

СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДСИСТЕМАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

О.Л. Викентьева, А.И. Дерябин, Л.В. Шестакова, А.В. Кычкин

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, филиал в г. Пермь (НИУ ВШЭ — Пермь),
614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38

АННОТАЦИЯ. Предмет исследования: эксплуатация интеллектуальных зданий (ИЗ) требует учитывать ряд факторов: ресурсосбережение, снижение эксплуатационных расходов, повышение безопасности, обеспечение комфортных условий труда и отдыха. Автоматизация управления соответствующими инженерными системами освещения, микроклимата, безопасности, коммуникационными системами и сетями с помощью современных технологий, например Internet of Things (IoT, Интернет вещей), порождает проблемы, связанные с хранением и обработкой больших объемов данных, степень использования которых сегодня крайне низкая. В связи с тем, что жизненный цикл здания достаточно велик и превосходит жизненный цикл стандартов, учитывающих требования безопасности, комфорта, энергосбережения и т.п., необходимо учитывать аспекты управления в условиях рационального использования больших данных на этапе информационного моделирования.

Цели: повышение эффективности управления подсистемами технического обеспечения ИЗ на основе веб-ориентированной информационной системы, обладающей гибкой многоуровневой архитектурой, с несколькими контурами управления и моделью адаптации.

Материалы и методы: в связи с тем, что ИЗ относится к человеко-машинным системам, в качестве базового метода создания и исследования системы управления рассматривается кибернетический подход. Инструментальными методами исследования выступают теоретико-множественное моделирование, теория автоматов и архитектурные принципы организации информационных систем управления.

Результаты: синтезирована гибкая архитектура информационной системы управления подсистемами технического обеспечения ИЗ, включающая: уровень клиента, уровень приложения и уровень данных, а также три слоя: слой представления, слой исполнительных устройств и слой аналитики. Для решения проблемы, связанной с увеличением объема обрабатываемой контроллером сообщений реального времени информации, предложено использовать датчики и исполнительные механизмы с настраиваемым порогом срабатывания, реализующие алгоритмы управления на основе модели дискретных автоматов, в частности логические схемы алгоритмов (ЛСА). В составе многоконтурной системы управления дополнительно введены: блок интеллектуального анализа данных, Система управления базами данных витрины данных и OLAP-куб (On-Line Analytical Processing), обеспечивающие обработку больших объемов информации о состоянии подсистемами технического обеспечения зданий и сооружений.

Выводы: информационная система управления подсистемами технического обеспечения ИЗ, построенная на базе предложенной архитектуры, позволит повысить качество принимаемых решений и снизить эксплуатационные расходы здания за счет применения контура управления, использующего интеллектуальный анализ данных. Предложенное решение рекомендуется к использованию для управления техническими системами зданий и сооружений, имеющих средства автоматизации и IoT.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационная модель здания, информационная система, архитектура информационной системы, система управления, интеллектуальное здание, Интернет вещей, интеллектуальный анализ данных, большие данные, OLAP

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Викентьева О.Л., Дерябин А.И., Шестакова Л.В., Кычкин А.В. Синтез информационной системы управления подсистемами технического обеспечения интеллектуальных зданий // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 10 (109). С. 1191–1201.

SYNTHESIS OF INFORMATION SYSTEM FOR SMART HOUSE HARDWARE MANAGEMENT

O.L. Vikentyeva, A.I. Deryabin, L.V. Shestakova, A.V. Kychkin

National Research University Higher School of Economics, Campus in Perm (NRU HSE — Perm),
38 Studencheskaya str., Perm, 614070, Russian Federation

ABSTRACT. Subject: smart house maintenance requires taking into account a number of factors: resource-saving, reduction of operational expenditures, safety enhancement, providing comfortable working and leisure conditions. Automation of the corresponding engineering systems of illumination, climate control, security as well as communication systems and networks via utilization of contemporary technologies (e.g., IoT — Internet of Things) poses a significant challenge related to storage and processing of the overwhelmingly massive volume of data whose utilization extent is extremely low nowadays. Since a building's lifespan is large enough and exceeds the lifespan of codes and standards that take into account the

requirements of safety, comfort, energy saving, etc., it is necessary to consider management aspects in the context of rational use of large data at the stage of information modeling.

Research objectives: increase the efficiency of managing the subsystems of smart buildings hardware on the basis of a web-based information system that has a flexible multi-level architecture with several control loops and an adaptation model.

Materials and methods: since a smart house belongs to man-machine systems, the cybernetic approach is considered as the basic method for design and research of information management system. Instrumental research methods are represented by set-theoretical modelling, automata theory and architectural principles of organization of information management systems.

Results: a flexible architecture of information system for management of smart house hardware subsystems has been synthesized. This architecture encompasses several levels: client level, application level and data level as well as three layers: presentation level, actuating device layer and analytics layer. The problem of growing volumes of information processed by realtime message controller is attended by employment of sensors and actuating mechanisms with configurable threshold, which implement control logic based on the model of discrete automata (namely, logical algorithm schemes). It is suggested to additionally enhance multi-loop control system with data-mining module, DBMS, datamarts, and OLAP cube, which are jointly capable of processing large amount of data on the state of hardware subsystems of buildings and structures.

Conclusions: an information system for management of smart house hardware subsystems, once built according to the proposed architecture, will enhance the quality of decision-making process, decrease operational costs of the smart house due to the application of data-mining enabled control loop. It is recommended that the proposed solution be implemented for management of engineering systems of buildings and structures that utilize automation and IoT tools.

