

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

DOI: 10.12737/22760

Дектерев П.Е., аспирант,
Завьялов В.А., д-р техн. наук, проф.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЯМИ

bfstud@yandex.ru

В настоящее время теме моделирования зданий посвящено большое количество статей. В то же время применение информационных моделей зданий - BIM (Building Information Model) носит довольно ограниченный характер. В данной статье рассматривается проблема интеграции информационных моделей обобщённых объектов строительства и систем автоматизированного управления зданиями (АСУЗ). Решение данной проблемы позволит найти новые варианты практического использования BIM. Автором был произведён анализ зарубежной и отечественной литературы по данной тематике, на основе произведённого анализа были выделены основные концепции интеграции BIM и АСУЗ. Также автором была выявлена и обоснована концепция использования информационных моделей зданий для определения суммарной величины внешних возмущающих воздействий на системы управления. На основании данной концепции был предложен способ, позволяющий оптимизировать режим работы оборудования АСУЗ путём нахождения среднеквадратичной ошибки (СКО) управления и расчета оптимальных параметров регулятора по критерию минимума СКО. Интеграция, произведённая описанным путём, позволяет рассчитать величину суммарного эквивалентного возмущения, не останавливая регулирование исследуемого контура управления.

Ключевые слова: информационная модель здания, автоматизированная система управления зданием, имитационная модель, визуализация процесса, моделирование, интеграция.

Введение. Информационное моделирование здания (англ. Building Information Modeling) – это процесс создания функциональных 3D-моделей зданий, в том числе их инженерных систем (вентиляция, отопление, водоснабжение, электроснабжение и прочие), связанных с информационными базами данных, в которых задаются атрибуты к каждому элементу модели. Изменение какого-либо атрибута приводит к автоматическому изменению модели, таким образом, здание проектируется фактически как единый объект [1].

В процессе информационного моделирования объектов строительства проекты могут сохраняться вместе со всеми данными в рамках одной базы данных или разделяться на отдельные базы данных: строительные конструкции, вентиляция, отопление, электрооборудование и т.д.

Примером программного комплекса, реализующего посредством множества инструментов принцип информационного моделирования зданий, может служить Autodesk Revit. В Revit входит большой пакет узкоспециализированных программ, предоставляющих в совокупности

огромное количество возможностей для проектирования и расчётов. Например, если трёхмерный эскиз выполнять в Revit Architecture, то уже при поиске формы здания можно сразу вычислить столь важные для проекта характеристики, как площади и объёмы, причём их значения автоматически изменятся в зависимости от хода проектирования [2]. Autodesk Simulation CFD имеет широкий набор возможностей для анализа методами вычислительной гидродинамики. С их помощью можно быстро и точно выполнить моделирование высокоскоростных турбулентных и несжимаемых потоков, а также теплопроводности и процессов конвективного теплообмена. Это позволяет изучать поведение жидкостей и газов, движущихся внутри физических объектов и вокруг них [3].

На этапе эксплуатации BIM может выполнять следующие функции:

- управление эксплуатационной документацией;
- учёт оборудования и гарантийных обязательств;

- контроль расходования ресурсов (вода/электроэнергия/тепло-холод);
- эксплуатация инженерной и информационной инфраструктуры;
- интеграция с BMS-системой объекта.

Информационная модель здания (BIM) и автоматизированная система управления зданием (АСУЗ, англ. BMS) в комплексе обеспечивают контроль, диспетчеризацию и оптимизацию функционирования инженерных систем здания, а также предоставляют нам удобный интерфейс, и играют важную роль в снижении энергетических и экономических затрат при эксплуатации здания. BIM поддерживает не только интеграцию с АСУЗ, информационная модель здания также может быть использована для анализа энергопотребления его инженерных систем [4]. Стоит отметить, что использование BIM и АСУЗ можно начать на этапе эксплуатации или реконструкции, что позволит уменьшить текущие ежегодные затраты на электроэнергию.

Назначение автоматизированной системы управления зданием. АСУЗ это система, которая обеспечивает автоматический контроль и управление инженерными системами, такими как освещение, водоснабжение, пожарная безопасность, отопление, охлаждение и вентиляция, а также поддерживает комфорт в жилых помещениях. Задачами АСУЗ являются оперативное управление и диспетчеризация зданий. Согласно исследованиям, проведённым в Атланте Американским обществом инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (ASHRAE), инвестирование в АСУЗ позволяет сократить до 14% общих годовых затрат. Система управления зданием минимизирует потребление энергии и создаёт наиболее комфортные условия внутри помещения [5].

