

УДК 519.711.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ¹

О.Ю. Марьясин*Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия
maryasin2003@mail.ru*

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы проектирования системы управления зданием. Одной из проблем, возникающих при проектировании, является проблема организации слаженной работы традиционных и новейших систем управления инженерным оборудованием. Другой проблемой является выявление предпочтений и учёт деятельности людей. Для решения указанных проблем автор предлагает использовать мультиагентный подход. На основе анализа опубликованных архитектур мультиагентных систем управления зданием проведена классификация агентов, в результате которой сформирован перечень агентов и определены классы агентов и их характеристики. Показан пример построения архитектуры мультиагентной системы управления зданием и приведено описание функций отдельных агентов. Произведена проверка проектных решений путём компьютерного моделирования мультиагентной системы в среде AnyLogic. Впервые предложены классы агентов, являющиеся основой для построения архитектуры мультиагентной системы управления зданием.

Ключевые слова: микроклимат, энергосбережение, мультиагентная система, AnyLogic.

Цитирование: Марьясин, О.Ю. Проектирование мультиагентной системы управления зданием с использованием онтологий / О.Ю. Марьясин // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 8, №3(29). – С.387-399. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-387-399.

Введение

Современные городские жители более 80% своей жизни проводят в закрытых помещениях. Микроклимат помещений существенно влияет на физическое и эмоциональное состояние людей, а также на их работоспособность [1]. Поэтому поддержание параметров микроклимата, определённых известными санитарными нормами и комфортных для проживания людей, является главной задачей климатического оборудования, установленного в зданиях. С другой стороны, необходимость энергосбережения и снижения коммунальных платежей требует минимизации затрат энергоресурсов на поддержание микроклимата. Обеспечить выполнение этих часто противоречивых требований должны комплексные системы управления микроклиматом и энергопотреблением (Energy and Comfort Management System – ECMS) зданий, включающие оборудование систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК или HVAC - акроним от англ. Heating, Ventilation, & Air Conditioning - так их называют за рубежом) и, в свою очередь, являющиеся частью автоматизированных систем управления зданием (АСУЗ или Building Management System – BMS).

АСУЗ, кроме ОВК системы и системы энергоснабжения (к которой обычно относят и систему освещения), может включать также и другие инженерные системы, например систему безопасности (охранно-пожарной сигнализации, контроля доступа и видеонаблюдения). Од-

¹ Статья в расширенном варианте печатается по рекомендации Программного комитета XX международной научной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2018). 3-6 сентября 2018, Самара, Россия

нако в данной работе АСУЗ ограничивается только функциями по управлению микроклиматом и энергопотреблением.

Современные тенденции снижения стоимости потребительской электроники и микропроцессорной техники и повышения уровня автоматизации и интеллектуализации инженерных систем зданий дают возможность совершенствования систем управления инженерным оборудованием зданий. В частности, вместо традиционных пропорционально-интегрально-дифференцирующих (ПИД) регуляторов с изменением задания по температурным графикам, для управления тепловым режимом помещений могут использоваться более сложные алгоритмы автоматического и оптимального управления. Известны работы, в которых для управления микроклиматом и энергопотреблением зданий предлагаются системы адаптивного и оптимального регулирования, системы на базе нечёткой логики и с использованием нейросетевых и генетических алгоритмов. Обзор таких работ можно найти, например в [2].

Вместе с тем, традиционные, хорошо зарекомендовавшие себя системы, работающие по принципу включено/выключено, а также различные системы регулирования на базе двухпозиционных, трёхпозиционных и ПИД-регуляторов продолжают и будут эксплуатироваться ещё долгое время. Поэтому возникает проблема организации слаженной работы разнородных систем управления инженерным оборудованием здания, без решения которой АСУЗ нельзя будет достигнуть требуемых показателей комфорта и энергоэффективности.

В большинстве работ, посвящённых управлению микроклиматом и энергопотреблением, люди рассматриваются как один из внешних факторов, то есть человеку там отводится лишь пассивная роль. Однако люди могут активно влиять на энергопотребление и микроклимат помещений, включать и выключать электроприборы и оборудование, изменять режимы и даже противодействовать работе автоматических систем. Определение наличия людей в помещениях, выявление их предпочтений и правильная реакция на их действия - вот задачи, которые необходимо решить АСУЗ.

Таким образом, с одной стороны, системы управления инженерным оборудованием зданий становятся всё более интеллектуальными. Они могут длительное время функционировать в автоматическом режиме. С другой стороны, человек, действуя на основе своих предпочтений, может оказывать активное влияние на работу инженерных систем.

Кроме того, при проектировании АСУЗ должен учитываться принцип эргономичности, согласно которому такие характеристики среды обитания человека как температурный режим, состав воздуха, свет, звук, информация и другие параметры, на основе которых формируется архитектура и дизайн объекта, должны подчиняться законам эргономики [3]. Это отвечает концепции «умного здания», которое представляет сложную интегрированную экологическую систему, повышает комфорт жилой зоны и экономит затраты и энергоресурсы.

1 Анализ архитектур мультиагентных систем управления зданием

Путём к решению названных проблем является рассмотрение АСУЗ как мультиагентной системы (МАС), в которой существует множество агентов, имеющих индивидуальное поведение и характеристики [4]. Человека в данном случае также можно рассматривать как одного из агентов. Автономность агентов, их целеустремленность, возможность наличия интеллекта и способность работать в распределённой среде делают МАС удобным и гибким инструментом для реализации АСУЗ. Развёрнутые обзоры по МАС можно найти в работах [5, 6]. Применению мультиагентного подхода для управления микроклиматом и энергосбережением зданий посвящены работы [7-9]. В статье [10] рассматривается возможность реализации мультиагентного подхода на базе известных инструментов моделирования МАС.