KEY WORDS: building information model (BIM), information system, information system architecture, control system, smart building, Internet of Things (IoT), data mining, big data, OLAP

FOR CITATION: Vikentyeva O.L., Deryabin A.I., Shestakova L.V., Kychkin A.V. Sintez informatsionnoy sistemy upravleniya podsistemami tekhnicheskogo obespecheniya intellektual'nykh zdaniy [Synthesis of Information System for Smart House Hardware Management]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 10 (109), pp. 1191–1201.

ВВЕДЕНИЕ

Современные здания, обладающие сложной инженерной инфраструктурой с автоматизированной системой мониторинга и управления, называют интеллектуальными зданиями (ИЗ). Число и виды ИЗ в современном городе постоянно увеличиваются: это крупные офисные здания, торговые и развлекательные центры, гостиничные комплексы, здания аэропортов, производственные помещения, здания социального значения, логистические и складские корпуса и пр. Эксплуатация таких зданий требует учитывать ряд факторов: ресурсосбережение, снижение эксплуатационных расходов, повышение безопасности, обеспечение комфортных условий труда и отдыха. Это порождает проблемы, связанные с хранением и обработкой больших объемов данных, которые на данный момент используются крайне неэффективно. Решить эти проблемы можно путем автоматизации управления всеми инженерными системами в комплексе: освещением, микроклиматом, безопасностью, коммуникационными системами и сетями с помощью современных технологий, например Интернет вещей (Internet of Things — IoT), с привлечением специализированного аналитического аппарата.

Следует отметить, что жизненный цикл ИЗ достаточно велик и превосходит жизненный цикл стандартов, учитывающих требования безопасности, комфорта, энергосбережения и т.п., поэтому существует большое количество общественных зданий, не соответствующих современным стандартам и требующим существенной реконструк-

ции. Это приводит к необходимости учитывать все аспекты, присущие ИЗ, в условиях рационального использования больших данных еще на этапе проектирования информационной модели [1]. Перспективным направлением повышения эффективности управления подсистемами технического обеспечения ИЗ является разработка и применение веб-ориентированной информационной системы, обладающей гибкой многоуровневой архитектурой, с несколькими контурами управления, включая контур с интеллектуальным анализом данных (Data Mining) и моделью адаптации.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Исследования в области ИЗ достаточно многочисленны. В работе [2] авторы выделяют три основных направления исследований: технологии ИЗ, оценка инвестиций, оценка эффективности.

Концепция ИЗ стимулировалась развитием информационных технологий. Настоящее исследование посвящено технологиям ИЗ, в первую очередь — информационным.

ИЗ имеет следующую специфику:

- возможность наращивания и видоизменения конфигурации инженерных систем;
- большое количество информационных точек-датчиков (по российским нормам — две-три тысячи) для сбора информации о состоянии здания [3];
- компоненты системы, как программные, так и аппаратные не должны быть привязаны к одному производителю;

- использование типовых устройств, таких как контроллеры, шины связи, модули ввода-вывода, системы отображения информации и пр. [4].

Учет этих особенностей позволяет сделать вывод, что в ИЗ все инженерные системы и системы безопасности должны быть интегрированы на базе единой информационной системы. Основой ИЗ является автоматизированная система управления зданием. Комплекс российских стандартов СТО НП «АВОК», разработанный на основе ISO 16484¹, выделяет три уровня автоматизации, поддерживаемые автоматизированной системой управления зданием:

- взаимодействие между персоналом и системой посредством человеко-машинного интерфейса;
- управление инженерными системами с помощью контроллеров;
- управление периферийными устройствами.

В работе [4] даны принципы построения программно-аппаратного комплекса для интеллектуального управления инженерным оборудованием в системе «умный дом»: использование стандартного оборудования и открытых протоколов передачи данных, выделение трех уровней управления, применение распределенной базы знаний, допускающей дистанционное управление. В статье [5] рассматривается интеграция системы искусственного интеллекта здания и функциональной модели, включающей в себя динамическую модель здания (BIM) и хранилище исторических данных. Интеграция любой системы ИИЗ, использующей произвольные протоколы обмена данными, осуществляется с помощью промежуточного программного обеспечения на основе обмена сообщениями.

Автор [6] предлагает аппаратную схему системы управления умным домом, интегрированную в облако, состоящую из пяти уровней автоматизации. Представленная архитектура соответствует концепции IoT. Помимо аппаратной составляющей архитектуры системы управления, рассматривается и программная составляющая. В работе [7] авторы выделяют два вида систем управления зданиями: самообучающиеся и адаптивные системы. В самообучающихся системах часто повторяющиеся сценарии управления записываются и накапливаются в базах знаний, которые используются для прогнозирования потребностей пользователей и контроля ситуации. В адаптивных системах активность и местоположение людей и объектов постоянно регистрируется и используется для управления подсистемами дома.

В работе [8] обсуждаются вопросы построения интеллектуальных систем мониторинга ИЗ. Авторы отмечают, что функции интеллектуального мониторинга и оптимизации не дают удовлетворительных результатов, так как они часто ориентированы на определенные правила представления входных

параметров. Предлагается оформить входные параметры в виде информационной модели состояния. Информационная модель системы конструируется динамически из информационной модели объекта и временных рядов значений параметров и событий.

В работах [9, 10] рассматривается методика синтеза структуры информационной системы мониторинга и управления инженерными подсистемами здания, обеспечивающая автоматизированную настройку на оптимальные режимы энергопотребления. В работах [10, 11] в качестве инструментального метода синтеза структур информационных систем удаленного сбора данных на основе распространенных сетевых технологий передачи информации, в т.ч. с беспроводных датчиков, выступает теоретико-множественный подход. Несмотря на развитие теории построения энергоучетных средств [12] и протоколов передачи измерительной информации в режимах реального времени [13], вопросам аналитической обработки больших объемов данных уделяется недостаточное внимание.

