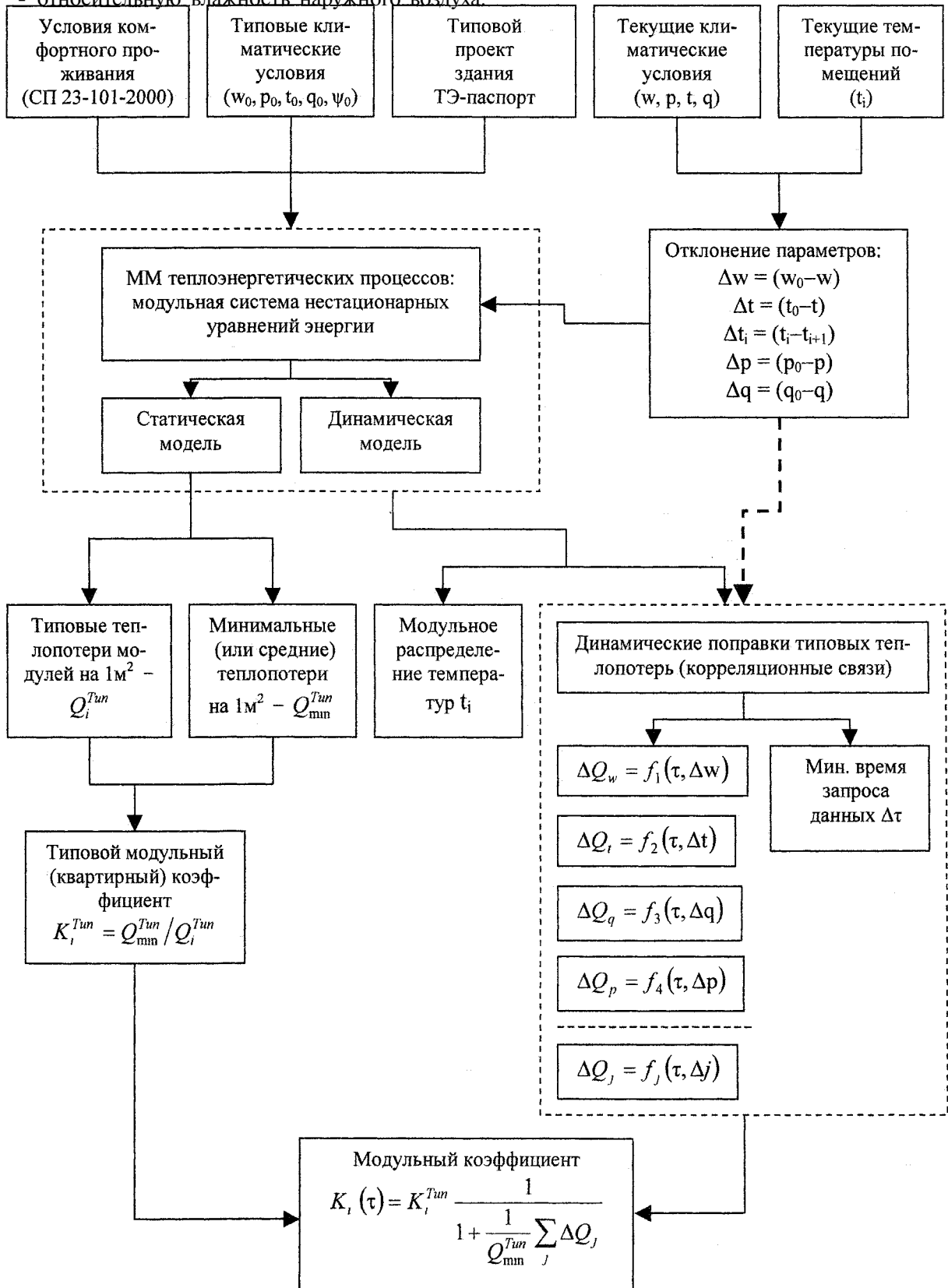


Рис. 2. Функциональная структура математической модели теплоэнергетических параметров здания



Блок 5 - «Текущие температуры помещений». На основании показаний датчиков температуры, располагающихся внутри помещений, устанавливается средняя температура по каждому (i-е значение) модулю (помещению). На этапе моделирования теплоэнергетических параметров здания в качестве входных данных используются данные статистики по средним температурам в течение сезона и интенсивность их изменений.

Блок 6 - «Отклонение параметров». Блок формирует сигнал рассогласования типовых (Блок 2) и текущих (Блоки 4 и 5) климатических условий по параметрам:

- скорость и направление ветра;
- температура наружного воздуха;
- температура внутри сопряженных соседних помещений (модулей);
- атмосферное давление;
- значение суммарной солнечной радиации;
- относительная влажность наружного воздуха.