Можно отметить отсутствие единого взгляда на архитектуру МАС управления микроклиматом и энергопотреблением зданий. Так, в работе [9] МАС включает персональных агентов, локальных агентов, центральных агентов и агентов контроля и управления. Персональные агенты связаны с пользователями и предоставляют такую информацию о пользователях, как их предпочтения (предпочтительная температура и влажность в помещении) и местоположение. Каждой зоне здания назначается свой локальный агент. Локальные агенты действуют как посредники и поставщики информации для центральных агентов. Для каждого параметра микроклимата назначается агент контроля и управления. Задачей центрального агента является управление всей системой и координация инженерных систем здания.

Подобная система, основанная на персональных агентах, локальных агентах и центральных агентах, рассматривалась и в работе [11]. Здесь персональные агенты способны прогнозировать предпочтения пользователей на основе изучения их поведения. Локальные агенты решают задачи управления отдельными инженерными системами, а центральные агенты обеспечивают координацию между локальными агентами. В работе [12] используются только центральные и локальные агенты. Центральные агенты являются интеллектуальными и вычисляют задания по температуре, освещённости и влажности на основе предпочтений пользователя и метеоданных, используя метод роя частиц. Локальные агенты используют нечёткое регулирование для поддержания заданных значений параметров микроклимата. В работе [13] рассмотрена МАС, включающая персональных агентов комфорта, агентов отдельных помещений, агентов параметров микроклимата и агентов, отслеживающих местоположение людей в здании.

В работе [14] представлена МАС, включающая агентов-поставщиков и агентов-потребителей. Агенты-потребители определяют требования к параметрам микроклимата помещений и передают их агентам-поставщикам. Агенты-поставщики оценивают расходы, необходимые для обеспечения требований агентов-потребителей. Управление системой осуществляется путём переговоров между этими агентами. В работе [15] дополнительно к агентам-поставщикам, которые производят энергию, и агентам-потребителям, которые потребляют необходимое для поддержания комфорта количество энергии, вводятся агенты-дистрибьютеры, занимающиеся транспортировкой и распределением энергии, и агенты-среды, предоставляющие необходимую информацию о параметрах микроклимата.

МАС, предложенная в работе [16], содержит различные типы агентов: агент-помещение (агент-потребитель), агент-поставщик, агент-посредник и агент-брокер. Агенты-помещений являются потребителями тепла или холода. Их задача - оценить потребность в тепле или холоде и сделать соответствующий запрос агенту-брокеру. В агентах-помещениях используются ПИД-регуляторы, и на основе этого определяется мощность, необходимая для поддержания заданных параметров микроклимата. Запросы мощности могут быть сделаны от каждого отдельного агента-помещения, что позволяет пользователям корректировать параметры микроклимата в соответствии с их потребностями. Агенты-поставщики представляют собой объекты в системе, которые поставляют тепло или холод, например, котлы, тепловые насосы. Их задача – продать брокеру тепло или холод и предоставить необходимую мощность при успешной сделке. Агенты-посредники могут одновременно выступать и как агенты-поставщики, и как агенты-потребители. С помощью данных агентов в МАС можно строить каскадные структуры.

2 Онтологический анализ агентов

Онтологический подход к проектированию предполагает проведение классификации объектов предметной области. Это позволяет представить предметную область в виде сети

связанных объектов [17]. В случае МАС основным объектом предметной области является агент. Поэтому проведение анализа агентов и определение классов агентов является первоочередной задачей при проектировании МАС.

На основе проведённого анализа был составлен следующий перечень агентов МАС управления микроклиматом и энергопотреблением зданий:

- персональный агент (агент, связанный с человеком);
- локальный агент;
- агент-помещение;
- зональный агент;
- центральный агент;
- агент-оборудование;
- агент контроля и управления;
- агент-поставщик;
- агент-брокер;
- агент-дистрибьютер;
- агент внутренней среды (внутренний агент);
- агент внешней среды (внешний агент).

Персональные агенты связаны с пользователями и должны предоставлять информацию о предпочтениях пользователя и о его местоположении в здании. Локальный агент выполняет локальную задачу по управлению микроклиматом и энергосбережением в здании. Он может отвечать за поддержание микроклимата в отдельном помещении. В этом случае его можно считать агентом-помещений. Локальный агент может также выполнять функции по регулированию отдельных параметров микроклимата. В этом случае он может выступать как агент-оборудование или агент контроля и управления.

Агенты-помещений связаны с отдельными помещениями зданий. В отличие от них, зональные агенты предназначены для управления группой помещений или целой зоной здания. Это может быть секция или этаж здания. Центральные агенты предназначены для управления всем зданием. Они могут выполнять функции координации локальных или зональных агентов.

Агент-оборудование управляет конкретным инженерным оборудованием. Например, приточно-вытяжным агрегатом системы вентиляции, бойлером, солнечным коллектором и т.д. Агент-оборудование может использоваться для управления сложным климатическим оборудованием. Для простого оборудования его функции могут выполнять агенты контроля и управления. Агенты контроля и управления предназначены для управления параметрами внутренней среды с помощью законов управления. Это может быть двухпозиционное, трёхпозиционное или ПИД-регулирование.

Агенты-поставщики, как правило, выступают в роли поставщиков энергоресурсов для агентов-помещений, локальных, зональных или центральных агентов. Если в системе используется сложный протокол согласования цен за ресурсы или если необходимо организовать между локальными или зональными агентами рыночные отношения, то в такую систему вводятся агенты-брокеры. Агенты-поставщики могут быть как внешними, так и внутренними. В последнем случае в качестве агентов-поставщиков могут выступать агенты-оборудования. Агенты-дистрибьютеры могут потребоваться там, где возникают сложности с транспортировкой и распределением энергоресурсов.

Агенты внутренней среды, как правило, связаны с внутренними параметрами микроклимата здания, а агенты внешней среды - с внешними метеорологическими параметрами. Введение этих агентов может потребоваться, например, чтобы учесть влияние особых климатических условий или микроклимат специальных помещений.

С учётом возможности замещения функций отдельными агентами был предложен следующий перечень агентов МАС:

- агент, связанный с человеком (HumanAgent);
- локальный агент (LocalAgent);
- зональный агент (ZonalAgent);
- центральный агент (ZentralAgent);
- внешний агент-поставщик (ProviderAgent);
- агент внутренней среды (IndoorAgent);
- агент внешней среды (OutdoorAgent).