В отчете инновационного центра Дании [14] обсуждаются основные тренды использования информационных технологий в ИЗ: Big Data, IoT [15], использование мобильных устройств.

Для ИЗ характерно наличие большого количества информационных точек, данные от которых необходимо обрабатывать в режиме реального времени. Кроме того, целесообразно объединять внутренние данные здания с внешними данными, например с прогнозами погоды или уровнем естественного освещения [16]. Обработка таких наборов данных методами Big Data повысит способность прогнозировать поведение подсистем интеллектуального задания и корректировать процессы управления этими подсистемами с помощью EMS (Energy Management System) [17–20]. Использование мобильных устройств в большей степени характерно для умного дома, но эта тенденция распространяется и в коммерческую часть строительного сектора — ИЗ. IoT и облачные сервисы являются двумя наиболее важными факторами, способствующими развитию мобильных платформ для ИЗ [14].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В связи с тем, что ИЗ относится к человеко-машинным системам, в качестве базового метода создания и исследования системы управления рассматривается кибернетический подход. Инструментальными методами исследования выступают теоретико-множественное моделирование, теория автоматов и архитектурные принципы организации информационных систем управления.

Кибернетический подход к процессу управления предполагает наличие среды, объекта, субъекта и алгоритма управления. Алгоритм управления состоит из управляющих воздействий, которые

¹ ISO 16484. Building Automation and Control Systems.

переводят объект управления из одного состояния в другое. Управление ИЗ в таком случае является процессом организации целенаправленного воздействия на объект управления — ИЗ — для достижения множества целей Π_i : ресурсосбережения Π_1 , снижения эксплуатационных расходов Π_2 , повышения безопасности Π_3 , обеспечения комфортных условий труда и отдыха Π_4 .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе принципов кибернетического подхода систему управления подсистемами технического обеспечения ИЗ можно представить в виде схемы (рис. 1).

На основе информации о значениях параметров объекта управления, полученной из системы отчетности, информации об имеющихся ресурсах и информации о возмущающих воздействиях внешней среды V , субъект управления принимает решение о формировании управляющего воздействия U_{cy} .

В системе управления можно выделить три возмущающих воздействия:

- ΔU_1 — воздействие, поступающее с датчиков объекта управления и отражающее его изменения;
- ΔU_2 — воздействие, поступающее к субъекту управления из системы отчетности;
- ΔU_3 — воздействие, поступающее из внешней среды.

Эти возмущающие воздействия компенсируются двумя контурами управления:

- контур А, включающий в себя контроллер, ИМ, ОУ с датчиками, реализует обратную связь по

объекту управления в автоматическом режиме с помощью контроллера;

- контур В, включающий в себя СУ, контроллер, ИМ, ОУ с датчиками, систему отчетности, реализует обратную связь по объекту управления в ручном режиме с помощью системы отчетности.

Между параметрами ОУ и параметрами ИМ существует отношение $G_1 \subset P_{ou} \times P_{im}$. Изменение параметра P_{im} может повлечь за собой изменение одного или нескольких параметров P_{ou} .

Между множеством параметров внешней среды $\{V\}$ и множеством параметров объекта управления $\{P_{ou}\}$ существует отношение $G_2 \subset P_{ou} \times V$, так как при изменении V_i будет меняться один или несколько параметров P_{ou} .

Таким образом, достижение целей Π_1 и Π_2 можно обеспечить, минимизируя затраченные ресурсы R , а для достижения целей Π_3 и Π_4 необходимо добиться установлением значений параметров объекта управления P_{ou} и P_{im} в соответствии с нормативными значениями P_{norm} .

В настоящее время в качестве субъекта управления в таких системах выступает человек-оператор, который использует информационную систему для получения информации о состоянии ОУ и устанавливает значения параметров исполнительного механизма P_{im} в соответствии с нормативными значениями. При этом на значения параметров ОУ оказывают влияние возмущающие воздействия V внешней среды (см. рис. 1). При этом невозможно эффективно управлять параметрами P_{ou} , что можно объяснить следующими причинами:

- параметры V , P_{ou} , P_{im} имеют различные законы изменения во времени;