Термин АСУЗ охватывает все элементы управления, включая аппаратные средства, контроллеры, связующие сети. При построении АСУЗ, как правило, реализуется три уровня автоматизации [6]:

Нижний – уровень конечных устройств, включающий датчики, исполнительные механизмы, а также соединения между ними и другими уровнями. На нижнем уровне система может собирать данные в режиме реального времени от проводных и беспроводных датчиков (например, температуры, CO₂, влажности и т.д.). Сбор данных в режиме реального времени не только обеспечивает чёткую картину того, как инженерные системы следуют управлению, но и предоставляет данные для оценки и подтверждения трёхмерной модели в BIM [2]. Сеть датчиков является основным компонентом в АСУЗ и требуемую точность их измерений

необходимо определять при проектировании. Информационное моделирование зданий предоставляет большие возможности для проектирования сети датчиков, исполнительных механизмов и линий связи, а также хранения их технических характеристик [7].

Средний – уровень автоматического или автоматизированного управления, в который входят следующие компоненты: контроллеры, модули ввода-вывода сигналов и различное коммутационное оборудование. На среднем уровне система обрабатывает поступающие от датчиков входные сигналы, и далее согласно алгоритму управления вырабатывает управляющие воздействия для исполнительных механизмов. Средний уровень также взаимодействует с верхним уровнем, передавая информацию об измерениях с нижнего уровня, отказах или аварийных ситуациях, промежуточных вычислениях и регулирующих воздействиях.

Верхний — уровень диспетчеризации и статистической обработки данных. На верхнем уровне система напрямую взаимодействует с человеком, поэтому на нём реализован человек-машинный интерфейс. Благодаря ему человек-оператор может следить за ходом технологических процессов системы, получать информацию об отказах и аварийных ситуациях. На верхнем уровне человеком могут быть заданы технологические уставки, недоступные для непосредственного вычисления системой управления, например, график выходных и праздничных дней, время ротации насосов, коэффициенты ПИД-регулятора и другие. Трёхмерную модель BIM можно использовать на верхнем уровне в качестве человеко-машинного интерфейса, с другой стороны возможности для симуляции технологических процессов позволяют использовать BIM на совершенно новом уровне в иерархии АСУЗ.

Интеграция информационной модели здания и АСУЗ. BIM в первую очередь, используется для разработки сети датчиков и занесения в архив их измерений. Во-вторых, информационная модель может использоваться в качестве интерфейса для АСУЗ, так как все данные полевых устройств отправляются в BIM. В-третьих, с помощью имитационного моделирования потоков энергии можно производить анализ энергопотребления инженерных систем здания, который также можно внедрить при автоматизации инженерных систем в эксплуатируемых зданиях [8].

Для определения требований к датчикам BIM предоставляет интегрированную базу данных с согласованной информацией, в которую многие участники процесса проектирования мо-

гут внести свой вклад. BIM является наиболее подходящим средством для хранения строительных и эксплуатационных данных, позволяющих определить требования к датчикам во время процесса проектирования систем автоматизации. План помещений, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и системы освещения здания создаются в BIM. Характеристики датчиков сохраняются в BIM после завершения проектирования сети датчиков [9].

Для того чтобы успешно улучшить энергобережение здания и сократить расходы, должен быть разработан рациональный подход к анализу работы инженерных систем. BIM может предоставить ключевую информацию о здании, которая может быть использована для такого анализа [10]. План здания, систем вентиляции, отопления, кондиционирования и системы освещения хранятся в BIM в виде 3D-моделей. Имитационная модель в значительной степени способствует пониманию способов использования энергии в здании и взаимодействию инженерных систем при преобразовании этой энергии [11].

Имитационные модели выступают в качестве источника информации для симуляции ра-

боты различных систем. АСУЗ в данном случае предоставляет данные для калибровки имитационной модели [12]. Имитационную модель здания можно создать с помощью пакетов программного обеспечения Autodesk Revit Architecture и Revit MEP. Геометрическое представление существующего здания может быть создано в Revit Architecture, системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и системы освещения могут быть созданы в Revit MEP. Дополнительная часть программного обеспечения для имитации нагрузок нагревания и охлаждения на существующие модели в IES VE Integrated Environmental Solutions (встроена в MEP Revit). Таким образом, можно сравнить фактическое потребление энергии, обеспечиваемого АСУЗ с моделью потребления энергии в имитационной модели, что позволит произвести оценку и проверку 3D-модели в BIM [2].