Диаграмма классов агентов, соответствующая данному перечню, показана на рисунке 1.

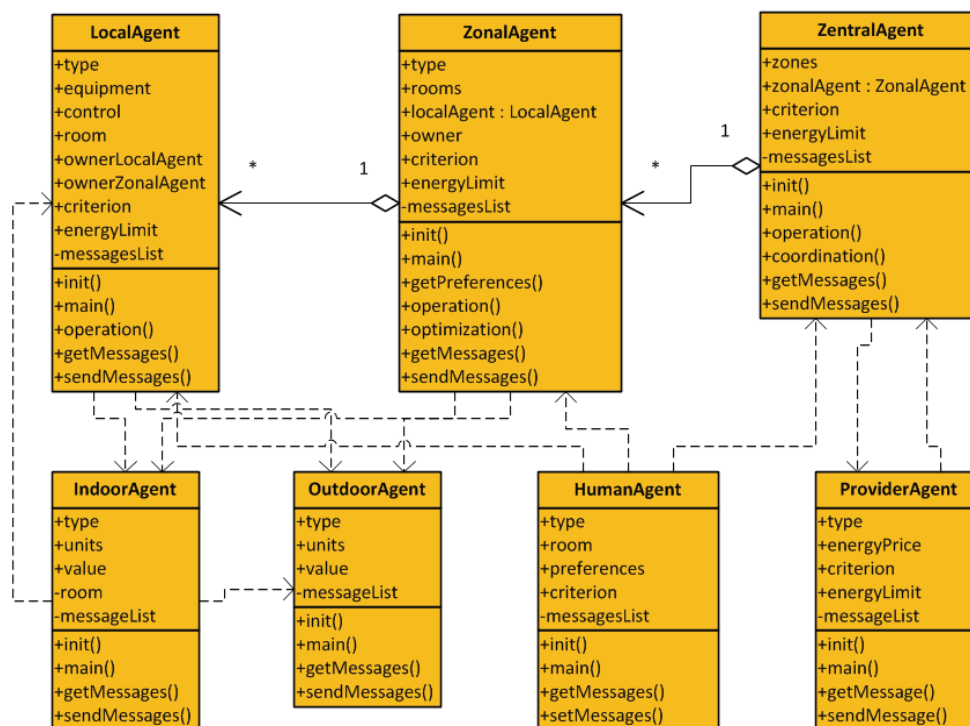


Рисунок 1 – Диаграмма классов агентов МАС

Ключевым элементом МАС является локальный агент. Локальный агент может быть связан с конкретным оборудованием, например, термостатом и локальной системой регулирования, реализующей, например, ПИД-закон регулирования температурой. Локальный агент всегда привязан к конкретному помещению. Кроме того, локальный агент привязан к конкретным видам энергоресурсов и по каждому из них имеет определённый лимит. Владелец локального агента может быть другим локальным или зональным агентом.

Для выполнения своих операций локальный агент может получать информацию (сообщения) от внутреннего и внешнего агентов. Локальный агент также может получать команды (сообщения) от агента-человека, от зонального агента и от другого локального агента. У каждого агента есть своя функция полезности, которую агент стремится максимизировать. Например, в случае термостата целью локального агента является поддержание температуры в помещении на заданном уровне. При достижении цели функция полезности локального агента будет максимальной.

Зональные агенты также привязаны к одному или нескольким помещениям. Особенностью зонального агента является наличие процедур выявления предпочтений человека и оптимизации микроклимата и энергосбережения. Зональный агент может получать информа-

цию от локальных агентов, от внутреннего и внешнего агентов, от агентов-людей, от агентов-поставщиков, от других зональных агентов. Он также может получать команды от людей и от своего центрального агента. Особенностью центрального агента является наличие процедуры координации зональных агентов, а также функций по взаимодействию с агентами поставщиками. Центральный агент может получать информацию от зональных агентов, от агентов-людей, от агентов-поставщиков, от других центральных агентов.

Приведённый перечень агентов не является окончательным. При расширении системы, например при добавлении в систему управления зданием системы безопасности, приведённый список необходимо дополнить агентом-безопасности.

3 Предлагаемая архитектура мультиагентной системы управления зданием

Проведённый анализ агентов может служить основой для построения структуры МАС управления микроклиматом и энергосбережением зданий. Конкретная структура получается путём связывания классов агентов с конкретным зданием, инженерным оборудованием здания и другими данными задачи проектирования АСУЗ, полученными, например, из информационной модели здания (ИМЗ или Building Information Modeling – BIM). ИМЗ даёт возможность использовать в процессе проектирования всю архитектурно-конструкторскую, технологическую, экономическую и иную информацию о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект [18]. В результате определяются экземпляры агентов, их типы и число, производится детализация связей между ними. Один из вариантов полученной архитектуры МАС приведён на рисунке 2. Данная архитектура подходит для большинства жилых, общественных и административных зданий в России.