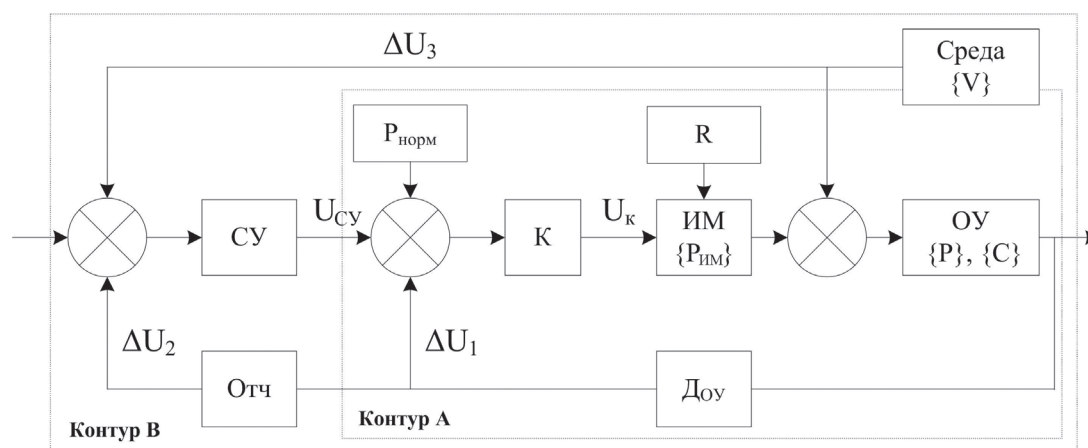


Рис. 1. Система управления подсистемами технического обеспечения ИЗ: СУ — субъект управления; ОУ — объект управления, который описывается набором параметров $P_{ou} = \{p_1, p_2, \dots, p_1 \dots p_k\}$; P_{norm} — нормативные значения параметров, характеризующих состояние объекта управления; ИМ — исполнительный механизм, который для своей работы использует набор ресурсов $\{R\}$, под воздействием управляющего сигнала U_k меняет состояние C_i объекта управления; К — контроллер, используется для управления исполнительным механизмом, на основе значений параметров, полученных с датчиков ОУ, нормативных значений параметров P_{norm} и управляющего воздействия U_{cy} ; $\{V\}$ — параметры внешней среды; D_{ou} — датчики для измерения параметров объекта управления; Отч — система отчетности, которую субъект управления использует для получения информации об ОУ

- зависимость параметра P_{OY} от P_{IM} и V не всегда очевидна;
- система обладает инерционностью, что не позволяет быстро изменить P_{OY} при изменении параметров V ;
- нормативные значения не всегда соответствуют реальным условиям, зависящим от параметров V и состояния ОУ.

Решением проблемы может стать информационная система, в которой в качестве субъекта управления будет выступать интеллектуальная система, использующая средства DataMining. Такая система должна выполнять поиск зависимостей между параметрами исполнительных механизмов P_{IM} и параметрами объекта управления P_{OY} , возмущениями внешней среды V и параметрами объекта управления P_{OY} . Эти зависимости могут использоваться для прогнозирования значений параметров P_{OY} и P_{IM} , что поможет заранее выставить нужные значения с учетом инерционности системы.

В настоящее время в архитектуре информационной системы управления ИЗ рассматривают три уровня компонентов (рис. 2):

- уровень клиента;
- уровень приложения;
- уровень данных.

Уровень клиента предполагает наличие датчиков и исполнительных механизмов (слой исполнительных устройств), а также устройств и программного обеспечения для реализации функций управления и контроля со стороны субъекта управления (слой представления).

Уровень приложения включает в себя средства сбора и обработки информации с датчиков, а также контроллер для управления исполнительными механизмами (слой исполнительных устройств). Слой представления уровня приложения включает сервер для взаимодействия пользователя (субъекта управления) с информационной системой через Интернет, внешние сервисы для реализации бизнес-логики ИЗ (личный кабинет пользователя, механизмы авторизации и регистрации и пр.). Для доступа к данным, хранящимся в базе данных (БД), реализованы различные механизмы доступа.

Уровень данных содержит каталог сервера, в котором размещается информация, отображаемая на веб-страницах, БД, хранящие информацию о работе системы управления, и БД, хранящая информацию, обрабатываемую контроллером (Система управления базами данных (СУБД) реального времени).

Таким образом, в данной архитектуре можно выделить две информационных модели (рис. 2), соответствующие контурам управления, представленным на рис. 1:

• **Модель уровня датчиков и исполнительных механизмов** (датчики, контроллер, БД для хранения информации, обрабатываемой контроллером). Данная модель реализует контур управления по объекту управления в автоматическом режиме с помощью контроллера — контур А. Информация с датчиков, установленных на ОУ, обрабатывается контроллером, который формирует управляющее воздействие на ИМ, т.е. контроллер управляет параметрами ОУ. Обратная связь по объекту управ-

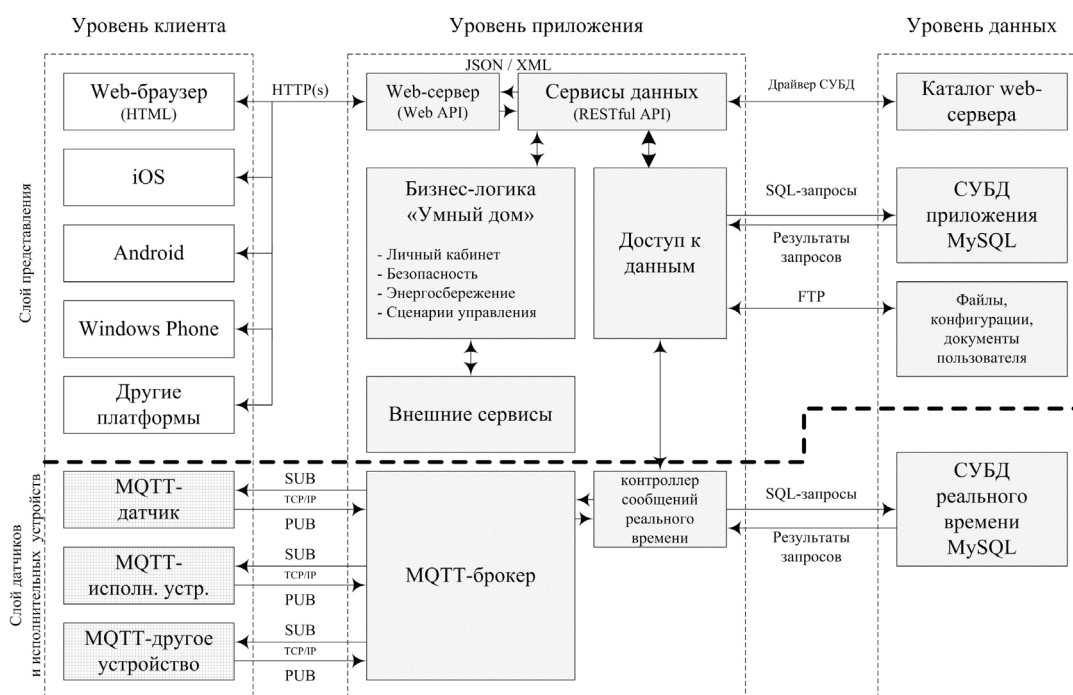


Рис. 2. Три уровня компонентов в архитектуре информационной системы управления

- **модель уровня датчиков и исполнительных механизмов** (датчики, контроллер, БД для хранения информации обрабатываемой контроллером) — контур А;