Расчетный комплекс функциональной структуры математической модели (ММ) состоит из следующих блоков.

Блок 1 - «Математическая модель теплоэнергетических процессов». Расчетный блок основывается на реализации нестационарной динамической модели, в которой предусмотрена возможность отключения временной зависимости параметров и расчет по статической балансовой модели.

Блок 2 - «Динамические поправки типовых тепловых потерь». Устанавливает связь между дополнительными тепловыми потерями в модуле при отклонении текущих климатических условий от типовых значений, принятых согласно СНиП (учет реальных условий). Влияние каждого (i-е значение) из климатических параметров считается независимым от остальных. Дополнительные (положительные или отрицательные) поправки к тепловым потерям связаны с отклонением параметра от типового значения и длительностью этого отклонения. Корреляционные связи рассчитываются на базе нестационарной динамической модели при вариации входного воздействия отдельно по каждому из параметров.

При работе в составе системы теплового учета в режиме реального времени динамические поправки являются известными функциями двух параметров: рассогласование климатического параметра и времени. Результирующая поправка к тепловым потерям определяется как сумма поправок по всем параметрам.

Минимальное время между запросами отклонений параметров ( $\Delta\tau$ ) (данный параметр задает частоту опроса сенсоров Системы) устанавливается на этапе математическом моделирования теплоэнергетических параметров здания. Время запроса должно быть не более времени отклика по средней температуре модуля (квартиры).

Типовой модульный (квартирный) коэффициент - коэффициент для расчета платы за индивидуальное потребление тепла, обусловленное расположением модуля (квартиры) в здании согласно проектной документации. Рассчитывается на 1 м<sup>2</sup> помещения:

$$K_i^{Tun} = Q_{min}^{Tun} / Q_i^{Tun},$$

где  $Q_i^{Tun}$  - типовые тепловые потери модулей на 1 м<sup>2</sup>;

$Q_{min}^{Tun}$  - минимальные (или средние) тепловые потери на 1 м<sup>2</sup>.

Динамические поправки учитывают отклонение климатических параметров, при которых рассчитан типовой модульный коэффициент и тепловые потери, от реальных условий. Результирующая поправка к тепловым потерям определяется как сумма поправок по всем параметрам, а текущий модульный коэффициент определяется по соотношению:

$$K_i(\tau) = K_i^{Tun} \frac{1}{1 + \frac{1}{Q_{min}^{Tun}} \sum_j \Delta Q_j},$$

где  $K_i^{Tun}$  - типовой модульный (квартирный) коэффициент.

## Расчет и конструирование

Блок 3 - «Модульное распределение температур». Устанавливает распределение средних температур внутри помещений (модулей), получающееся при решении нестационарной динамической модели теплоэнергетических параметров.

### Режимы функционирования математической модели теплоэнергетических процессов

Режим 1 - Моделирование процессов, расчет корреляционных зависимостей, установление степени влияния различных факторов.

#### Входные данные:

- блок «Условия комфортного проживания»;
- блок «Типовые климатические условия»;
- блок «Типовой проект зданий»;
- блок «Текущие климатические условия»;
- блок «Текущие температуры помещений»;
- блок «Отклонение параметров».

#### Расчетный блок:

- блок «Математическая модель теплоэнергетических параметров».

#### Выходные данные:

- блок «Динамические поправки типовых тепловых потерь»;
- корреляционные зависимости;
- типовые тепловые потери;
- минимальные типовые тепловые потери;
- типовой модульный коэффициент;
- модульный коэффициент;
- модульное распределение температур.

Режим 2 - Функционирование в составе системы теплового учета.

#### Входные данные:

- типовой модульный коэффициент;
- минимальные типовые тепловые потери;
- блок «Условия комфортного проживания»;
- блок «Типовые климатические условия»;
- блок «Текущие климатические условия»;
- блок «Текущие температуры помещений»;
- блок «Отклонение параметров».

#### Расчетный блок:

- блок «Динамические поправки типовых тепловых потерь».

#### Выходные данные:

- поправки к тепловым потерям;
- модульный коэффициент.

Функциональная структура математической модели обеспечивает ее эффективное применение в составе разрабатываемой Системы индивидуального учета, распределения и потребления энергетических ресурсов как элемента перспективного системного решения высокого технологического уровня.

### *Заключение*

Математическая модель теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах, являющаяся ядром интегрированной Системы индивидуального учета, распределения и потребления энергетических ресурсов, представляет собой многоуровневую инвариантную систему, учитывающую целый набор процессов и факторов, определяющих характер теплоэнергетического состояния рассматриваемого объекта учета.

Разработка такой модели может быть проведена в соответствии с предложенной методологией исследования теплоэнергетических процессов в сложных инженерных объектах.