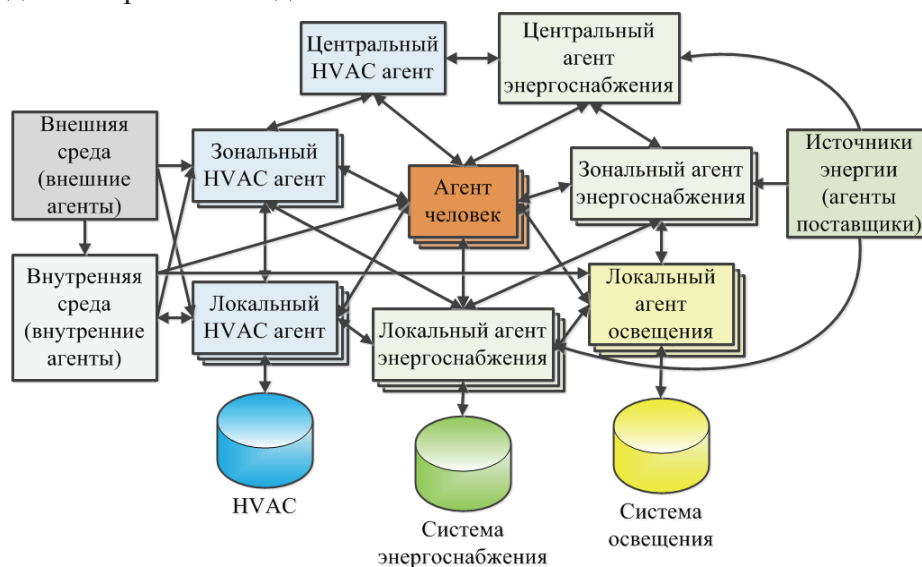


Рисунок 2 – Архитектура МАС управления зданием

На рисунке 2 управление ОВК оборудованием, электроприборами и приборами освещения осуществляется локальными ОВК-агентами, локальными агентами энергоснабжения и локальными агентами-освещения. Локальные агенты представляют собой традиционное инженерное оборудование (термостаты, вентиляторы, приборы освещения и другие) и локальные системы управления данным оборудованием, реализующие несложные сценарии или законы управления. Пример диаграммы состояния локального ОВК-агента типа термостат приведён на рисунке 3.

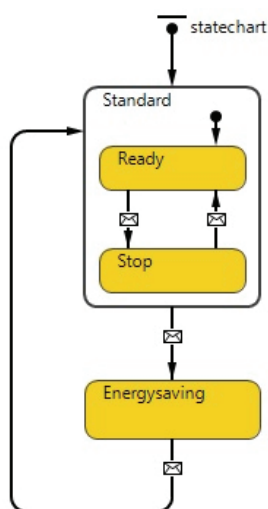


Рисунок 3 – Диаграмма состояния локального ОВК-агента

Локальный ОВК-агент после включения переходит в стандартный режим работы (Standard) и в состояние готовности (Ready), где он выполняет свою основную функцию. Для термостата - это функция поддержания температуры в помещении на заданном уровне, которую он может реализовывать, используя, например, ПИД-закон регулирования температурой. По командам человека или зонального ОВК-агента локальный ОВК-агент может быть выключен (перейти в состояние Stop) или переведён в энергосберегающий режим (перейти в состояние Energysaving).

Локальные ОВК-агенты и локальные агенты-освещения получают информацию о параметрах внешней и внутренней среды от соответствующих агентов, а локальные агенты энергоснабжения - о текущей потребляемой и максимально допустимой мощности энергоносителей. Команды управления локальные ОВК-агенты и локальные агенты освещения могут получать от зональных ОВК-агентов, локальных агентов энергоснабжения и непосредственно от агентов-людей.

Зональные ОВК-агенты и зональные агенты-энергоснабжения представляют собой интеллектуальные системы управления. Они получают информацию о параметрах внешней и внутренней среды от соответствующих агентов, информацию от локальных агентов, информацию о предпочтениях людей и их наличии в помещениях. На основе полученной информации они формируют сигналы-задания для локальных агентов с использованием методов оптимизации, оптимального или интеллектуального управления.

Если зональные ОВК-агенты решают задачи оптимального или оптимального прогнозирующего управления микроклиматом [19], то задача, решаемая i -ым зональным ОВК-агентом, может быть сформулирована следующим образом. Необходимо обеспечить минимум критерия оптимальности

$$(1) \quad J_i(t) = J_i(x_i(t), q_{ik}(t)) \rightarrow \min_{q_{ik}},$$

при условиях

$$(2) \quad \dot{x}_i(t) = f_i(x_i(t), q_i(t), w_i(t)),$$

$$(3) \quad x_{imin}(t) \leq x_i(t) \leq x_{imax}(t),$$

$$(4) \quad q_i(t) = \sum_{k=1}^{K_i} d_k q_{ik}(t),$$

$$(5) \quad q_{ikmin}(t) \leq q_{ik}(t) \leq q_{ikmax}(t), \quad k = 1, 2, \dots, K_i,$$

где t – время, $q_{ik}(t)$ – расход k -го вида энергоресурсов i -ой зоны, K_i – число видов энергоресурсов i -ой зоны, $x_i(t)$ – вектор параметров микроклимата, $w_i(t)$ – вектор возмущающих параметров, $x_{imin}(t)$, $x_{imax}(t)$ – минимальное и максимальное значения параметров микроклимата i -ой зоны, $q_i(t)$ – тепловая энергия, полученная i -ой зоной, d_k – масштабные коэффициенты, $q_{ikmin}(t)$, $q_{ikmax}(t)$ – минимальное и максимальное количество k -го вида энергоресурса на энергосбережение i -ой зоны.

Выражение для критерия оптимальности (1) должно соответствовать цели обеспечения максимальной комфортности для людей при минимуме энергозатрат для i -ой зоны. Его чаще всего записывают в линейном или квадратичном виде. В основе выражения (2) лежат урав-

нения математической модели микроклимата здания, составленные на базе уравнений теплового баланса здания и материального баланса по переносу влаги и газовых примесей. Выражение (3) задаёт ограничения на параметры микроклимата, определяемые санитарными нормами или предпочтениями пользователей; выражение (4) связывает тепловую энергию, полученную i -ой зоной с расходом k -го вида энергоресурсов, а выражение (5) задаёт ограничения на потребляемые энергоресурсы.

Центральные агенты согласовывают работу зональных агентов в плане достижения глобальной цели обеспечения максимальной комфортности для людей при минимуме энергозатрат для всего здания. Они производят обработку и накопление полученной информации, а также контролируют соблюдение глобальных ограничений на энергоресурсы для всей системы.