- При добавлении дополнительных контуров управления возникает проблема, связанная с увеличением объема обрабатываемой контроллером сообщений реального времени информации, так как, кроме параметров ОУ, будут использоваться еще параметры среды и ИМ. Соответственно, возрастает количество необходимых для измерения этих параметров датчиков. Для решения этой проблемы предлагается использовать на ОУ датчики с настраиваемым порогом срабатывания. В этом случае сигнал с датчика принимает двоичное значение $D_i = f(P_i) = \{0, 1\}$, где D_i — сигнал с датчика, соответствующего параметру P_i , $P_i \in P_{\text{оу}}$. Функция D_i принимает значение единицы, если P_i больше, иначе она принимает значение нуля. Преобразование значений датчиков в двоичный формат позволяет использовать в контроллере для реализации алгоритмов управления модели дискретных автоматов (например, ЛСА). Для этого добавляются модуль для хранения ЛСА и интерпретатор ЛСА (рис. 4). Датчики среды и исполнительных меха-

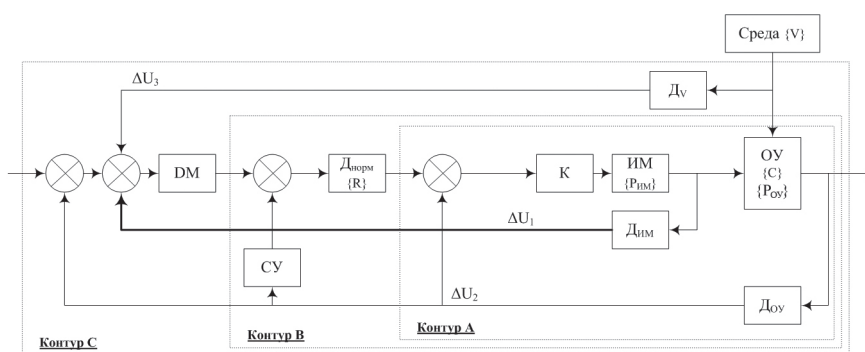


Рис. 3. Система управления подсистемами технического обеспечения ИЗ с дополнительным контуром

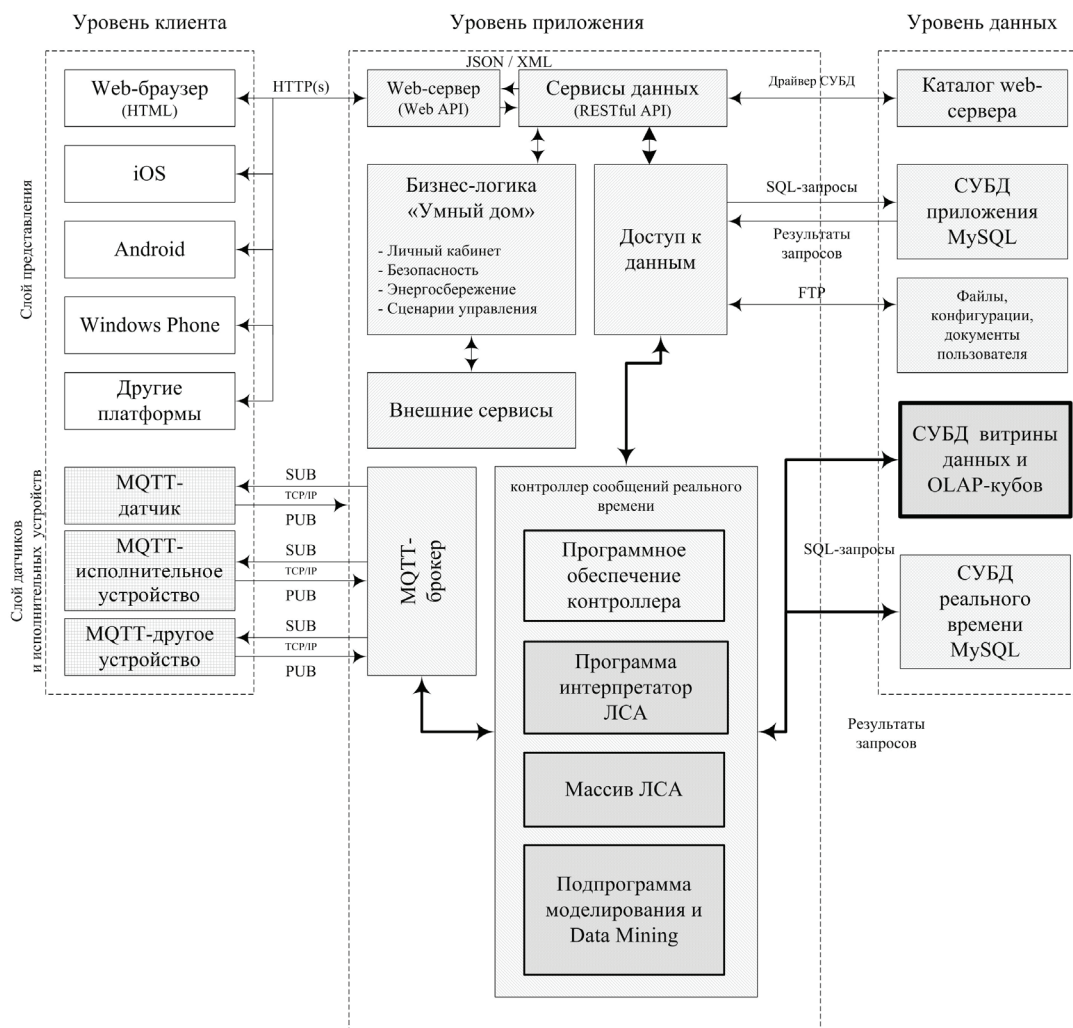


Рис. 4. Информационная система управления с моделью адаптации

низмов предназначены для измерения цифровых параметров.