С помощью созданной имитационной модели можно совершить расчёт оптимальных параметров регулятора для контуров управления системы автоматизированного управления W_p (рис.1) по критерию минимума среднеквадратичной ошибки управления σ_y^2 (1) [13]:

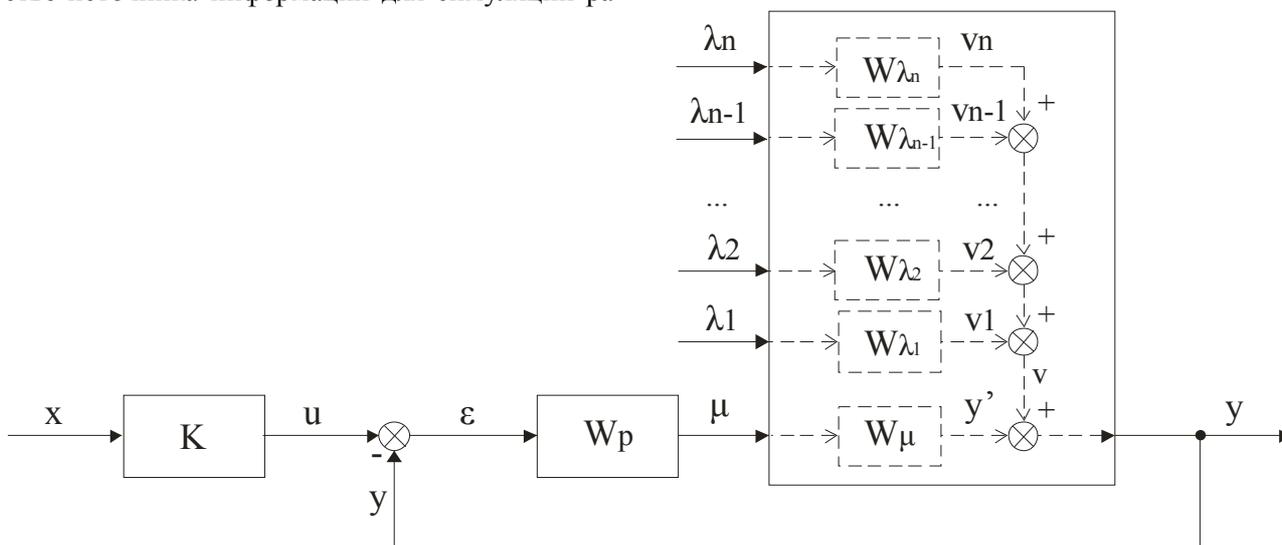


Рис. 1. Алгоритмическая структура АСУЗ по одному контуру управления

$K(s)$ – передаточная функция блока управления, $W_p(s)$ – передаточная функция регулятора, $W_\mu(s)$ – передаточная функция объекта по каналу регулирующего воздействия - (μ), $W_{\lambda,1}(s)$... $W_{\lambda,n}(s)$ – передаточные функции объекта по каналам возмущающих воздействий ($\lambda_1 \dots \lambda_n$).

$\Phi_{yv}(\omega)$ (2) – комплексная частотная характеристика системы по каналу управляемой величины $y(t)$ и эквивалентного возмущения $v(t)$ (3).

$$\Phi_{yv}(j\omega) = \frac{1}{1 + W_p(j\omega)W_\mu(j\omega)} \quad (2)$$

$$v(t) = \sum_{k=1}^n v_k(t) \quad (3)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty |\Phi_{yv}(j\omega)|^2 G_{vv}(\omega) d\omega \rightarrow \min \quad (1)$$

$G_{vv}(\omega)$ (4) – спектральная плотность мощности эквивалентного возмущения.

$$G_{vv}(\omega) = \sum_{k=1}^n |W_{\lambda,k}(j\omega)|^2 G_{\lambda\lambda,k}(\omega) \quad (4)$$

Так как для получения расчётным путём $G_{vv}(\omega)$ необходимо, чтобы были известны все спектральные плотности возмущающих воздействий $G_{vv,k}(\omega)$ и соответствующие передаточные функции объекта $W_{\lambda,k}(s)$, спектральную плотность эквивалентного возмущения обычно находят экспериментальным путём [14].