Для задачи (1) - (5) задача координации, решаемая центральным агентом, может иметь вид

$$(6) \quad J(t) = \sum_{i=1}^N J_i(t) \rightarrow \min_{q_i},$$

$$(7) \quad \sum_{i=1}^N q_{ik}(t) \leq q_{kmax}, k = 1, 2, \dots, K,$$

где N – общее число зон, а K – общее число энергоресурсов. Здесь выражение (6) задаёт глобальный критерий оптимальности, а выражение (7) глобальные ограничения на энергоресурсы для всей системы. Значения q_{kmax} могут быть установлены по согласованию с агентами-поставщиками.

4 Мультиагентная модель в системе AnyLogic

Для проверки проектных решений была разработана компьютерная модель в системе AnyLogic [20]. Система поддерживает технологию агентного моделирования, а также включает пешеходную библиотеку для моделирования движения пешеходов (людей) в физическом пространстве. В моделях, созданных с помощью пешеходной библиотеки, пешеходы движутся в пространстве, реагируя на различные виды препятствий в виде стен и других пешеходов. Пешеходная библиотека AnyLogic позволяет визуализировать моделируемый процесс с помощью анимации, исследовать функционирование системы при различном уровне человекопотока и определять время пребывания людей в определённых участках модели.

В основе разработанной компьютерной модели лежит поэтажный план реального здания. Фрагмент модели в процессе имитации в системе AnyLogic 8 показан на рисунке 4. На плане положение пешеходов (людей) отмечено кружками. Люди могут передвигаться по коридору и заходить в помещения. Люди, попавшие в помещения, могут задерживаться там на различное время. Внутри помещения работники могут включать различные электроприборы, управлять микроклиматом помещений. В нижней части рисунка 4 показаны блоки пешеходной библиотеки, реализующие логику перемещения пешеходов внутри области разметки.

При создании новой модели с использованием пешеходной библиотеки автоматически будут добавлены типы агентов *основной* (класс, моделирующий среду обитания для других агентов) и *пешеход* (класс, моделирующий пешеходов). Остальные типы агентов необходимо добавлять вручную. Состав агентов модели показан на рисунке 5. Здесь представлены локальные ОВК-агенты (localHVACAgents), локальные агенты-освещения (localLightAgents), локальные агенты-энергоснабжения (localEnergyAgents), зональные ОВК-агенты (zoneHVACAgents) и центральный ОВК-агент (centralHVACAgent). Все агенты кроме cen-

traHVACAgent являются популяциями агентов. Кроме этого, для описания поведения людей в модели был создан тип агента-человека HumanAgent, расширяющий класс *пешеход* пешеходной библиотеки. Класс HumanAgent хранит массив характеристик человека, в соответствии с которым определяется алгоритм его поведения, задающий как человек будет перемещаться по зданию и как долго он будет находиться в здании; как он будет взаимодействовать с другими агентами для того чтобы добиться соответствия параметров окружающей среды своим предпочтениям.

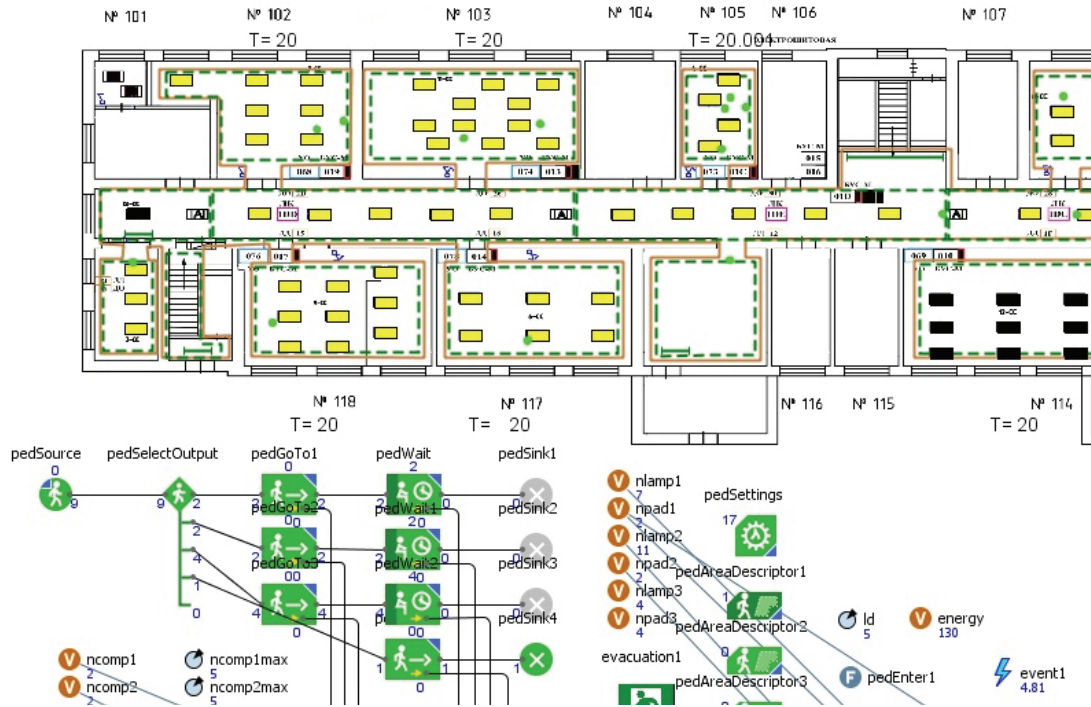


Рисунок 4 – Фрагмент модели в процессе имитации в системе AnyLogic

Все агенты, за исключением HumanAgent, не визуализируются на плане здания, но могут изменять значения связанных с ними переменных модели, отображаемых на плане. Для редактирования свойств и поведения агентов в графическом редакторе системы AnyLogic используются отдельные закладки, называемые диаграммами агентов. Все параметры, переменные, функции и диаграммы, относящиеся к конкретному типу агента, расположены на соответствующей диаграмме агента. Фрагмент диаграммы для зонального ОВК-агента приведён на рисунке 6. На данном фрагменте показана часть глобальных переменных и функций агента, а также его главная диаграмма действий. Диаграмма действий включает опрос и получение информации от локальных ОВК-агентов, опрос и получение информации о предпочтениях от агентов-людей, выполнение функций оптимального управления и выдачу команд управления в адрес локальных ОВК-агентов. Для взаимодействия между агентами модели используется механизм сообщений.