Таким образом, в архитектуре системы управления ИЗ можно выделить три уровня: уровень клиента, уровень приложения и уровень данных, а также три слоя: слой представления, слой исполнительных устройств и слой аналитики.

Слой представления. Сервер приложений в заданный момент времени выдает сигнал контроллеру на передачу сформированного массива данных из БД реального времени. Пользователь системы с помощью браузера обращается к приложению, которое запрашивает данные из БД приложения и возвращает пользователю, при этом возможно отображение данных в требуемом виде (графики, диаграммы и т.п.). Для построения пространства параметров в слое аналитики необходима синхронизация таймеров слоя датчиков и исполнительных механизмов и слоя аналитики. Для этого используется таймер слоя представления.

Слой датчиков и исполнительных механизмов. Таймер слоя датчиков и исполнительных меха-

низмов через заданные интервалы времени выдает сигнал контроллеру сообщений реального времени для получения информации. Датчик ОУ возвращает ноль, если значение соответствующего параметра не превышает установленное пороговое значение, и единицу в противном случае. Полученное значение контроллер передает программному автомату ЛСА, который обрабатывает это значение и в случае необходимости формирует команду управления для исполнительного механизма. Все полученные значения контроллер записывает в БД реального времени. Через заданные интервалы времени таймер выдает сигнал на получение контроллером информации с датчиков среды и датчиков ИМ. Датчики ИМ и среды выдают информацию в виде цифровых значений. Полученные значения также записываются в ВД реального времени.

Слой аналитики. СУБД витрины данных и OLAP-кубов в заданный момент времени выдает сигнал контроллеру на передачу сформированного массива данных из БД реального времени в витрину данных. Далее запускается процедура DataMining,

которая обрабатывает информацию о состояниях объекта управления, среды и исполнительных механизмов за определенный период времени, хранящуюся в витрине данных. В результате обработки этой информации будут получены данные для контроллера о настройке пороговых значений датчиков на следующий период эксплуатации ИЗ.

ВЫВОДЫ

На основе кибернетического подхода построена структурная схема широко распространенных систем управления подсистемами технического обеспечения ИЗ, включающая в себя два контура управления. Первый контур реализует обратную связь по объекту управления в автоматическом режиме с помощью контроллера; второй контур реализует обратную связь по объекту управления в ручном режиме с помощью системы отчетности. В настоящее время в качестве субъекта управления в таких системах выступает человек-оператор, который использует информационную систему управления зданием для получения информации о состоянии подсистем и устанавливает значения параметров в соответствии с нормативными значениями, далеко не всегда соответствующими реальным условиям.

Для более качественного управления подсистемами здания предложена архитектура веб-ориентированной информационной системы, в которой вводится дополнительный контур управления — интеллектуальная система, использующая средства DataMining. Система интеллектуального анализа данных может выполнять поиск зависимостей между параметрами исполнительных механизмов

и параметрами объектов управления, возмущениями внешней среды и параметрами объекта управления в подсистемах здания. Эти зависимости могут использоваться для прогнозирования значений параметров, что поможет заранее установить нужные значения с учетом инерционности системы.

Предложенная архитектура информационной системы управления подсистемами технического обеспечения ИЗ включает уровень клиента, уровень приложения и уровень данных, а также слой представления, слой исполнительных устройств и слой аналитики. Для решения проблемы, связанной с увеличением объема обрабатываемой контроллером сообщений реального времени информации, предложено использовать датчики и исполнительные механизмы с настраиваемым порогом срабатывания, реализующие алгоритмы управления на основе модели дискретных автоматов, в частности ЛСА. В составе многоконтурной системы управления дополнительно введены: блок интеллектуального анализа данных, СУБД витрины данных и OLAP-куб, обеспечивающие обработку больших объемов информации о состоянии подсистемами технического обеспечения зданий и сооружений.

Информационная система управления подсистемами технического обеспечения ИЗ, построенная на базе предложенной архитектуры, позволит повысить качество принимаемых решений и снизить эксплуатационные расходы здания за счет применения контура управления, использующего интеллектуальный анализ данных. Предложенное решение рекомендуется к использованию для управления техническими системами зданий и сооружений, имеющих средства автоматизации и IoT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jianchao Zhang, Boon-Chong Seet, Tek Tjing Lie. Building information modelling for smart built environments // *Buildings*. 2015. Vol. 5 (1). Pp. 100–115.
2. Wonga J.K.W., Li H., Wang S.W. Intelligent building research: are view // *Automation in Construction*. 2005. Vol. 14 (1). Pp. 143–159.
3. Комаров Н.М., Жаров В.Г. Управление инженерными системами интеллектуального здания с использованием технологий информационного и инфографического моделирования // *Сервис plus*. 2013. № 2. С. 74–81.
4. Байгозин Д.В., Первухин Д.Н., Захарова Г.Б. Разработка принципов интеллектуального управления инженерным оборудованием в системе «умный дом» // *Известия Томского политехнического университета*. 2008. Т. 313. № 5. 168–172.
5. Волков А.А., Батов Е.И. Промежуточное программное обеспечение в функциональной модели

интеллектуального здания // *Вестник МГСУ*. 2015. № 10. С. 182–186.