Для того чтобы экспериментально получить эквивалентное возмущение $v(t)$ (5) не останавливая регулирования (6), параллельно регулирующему каналу объекта управления подключается его имитационная модель (рис. 2).

$$v(t) = y(t) - y'(t) \quad (5)$$

$$\begin{cases} \mu(t) \neq 0 \\ y'(t) \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

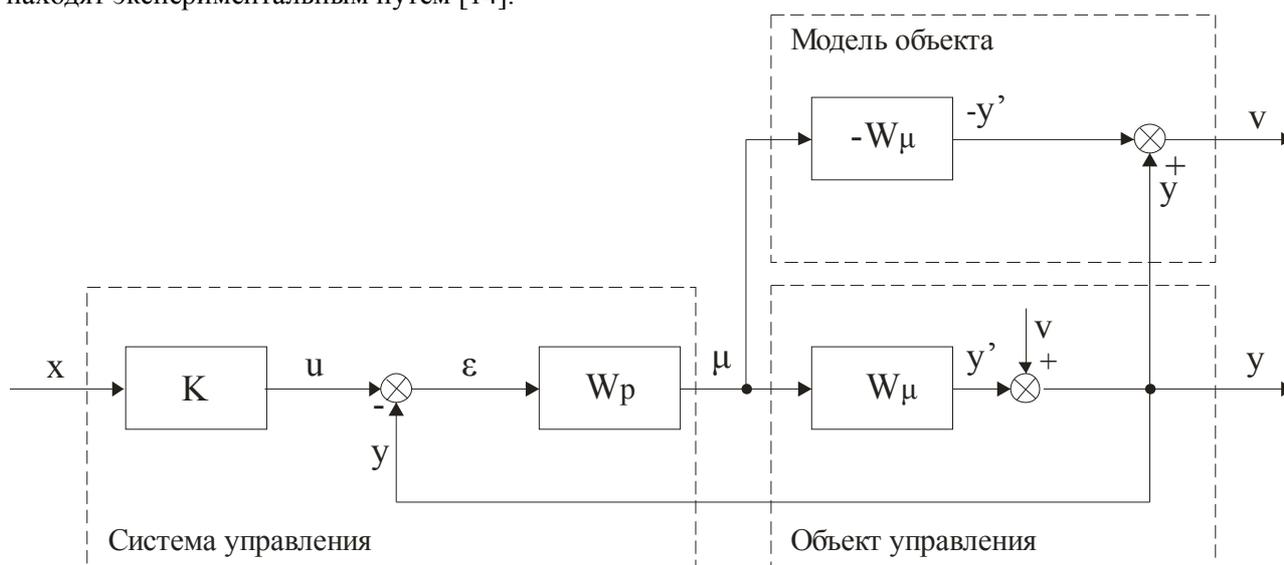


Рис. 2. Алгоритмическая структура АСУЗ и ВИМ

После чего находится автокорреляционная функция случайного процесса:

$$R_{vv}(t, \tau) = \frac{\sum_{k=1}^n [v_k(t) - m_k(t)] \cdot [v_k(t + \tau) - m_k(t + \tau)]}{n} \quad (7)$$

$m_k(t)$ – математическое ожидание:

$$m_k(t) = \frac{\sum_{k=1}^n v_k(t)}{n} \quad (8)$$

И затем вычисляют его спектральную плотность:

$$G_{vv}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_v(t) e^{-j\omega t} dt \quad (9)$$

Время вычисления спектральной плотности может быть довольно длительным, но от продолжительности вычисления будет зависеть точность нахождения минимума СКО.

Зная передаточную функцию объекта по каналу регулирующего воздействия μ , по критерию минимума среднеквадратичной ошибки управления (10) рассчитываются оптимальные параметры регулятора $W_p(s)$.

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \left| \frac{1}{1 + W_p(j\omega)W_\mu(j\omega)} \right|^2 G_{vv}(\omega) d\omega \rightarrow \min \quad (10)$$

Заключение. Таким образом, интеграцию АСУЗ с ВИМ можно осуществить по трём основным направлениям, реализация каждого из которых может происходить отдельно или совместно друг с другом. Для эффективного проектирования АСУЗ существует концепция, позволяющая в режиме диалога с пользователем динамически формировать и просматривать различные варианты решений до их физической реализации [15]. Особенности данного варианта интеграции являются:

- интерактивный режим трёхмерной визуализации с наложением двух независимых слоёв – базовой модели интерьера комнаты и компонентов оборудования АСУЗ;
- компоненты накапливаются в автономной библиотеке трёхмерных графических примитивов.

вов, пользователь задаёт их состав и координаты во внешнем файле;

- отображение оборудования выполняется без повторного рендеринга всей модели;
- модульная структура визуализатора и открытая архитектура системы позволяет свободно наращивать новые компоненты и расширять функциональность системы.