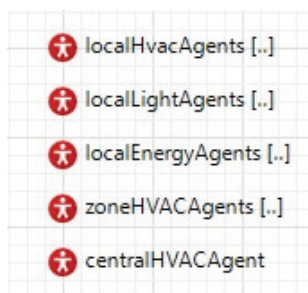


Рисунок 5 – Состав агентов модели

Работа локальных агентов электроснабжения и освещения здания моделировалась с помощью средств пешеходной библиотеки, диаграмм действий и состояний, программирования на языке Java. Моделирование микроклимата в помещениях проводилось с помощью компонентов «Системная динамика» системы AnyLogic. Динамика микроклимата помещения описывалась системой дифференциальных уравнений, рассмотренной в работе [21].

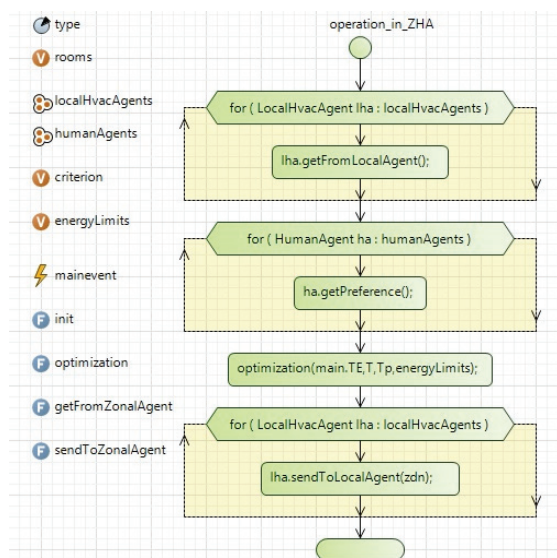


Рисунок 6 – Фрагмент диаграммы для зонального ОВК-агента

ОВК-система должна регулировать расход тепла от отопительных приборов (радиаторов, конвекторов) и расход свежего воздуха так, чтобы обеспечить требуемый микроклимат в помещениях. При этом необходимо добиваться экономии тепла и электроэнергии, потребляемой при работе оборудования ОВК-системы. Это возможно за счёт использования зональными ОВК-агентами специальных алгоритмов оптимального управления микроклиматом, реализующих решение задачи (1) - (5) и периодического (когда это возможно) отключения или снижения мощности климатического оборудования (насосов, вентиляторов).

Система AnyLogic не имеет встроенных возможностей по выполнению функций оптимизации и оптимального управления в процессе моделирования. Однако она позволяет обращаться к внешним библиотекам на языке Java. Поэтому для выполнения функций оптимального управления микроклиматом и энергосбережением в здании

была написана внешняя Java библиотека, использующая библиотеку оптимизации JOM [22]. Данная библиотека содержит популярные решатели задач оптимизации, в том числе, решатель нелинейных задач оптимизации большой размерности IPOPT [23].

На разработанной компьютерной модели были проведены численные эксперименты для различных режимов и значений параметров модели. Полученные в результате выполнения одного из экспериментов графики расхода электроэнергии и тепла в здании показаны на рисунке 7.

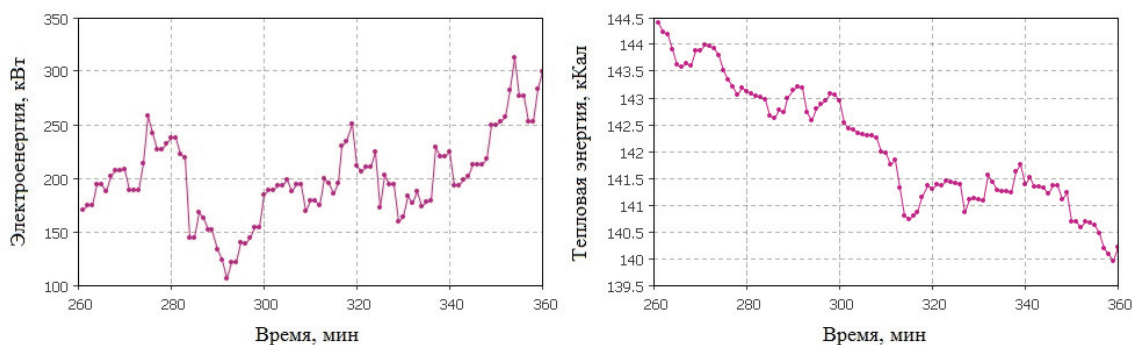


Рисунок 7 – Графики потребления электрической и тепловой энергии

Графики соответствуют дневному времени суток весеннего периода года, когда под влиянием повышения температуры наружного воздуха, солнечной радиации и бытовых тепловыделений потребление тепловой энергии в результате работы зональных ОВК-агентов и центрального ОВК-агента постепенно снижается.

Модель позволяет отработать вопросы взаимодействия между агентами, исследовать зависимость энергопотребления от интенсивности людского потока в коридорах и на лестничных клетках, числа людей в помещениях, количества включённых светильников и электроприборов, внешних метеорологических факторов, применяемых алгоритмов автоматического управления и т.д. Использование мультиагентного подхода позволяет полнее учесть эффекты взаимодействия между отдельными элементами системы, а также влияние, оказываемое людьми на работу инженерного оборудования.

Заключение

Рассмотрены вопросы проектирования МАС управления зданием. На основе анализа известных архитектур МАС управления зданием проведена классификация агентов, сформирован перечень агентов, определены классы агентов и их характеристики. Показан пример построения архитектуры МАС управления зданием, приведено описание функций отдельных агентов МАС. Осуществлено компьютерного моделирования МАС в системе AnyLogic.

Проведённые исследования показали перспективность применения мультиагентного подхода при создании АСУЗ. Разработанная модель АСУЗ, позволяет учесть большое количество факторов, оказывающих влияние на функционирование здания, а также рассмотреть различные варианты реализации алгоритмов управления инженерным оборудованием зданий.