6. Николаев П.Л. Архитектура интегрированной в облачную среду системы управления умным домом // *Программные продукты и системы*. 2015. № 2 (110). С. 65–69.

7. Петрова И.Ю., Зарипова В.М., Лежнина Ю.А. Проектирование информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий. Направления дальнейшего развития // *Вестник МГСУ*. 2015. № 12. С. 147–157.

8. Андрияшечкин С.К., Ковалев С.П. Интеллектуальный мониторинг распределенных технологических объектов с использованием информационных моделей состояния // *Известия Томского политехнического университета*. 2010. Т. 317. № 5. С. 35–39.

9. Широков А.А., Кычкин А.В., Клюкин А.А. Автоматизация энергоучета жилищно-коммунального

хозяйства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2014. № 4 (12). С. 78–88.

10. Kychkin A.V. Synthesizing a system for remote energy monitoring in manufacturing // Metallurgist. 2016. Vol. 59. Issue 9. Pp. 752–760.

11. Кычкин А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 1. С. 15–20.

12. Кычкин А.В. Программно-аппаратное обеспечение сетевого энергоучетного комплекса // Датчики и системы. 2016. № 7 (205). С. 24–32.

13. Кычкин А.В. Протокол беспроводного сбора энергоданных для систем мониторинга реального времени // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2014. Т. 14. № 4. С. 126–132.

14. White paper: Green Intelligent buildings. Mapping of companies and activities in the US within “smart” buildings // Innovation Centre Denmark “Silicon Valley”. 2014. 22 p. Режим доступа : <http://svtech-talk.com/wp-content/uploads/2015/01/White-paper-Green-Intelligent-Building.pdf>.

15. Casey Talon, Noah Goldstein. Smart offices: how intelligent building solutions are changing the occupant experience // Navigant Consulting. 2015. 13 p. Режим доступа : <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/navigant-research-smart-office-paper.pdf>.

16. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Applied Data Analysis in Energy Monitoring System // Проблемы региональной энергетики. 2016. № 2 (31). С. 84–92.

17. Салихов Т.П., Худаяров М.Б. Энергомониторинг как инструмент повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий // Энергосбережение и водоподготовка. 2015. № 5 (97). С. 54–60.

18. Hong T., Feng W., Lu A. et al. Building energy monitoring and analysis. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013.

19. Seem J.E. Pattern recognition algorithm for determining days of the week with similar energy consumption profiles // Energy and Buildings. 2005. Vol. 37. No. 2. Pp. 127–139.

20. Braga L.C., Braga A.R., Braga C.M.P. On the characterization and monitoring of building energy demand using statistical process control methodologies // Energy and Buildings. 2013. Vol. 65. Pp. 205–219.

Поступила в редакцию 1 марта 2017 г.

Принята в доработанном виде 10 мая 2017 г.

Одобрена для публикации 5 сентября 2017 г.

О Б АВТОРАХ: Викентьева Ольга Леонидовна — кандидат технических наук, доцент, исполняющая обязанности заведующей кафедрой информационных технологий в бизнесе, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, филиал в г. Пермь (НИУ ВШЭ — Пермь), 614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38, oleovic@rambler.ru; researcherID L-6703-2015; ORCID 0000-0002-8991-4719;

Дерябин Александр Иванович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий в бизнесе, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, филиал в г. Пермь (НИУ ВШЭ — Пермь), 614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38, paid2@yandex.ru; researcher ID L-6715-2015; ORCID 0000-0003-1762-0487;

Шестакова Лидия Валентиновна — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий в бизнесе, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, филиал в г. Пермь (НИУ ВШЭ — Пермь), 614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38, l.v.shestakova@gmail.com; researcher ID L-6707-2015; ORCID 0000-0001-7604-266X;

Кычкин Алексей Владимирович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий в бизнесе, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, филиал в г. Пермь (НИУ ВШЭ — Пермь), 614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38, aleksey.kychkin@gmail.com; researcher ID N-7932-2016; ORCID 0000-0003-0626-5803.

REFERENCES

1. Jianchao Zhang, Boon-Chong Seet, Tek Tjing Lie. Building Information Modelling for Smart Built Environments. *Buildings*. 2015, vol. 5 (1), pp. 100–115.

2. Wonga J.K.W., Li H., Wang S.W. Intelligent Building Research: Are View. *Automation in Construction*. 2005, vol. 14 (1), pp. 143–159.

