

Система сбора данных по параметрам конструкций интеллектуального здания на основе волоконно-оптических датчиков

Нгуен Суан Мань, Г.А. Попов

Астраханский государственный технический университет

Аннотация: В этой статье рассмотрены основные технические проблемы умного дома и здания. Следующие факторы воздействия: механический, химический, биологический, воздушный, акустический и вибрации, которые влияют на качество жизни и особенно состояние дома. Выведены требования каждого типа датчиковых систем, которые используются в контроле и управления интеллектуальным зданием. Была сформирована классификация датчиков на подсистем, которые должны быть размещены в зоне ответственности интеллектуальная система управления домом, для того, чтобы обеспечить всестороннее и полное собрание данных о состоянии умного дома. Авторы подчеркивают, преимущества и возможную замену волоконно-оптических датчиков для измерения некоторые основные параметры, которые требуются для мониторинга и управления умным домом. Кроме того, сосредоточен на волоконно-оптический датчик деформации контроля состояния фундамента здания. Введен анализ структуры, технических параметров и даже принципа работы каждого компонента датчика. Датчик содержит некоторые основные элементы: механический механизм, источник света, волоконно-оптический волновод в качестве чувствительного элемента. В статье предлагаются некоторые варианты использования волоконно-оптических датчиков для контроля состояния фундаментов здания.

Ключевые слова: Умный дом, интеллектуальное управление зданием, фактор действия на здание, чувствительный элемент, оптоволоконный материал, датчик, волоконно-оптический датчик, деформация, конструкция, фундамент.

Введение

В настоящее время во многих ведущих странах активно развиваются проекты зданий нового типа, в которых все коммуникационными и иными линиями в здании управляет автоматизированная система. Эта система также берет под контроль и другие функции по управлению зданием, в частности, контроль состояния здания, систему безопасности, информирование жильцов и оповещение при аварийных и чрезвычайных ситуациях и ряд других функций. Такие проекты интеллектуального управления зданиями и территориями часто носят название «Умный дом» [1, 2].

По оценкам экспертов, в настоящее время более 20% рынка систем управления для интеллектуальных зданий занимает Япония, не многим более

четверти приходится на Северную Америку и более 40% - на европейские страны [3-5]. Доля России, к сожалению, пока незначительна. Достаточно красноречивы показатели повышения эффективности при внедрении систем типа «Умный дом»: снижение эксплуатационных расходов - 30%; снижение платежей за электроэнергию - 30%; снижение платежей за воду - 41%; снижение платежей за тепло - 50%; Уменьшение выбросов углекислого газа - на 30%. Еще дана косвенная отдача от внедрения интеллектуальных технологий - льготы по страхованию рисков, позволяющие их снижать до 60 % [6].

Один из основополагающих принципов работы системы - умение распознавать конкретные ситуации, происходящие в здании, и соответствующим образом на них реагировать. Функции контроля, получения и передачи различной информации о безопасности, температуре и влажности воздуха, освещении, водо-, энергоснабжении, аудио-, видео- и многом другом, анализ ситуации в зависимости от установок, заданных ей оператором, определяют дальнейшие сценарии работы всех составляющих устройства. Однако, в настоящее время все большее распространение в различных сферах деятельности получают датчики, чувствительный элемент которых сконструирован на основе использования оптоволоконных материалов, что связано со значимым удешевлением этих материалов, с одной стороны, а с другой, с появлением новых оптоволоконных материалов с самыми разнообразными характеристиками. Поэтому представляет интерес вопрос о возможностях и целесообразности использования волоконно-оптических датчиков (ВОД) применительно к системе «Умный дом». Именно рассмотрению указанной проблемы и посвящена данная работа.

1. Классификация факторов воздействия в системе умного дома.

Для анализа возможностей использования (ВОД) вначале необходимо выявить все сферы и места в системе управления умного дома, где

необходимо использования датчиков. Прежде всего, перечислим основные цели, достижение которых необходимо обеспечить в рамках системы управления умного дома. Выделить следующие три группы целей – направлений деятельности:

1. Выполнять функции по обеспечению функционирования всех классических инфраструктурных систем, обеспечения бесперебойности и эффективности этих систем.