Список источников

- [1] **Кувшинов, Ю.Я.** Основы обеспечения микроклимата зданий: Учеб. для вузов / Ю.Я. Кувшинов, О.Д. Самарин. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 200 с.
- [2] **Shaikh, P.H.** A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings / Shaikh P.H., Nor N.M., Nallagowngan P., Elamvazuthi I., Ibrahim T. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 2014. - P.409–429. – DOI: 10.1016/j.rser.2014.03.027.
- [3] **Бударин, Е.Л.** Особенности принципа эргономичности в архитектуре и дизайне современного жилища / Е.Л. Бударин, Н.А. Сапрыкина // *Онтология проектирования*. – 2016, № 2(20). – С.205-215. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-205-215.
- [4] *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The MIT Press, 2002, - 585 p.
- [5] **Городецкий, В.И.** Многоагентные системы (Обзор) / В.И. Городецкий, М.С. Грушинский, А.В. Хабалов // *Новости искусственного интеллекта*. 2008. № 2. - С.64–116.
- [6] **Городецкий, В.И.** Промышленные применения многоагентных систем: прогнозы и реалии / В.И. Городецкий, П.О. Скобелев, О.Л. Бухвалов, И.В. Майоров // В сборнике: *Проблемы управления и моделирования в сложных системах Труды XVIII Международной конференции*. Под редакцией: Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха. - Самара, 2016. - С.137-162.
- [7] **Abras, S.** A multi-agent home automation system for power management / Abras S., Ploix S., Pesty S., Jacomino M. // *Third International Conference in Control, Automation and Robotics*, 2006. - P.59–68. DOI: 10.1007/978-3-540-79142-3_6.
- [8] **Klein, L.** Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multiagent systems / Klein L., Kwak J., Kavulya G., Jazizadeh F., Becerik-Gerber B., Varakantham P., Tambe M. // *Automation in Construction*, 22, 2012. - P.525–536. – DOI: 10.1016/j.autcon.2011.11.012.
- [9] **Booy, D.** A semiotic multi-agent system for intelligent building control / Booy D., Liu K., Qiao B., Guy C. // In *Proceedings of the 1st International Conference on Ambient Media and Systems*, 2008. – DOI: 10.4108/icst.ambisys2008.2881.
- [10] **Kollmann, S.** Towards a Cognitive Multi-agent System for Building Control / Kollmann S., Siafara L.C., Schaat S., Wendt A. // *Procedia Computer Science*, Volume 88, 2016. - P.191–197. – DOI: 10.1016/j.procs.2016.07.424.
- [11] **Yang, R.** Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors / Yang R., Wang L. // *Energy and Buildings*, 2013. - P.1–7. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.025.
- [12] **Wang, Z.** Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings / Wang Z., Wang L., Dounis A.I., Yang R. // *Applied Energy*, 99, 2012. - P.247–254. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.05.020.
- [13] **Davidsson, P.** Saving energy and providing value added services in intelligent buildings: A MAS approach / Davidsson P. Boman M. // In *Agent Systems, Mobile Agents, and Applications*, 2000. - P.166–177. – DOI: 10.1007/978-3-540-45347-5_14.
- [14] **Huber, M.** Purely agent based control of building energy supply systems / Huber M., Brust S., Schütz T., Constantin A., Streblow R., Müller D. // In *ECOS - International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, 2015.
- [15] **Lacroix, B.** Multi-Agent Control of Thermal Systems in Buildings / Lacroix B., Paulus C., Mercier D. // *Conference Agent Technologies in Energy Systems*, 2012.
- [16] **Sangi, R.** A platform for the agent-based control of HVAC systems / Sangi R., Bünning F., Fütterer J., Müller D. // *Proceedings of the 12th International Modelica Conference*, 2017. - P.799-808.

- [17] **Смирнов, С.В.** Онтологии как смысловые модели / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. – 2013, № 2 – С.12-19.
- [18] **Капустин, П.В.** Онтологические вопросы в кастомизированном архитектурном онлайн проектировании персонализированных жилых домов / П.В. Капустин, Д.М. Канин, И.Л. Чураков // Онтология проектирования. – 2015, № 3(17). – С.256-277. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-256-277.
- [19] **Марьясин, О.Ю.** Методы оптимального управления теплоснабжением зданий с использованием прогнозирующих моделей / О.Ю. Марьясин // В сб.: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XVIII Междунар. конф. Под ред.: Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха. – Самара, 2017. - С.137-162.
- [20] AnyLogic – инструмент многоподходного имитационного моделирования. - <http://www.anylogic.ru/>.
- [21] **Колодкина, А.С.** Комплексное моделирование переноса тепла, влаги и газовых примесей для управления микроклиматом в здании / А.С. Колодкина, А.А. Огарков, О.Ю. Марьясин // Математика и естественные науки. Теория и практика: Межвуз. сб. науч. тр. вып. 10. - Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. – С.145-154.
- [22] JOM (Java Optimization Modeler). - <http://www.net2plan.com/jom/index.php>.
- [23] Welcome to the Ipopt home page. - <https://projects.coin-or.org/Ipopt>.
-

DESIGN OF MULTI-AGENT BUILDING MANAGEMENT SYSTEM WITH ONTOLOGIES

O.Yu. Maryasin

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
maryasin2003@mail.ru*

Abstract

This article describes the design of a building management system. One of the problems that arise in the design is the task of organizing the harmonious work of traditional and advanced control systems for engineering equipment. Another problem is the identification of preferences and of people's activities. To solve these problems, the author suggests using a multi-agent approach. Based on the analysis of the architectures of multi-agent building management systems from literary and Internet sources, the classification of agents was conducted, as a result of which a list of agents was created and agent classes and their characteristics were determined. An example of constructing the architecture of a multi-agent building management system is shown, a description of the functions of individual agents is given. The design solutions were tested by computer simulation of the multi-agent system in the AnyLogic environment. For the first time classes of agents are proposed, which are the basis for building the architecture of a multi-agent building management system.