3. Komarov N.M., Zharov V.G. Upravlenie inzhenernymi sistemami intellektual'nogo zdaniya s ispol'zovaniem tekhnologiy informatsionnogo i info-graficheskogo modelirovaniya [Management of Engineering Systems of an Intelligent Building Using Information and Infographic Modeling Technologies]. *Servis plus* [Service Plus]. 2013, no. 2, pp. 74–81. (In Russian)
4. Baygozin D.V., Pervukhin D.N., Zakharova G.B. Razrabotka printsipov intellektual'nogo upravleniya inzhenernym oborudovaniem v sisteme «umnyy dom» [Development of the Principles of Intelligent Management of Engineering Equipment In the “Smart House” System]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. 2008, vol. 313, no. 5, pp. 168–172. (In Russian)
5. Volkov A.A., Batov E.I. Promezhutochnoe programmnoe obespechenie v funktsional'noy modeli intellektual'nogo zdaniya [Middleware for Functional Modeling of Intelligent Buildings]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 10, pp. 182–186. (In Russian)
6. Nikolaev P.L. Arkhitektura integrirovannoy v oblachnyuyu sredu sistemy upravleniya umnym Domom [The Architecture of a Smart Home Management System Integrated into the Cloud Environment]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems]. 2015, no. 2 (110), pp. 65–69. (In Russian)
7. Petrova I.Yu., Zaripova V.M., Lezhnina Yu.A. Proektirovanie informatsionno-izmeritel'nykh i upravlyayushchikh sistem dlya intellektual'nykh zdaniy. Napravleniya dal'neyshego razvitiya [Design of Information-Measuring and Control Systems for Intelligent Buildings. Trends of Development]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 12, pp. 147–157. (In Russian)
8. Andryushkevich S.K., Kovalev S.P. Intellektual'nyy monitoring raspredelennykh tekhnologicheskikh ob'ektov s ispol'zovaniem informatsionnykh modeley sostoyaniya [Intellectual Monitoring of Distributed Technological Objects Using Information Models of the State]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. 2010, vol. 317, no. 5, pp. 35–39. (In Russian)
9. Shirokov A.A., Kychkin A.V., Klyukin A.A. Avtomatizatsiya energoucheta zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva [Energy Accounting of the Housing and Municipal Services Automatization]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya* [PNRPU Bulletin. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems]. 2014, no. 4 (12), pp. 78–88. (In Russian)
10. Kychkin A.V. Synthesizing a System for Remote Energy Monitoring in Manufacturing. *Metallurgist*. 2016, vol. 59, issue 9, pp. 752–760.
11. Kychkin A.V. Model' sinteza struktury avtomatizirovannoy sistemy sbora i obrabotki dannykh na baze besprovodnykh datchikov [Synthesis Structure Model of the Automatic System for Data Collection and Processing on the Wireless Sensors Basis]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and Modern Technologies]. 2009, no. 1, pp. 15–20. (In Russian)
12. Kychkin A.V. Programmno-apparatnoe obespechenie setevogo energouchetnogo kompleksa [Software and Hardware of the Network Energy Accounting System]. *Datchiki i sistemy* [Sensors & Systems]. 2016, no. 7 (205), pp. 24–32. (In Russian)
13. Kychkin A.V. Protokol besprovodnogo sbora energodannykh dlya sistem monitoringa real'nogo vremeni [Wireless Energy Data Acquisition Protocol for the Real-Time Monitoring Systems]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika»* [Bulletin of South Ural State University. Series «Computer Technologies, Management, Radio Electronics»]. 2014, vol. 14, no. 4, pp. 126–132. (In Russian)
14. White paper: Green Intelligent buildings. Mapping of Companies and Activities in the US within “Smart” Buildings. *Innovation Centre Denmark “Silicon Valley”*. 2014, 22 p. Available at : <http://svtechtalk.com/wp-content/uploads/2015/01/White-paper-Green-Intelligent-Building.pdf>.
15. Casey Talon, Noah Goldstein. Smart Offices: How Intelligent Building Solutions Are Changing the Occupant Experience . *Navigant Consulting*. 2015, 13 p. Available at : <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/navigant-research-smart-office-paper.pdf>.
16. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Applied Data Analysis in Energy Monitoring System. *Problemy regional'noy energetiki* [Problems of Regional Energy]. 2016, no. 2 (31), pp. 84–92. (In Russian)
17. Salikhov T.P., Khudayarov M.B. Energomonitoring kak instrument povysheniya energoeffektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Energy Monitoring as a Tool to Improve Energy Efficiency of Residential and Public Buildings]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment]. 2015, no. 5 (97), pp. 54–60. (In Russian)
18. Hong T., Feng W., Lu A. et al. *Building Energy Monitoring and Analysis*. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2013.
19. Seem J.E. Pattern Recognition Algorithm for Determining Days of the Week with Similar Energy Consumption Profiles. *Energy and Buildings*. 2005, vol. 37, no. 2, pp. 127–139.
20. Braga L.C., Braga A.R., Braga C.M.P. On the Characterization and Monitoring of Building Energy Demand Using Statistical Process Control Methodologies. *Energy and Buildings*. 2013, vol. 65, pp. 205–219.

Received March 1, 2017

Accepted in revised form May 10, 2017

Approved for publication September 5, 2017

ABOUT THE AUTHORS: **Vikentyeva Olga Leonidovna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Information Technologies in Business Department, **National Research University Higher School of Economics, Campus in Perm (NRU HSE — Perm)**, 38 Studencheskaya str., Perm, 614070, Russian Federation; oleovic@rambler.ru; researcherID L-6703-2015; ORCID 0000-0002-8991-4719;

Deryabin Aleksandr Ivanovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Information Technologies in Business Department, **National Research University Higher School of Economics, Campus in Perm (NRU HSE — Perm)**, 38 Studencheskaya str., Perm, 614070, Russian Federation; paid2@yandex.ru; researcher ID L-6715-2015; ORCID 0000-0003-1762-0487;

Shestakova Lidiya Valentinovna — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Information Technologies in Business Department, **National Research University Higher School of Economics, Campus in Perm (NRU HSE — Perm)**, 38 Studencheskaya str., Perm, 614070, Russian Federation; l.v.shestakova@gmail.com; researcher ID L-6707-2015; ORCID 0000-0001-7604-266X;

Kychkin Aleksey Vladimirovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Information Technologies in Business Department, **National Research University Higher School of Economics, Campus in Perm (NRU HSE — Perm)**, 38 Studencheskaya str., Perm, 614070, Russian Federation; aleksey.kychkin@gmail.com; researcher ID N-7932-2016; ORCID 0000-0003-0626-5803.