Для связи с оператором АСУЗ существует концепция использования BIM как интерфейса SCADA системы. Особенности реализации данного способа интеграции являются:

- возможность использования как стандартной 2D схемы, так и 3D модели;
- наглядная визуализация процессов, происходящих в системах отопления вентиляции кондиционирования и освещения;

Для моделирования технологических процессов тепло-массообмена предложена концепция интеграции BIM и АСУЗ обеспечивающая определение эквивалентного возмущающего воздействия по одному из каналов регулирования, как разности между фактическим значением регулируемой величины и значением, полученным в процессе моделирования в BIM.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков А.А., Батов Е.И. Промежуточное программное обеспечение в функциональной модели интеллектуального здания // Вестник МГСУ. 2015. №10. С. 182–187.
2. Талапов В.В. Применение BIM для начальной проработки проектной идеи [Электронный ресурс]. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16260 (дата обращения: 03.07.2016)
3. Шустрова М.Л., Аминев И.М., Байtimiров А.Д. Средства численного моделирования гидродинамических процессов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №14. С. 221–224.
4. Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Сиянгов С.А., Раевский М.А., Савельев С.И., Кононов В.В., Сачик А.И. BIM – основы и преимущества применения технологии [Электронный ресурс]. URL: http://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=21946&SECTION_ID=1078 (дата обращения: 03.07.2016)
5. Yin H. Building management system to support building renovation // Boolean. 2010. С. 172–177. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://publish.ucc.ie/boolean/pdf/2010/00/37-Yin-2010-00-en.pdf> (дата обращения: 03.07.2016)
6. Теличенко Д.А., Милосердова А.А. Современные подходы при реализации АСУ ТП для объектов теплоэнергетики // Вестник Амурского государственного университета. 2012. №59. С. 89–99.
7. Беккер Ю.Л., Завьялов В.А., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. Анализ и выбор сетевого и канального уровней реализации распределенных сетей для системы «умный дом» // Научное Обозрение. 2015. №11. С. 42–45.
8. Volkov A. General information models of intelligent building control systems: scientific problem and hypothesis // Advanced Materials Research. 2014. Т. 838–841. С. 2969–2972.
9. Беккер Ю.Л., Завьялов В.А., Ульянов Р.С., Прокопьев С.В. Моделирование жизненного цикла создания автоматизированных систем // Естественные и технические науки. 2015. №6. С. 362–363.
10. Volkov A., Latyshev K., Intelligent and complex monitoring in intelligent buildings // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 580–583. С. 3204–3207.
11. Motawa I., Carter K. Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. №74. С. 419–428.
12. Полуин А.И. Системное моделирование: учеб. Пособие для студентов специальности 220400. Белгород: Изд. БГТУ, 2004. 96 с.
13. Ротач В. Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов 5-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. МЭИ, 2008. 396 с.
14. Воронов А.А. Теория автоматического управления. Часть 2. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. М.: Изд. Высшая школа, 1986. 504 с.
15. Арляпова А.Ю., Байгозин Д.В., Плотников В. Ю. Виртуальное проектирование и имитационное моделирование подсистем "умного дома" [Электронный ресурс]. URL: http://archvuz.ru/2010_22/68 (дата обращения: 03.07.2016)

Dekterev P.E., Zaviyalov V.A.

FUNDAMENTAL CONCEPTS OF INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELS AND BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS

At the present time a large amount of articles are dedicated to building modeling. At the same time the application of BIM (Building Information Model) is rather limited. This article discusses the problem of information models of building generalized entities` and Building Management Systems` (BMS) integration. The

solution of this problem will allow to find new options for practical application of BIM. The author analyzed foreign and domestic literature on this subject and on the basis of analysis produced he selected the main concepts of integration of BIM and BMS. The author found and justified the concept of Building Information Models` application to determine the cumulative value of environmental perturbations on guidance systems. On the basis of this concept he offered a way to optimize the BMS` equipment operating mode by finding of control`s Root Mean Square Error (RMS Error) and calculating of regulator`s optimal parameters using the RMS error minimum criterion. Integration which is produced as described allows to calculate the value of cumulative perturbation`s equivalent and do not stop the regulation of investigated control path.

Key words: *building information model, building management system, simulated model, process visualization, simulation, integration.*

Декстерев Петр Евгеньевич, аспирант, научный сотрудник кафедры автоматике и электроснабжения. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Адрес: 129337, Россия, Москва, Ярославское ш. 26, ауд. 204.
E-mail: bfstud@yandex.ru

Завьялов Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры автоматике и электроснабжения.
Национальный исследовательский московский государственный строительный университет.
Адрес: 129337, Россия, Москва, Ярославское ш. 26, ауд. 204.
E-mail: vazav.mgsu@mail.ru