Key words: *indoor environment, energy saving, multi-agent system, AnyLogic.*

Citation: *Maryasin OYu. Design of multi-agent building management system with ontologies [In Russian]. Ontology of designing. 2018; 8(3): 387-399. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-387-399.*

References

- [1] **Kuvshinov YuYu, Samarin OD.** Fundamentals of microclimate buildings [In Russian]: Proc. for universities. – Moscow: Publishing house of the Association of Construction Universities, 2012. - 200 p.
- [2] **Shaikh PH, Nor NM, Nallagowngen P, Elamvazuthi I, Ibrahim T.** A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014; 34: 409–429. – DOI: 10.1016/j.rser.2014.03.027.
- [3] **Budarin EL, Saprykina NA.** Features of the principle of ergonomics in architecture and design of the modern housing [In Russian]. *Ontology of Designing*. – 2016; 6(2): 205-215. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-205-215.
- [4] *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence.* The MIT Press, 2002, 585 p.
- [5] **Gorodetsky VI, Grushinsky MS, Khabalov AV.** Multi-agent systems (Overview) [In Russian]. *News of art intelligence*. 2008; 2: 64-116.

- [6] **Gorodetsky VI, Skobelev PO, Bukhvalov OL, Mayorov IV.** Industrial applications of multi-agent systems: forecasts and realities [In Russian]. In: Problems of control and modeling in complex systems of the XVIII International Conference. Edited by: E.A. Fedosov, N.A. Kuznetsov, V.A. Wittich. - Samara, 2016. - P.137-162.
- [7] **Abras S, Ploix S, Pesty S, Jacomino M.** A multi-agent home automation system for power management. In: Cetto J.A., Ferrier J.L., Costa dias Pereira J., Filipe J. (eds) Informatics in Control Automation and Robotics. Lecture Notes Electrical Engineering, vol 15. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. - DOI: 10.1007/978-3-540-79142-3_6.
- [8] **Klein L, Kwak J, Kavulya G, Jazizadeh F, Becerik-Gerber B, Varakantham P, Tambe M.** Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multi-agent systems. *Automation in Construction*, 2012; 22: 525–536. – DOI: 10.1016/j.autcon.2011.11.012.
- [9] **Booy D, Liu K, Qiao B, Guy C.** A semiotic multi-agent system for intelligent building control. In Proceedings of the 1st International Conference on Ambient Media and Systems, 2008. – DOI: 10.4108/icst.ambisys2008.2881.
- [10] **Kollmann S, Siafara LC, Schaaf S, Wendt A.** Towards a Cognitive Multi-agent System for Building Control, *Procedia Computer Science*, 2016; 88: 191–197. – DOI: 10.1016/j.procs.2016.07.424.
- [11] **Yang R, Wang L.** Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. *Energy and Buildings*, 2013. - P.1–7. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.025.
- [12] **Wang Z, Wang L, Dounis AI, Yang R.** Multi-agent control system with information fusion based comfort model for smart buildings. *Applied Energy*, 99, 2012. - P.247–254. – DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.05.020.
- [13] **Davidsson P, Boman M.** Saving energy and providing value added services in intelligent buildings: A MAS approach. In *Agent Systems, Mobile Agents, and Applications*, 2000. - P.166–177. – DOI: 10.1007/978-3-540-45347-5_14.
- [14] **Huber M, Brust S, Schütz T, Constantin A, Streblow R, Müller D.** Purely agent based control of building energy supply systems. In *ECOS - International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, 2015.
- [15] **Lacroix B, Paulus C, Mercier D.** Multi-Agent Control of Thermal Systems in Buildings, *Conference Agent Technologies in Energy Systems*, 2012.
- [16] **Sangi R, Bünnig F, Fütterer J, Müller D.** A platform for the agent-based control of HVAC systems. Proceedings of the 12th International Modelica Conference, 2017. – P.799-808.
- [17] **Smirnov SV.** Ontologies as semantic models [In Russian]. *Ontology of Designing*. - 2013, No.2. - P.12-19.
- [18] **Kapustin PV, Kanin DM, Churakov IL.** The ontological questions of personalize homes customized architectural online designing [In Russian]. *Ontology of Designing*. – 2015; 5(3): 256-277. - DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-3-256-277.
- [19] **Maryasin OYu.** Methods for the optimal control of the heat supply of buildings using predictive models [In Russian]. In: Problems of control and modeling in complex systems of the XVIII International Conference. Edited by: E.A. Fedosov, N.A. Kuznetsov, V.A. Wittich. - Samara, 2017. - P.137-162.
- [20] AnyLogic is a tool for multi-approach simulation modeling. - <http://www.anylogic.ru/>.
- [21] **Kolodkina AS, Ogarkov AA, Maryasin OYu.** Complex modeling of the transfer of heat, moisture and gas impurities to control the microclimate in the building [In Russian]. In: "Mathematics and natural sciences. Theory and Practice", No. 10. - Yaroslavl: Publication. house of the YSTU, 2015. - P.145-154.
- [22] JOM (Java Optimization Modeler). - <http://www.net2plan.com/jom/index.php>.
- [23] Welcome to the Ipopt home page. - <https://projects.coin-or.org/Ipopt>.

Сведения об авторе



Марьясин Олег Юрьевич, 1964 г. рождения. Окончил Ярославский политехнический институт в 1986 г., к.т.н. (1992). Доцент кафедры «Кибернетика» Ярославского государственного технического университета. Член Российской ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике (АВОК). В списке научных трудов более 50 работ в области автоматизации технических систем, автоматизации инженерных систем зданий, компьютерного моделирования и оптимизации сложных систем.

Oleg Yurevich Maryasin (b. 1964) graduated from the Yaroslavl Polytechnic Institute (Yaroslavl-city) in 1986, PhD (1992). He is Associate Professor at Yaroslavl State Technical University (Department of Cybernetics). He is member of Russian Association of engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply and building thermal physics. He is co-author of more than 50 publications in the field of automation of technical systems, automation of building engineering systems, complex systems simulation and optimization.