2. Обеспечивать не только выполнение оперативных функций по поддержанию работоспособности всех перечисленных выше систем, но реализовать функции управления объектом (зданием и территорией), включая сбор, анализ и контроль состояния всех инфраструктурных систем, всех элементов и компонентов жизнеобеспечения, элементов и конструкций здания, а также принимать управленческие решения при нарушении нормального состояния этих систем и элементов.

3. Система управления умного дома должна создать благоприятные условия для всех жильцов дома и их гостей, в то же время максимально нейтрализуя присутствие и воздействие внутри жилого дома всех несанкционированных к присутствию в дом лиц, предметов и объектов. Это означает, в частности, обеспечение личной (физической, психологической, медицинской и др.) безопасности всех присутствующих в здании на законных основаниях лиц, охрану здания и территории.

На основе анализа перечисленных задач можно выделить факторы воздействия умный дом.

Прежде всего, укажем всех участников процесса функционирования умного дома (см. рис. 1): 1) непосредственно строительные конструкции и их отдельные элементы, формирующие сам дом; 2) инфраструктурные системы и их элементы, связанные с системами жизнеобеспечения людей (энерго-, тепло -, водо- и газоснабжение, освещения), а также с оказанием

типовых услуг населению (связь, интернет, вентиляция и кондиционирование); 3) инфраструктурные системы, поддерживающие состояние дома в состоянии, удовлетворяющем всем нормативным требованиям, а также обеспечивающие контроль за состоянием всех элементов, систем, конструкций дома и управление домом; 4) технические и программно-аппаратные компоненты, входящие в состав системы управления умным домом; 5) субъекты, находящиеся на площадях, в помещениях и территории умного дома на законных или незаконных основаниях; 6) системы охраны и безопасности умного дома; 7) различные дестабилизирующие внешние и внутренние воздействия природного, техногенного и субъективного характера, способные нарушить нормальный режим работы умного дома, его подсистем и даже разрушить часть из них.

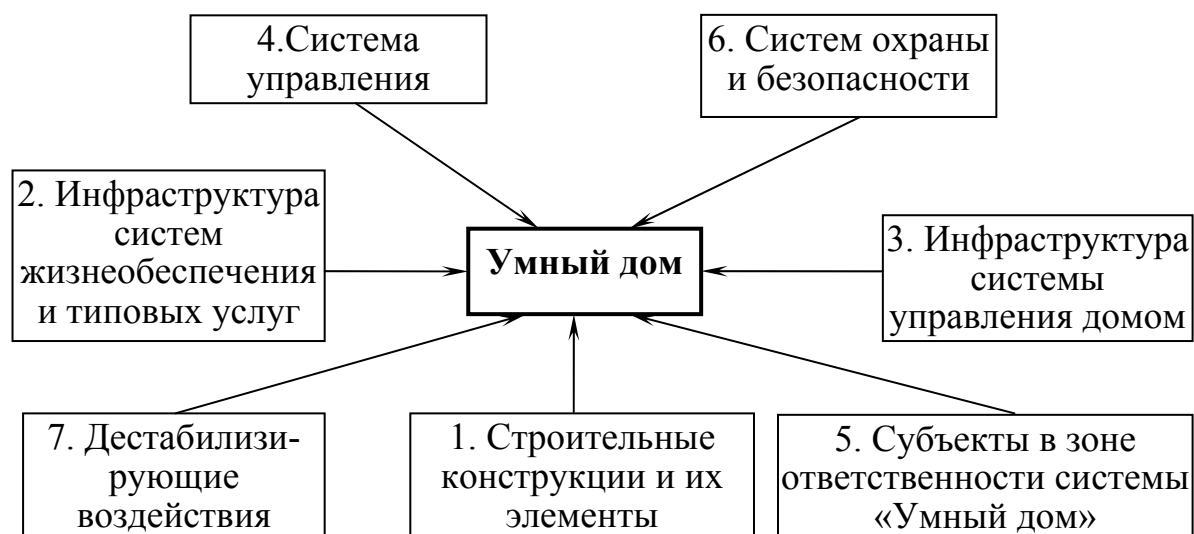


Рис. 1. - Диаграмма воздействия факторов на систему «Умный дом»

Таким образом, как видно из приведенного перечисления, процесс функционирования умного дома является сложным, многогранным и динамичным, и, как следствие, система управления умным домом – это сложная интеллектуальная технология, включающая большое число средств сбора данных в непрерывном режиме, программно-аппаратные средства их обработки в оперативном и аналитическом режимах, подсистемы принятия

решений, контроля за процессом из реализации, корректировки и самоконтроля, способная действовать в условиях возникновения различных случайных, злонамеренных и непредусмотренных ситуаций, в частности, в условиях чрезвычайных ситуаций.

Применительно к ПОБЖ перечисленное выше множество факторов может быть уточнено и детализировано следующим образом. Все множество возможных воздействий и нарушений по физической природе может быть разбито на следующие классы:

1. Механические воздействия;
2. Химические воздействия;
3. Биологические воздействия;
4. Физические воздействия;
5. Воздушные воздействия;
6. Психотропные и наркотические воздействия;
7. Виброакустические воздействия.

Вне рассмотрения остались факторы, связанные с субъектами: случайные и злонамеренные воздействия в умном доме. Данный вопрос требует отдельного рассмотрения, опираясь на современные методы организации систем контроля доступа, видеомониторинга и организации систем безопасности, и контроля.

Приведенная классификация факторов воздействия необходима, прежде всего, для эффективной реализации основных функций ПОБЖ, поскольку ПОБЖ и должна обеспечить нормативно допустимые уровни наличия каждого из перечисленных выше факторов в зоне своей ответственности. Отметим, что в рамках меры противодействия различным факторам будут, вообще говоря, отличаться при реализации каждой из трех перечисленных выше целей.

2. Состав типов датчиков в подсистеме обеспечения

жизнедеятельности умного дома

Приведенная выше классификация факторов воздействия позволяет сформировать состав типов датчиков, которые необходимо размещать в зоне ответственности системы управления умного дома для того, чтобы обеспечить всесторонний и полноценный сбор данных по состоянию умного дома. Рассмотрим эти датчики по классам, приведенным в предыдущем разделе.

1. Механические воздействия. Необходимы датчики:

- контроля состояния фундаменты здания и его отдельных строительных конструкций по параметрам: целостности, напряженности конструкций, проседания фундамента; давления, температуры и влажности;
- перемещения для фиксации падающих предметов в зонах возможного нахождения субъектов и материальных ценностей;
- удаленного контроля степени гладкости фрагментов поверхностей, как вне здания, так и внутри него;
- контроля концентрации пыли и механических пыли и взвесей в воздухе, а также состава этих взвесей.

2. Химические воздействия. Необходимо наличие датчиков:

- контроля концентрации веществ опасных для здоровья;
- контроля и выявления взрыво- и пожароопасных материалов.

3. Биологические воздействия. Необходимы датчики, способные фиксировать в зоне возможного нахождения людей:

- содержание тех видов микроорганизмов;
- наличие растений, опасных для здоровья людей;
- опасных для людей насекомых;
- опасных для людей животных либо животных.

4. Физические воздействия (немеханической природы). Необходимо наличие датчиков контроля:

- уровня радиоактивного излучения;
- наличия/отсутствия опасного по величине электрического напряжения во всех элементах и конструкциях здания;
- уровня электрического или магнитного полей;
- рентгеновских и ионизирующих излучений.

5. Воздушные воздействия. Включает датчики:

- противопожарные;
- уровня задымления и состава дыма;
- скорости перемещения воздушных масс – датчики потока;
- контроля уровня загазованности и утечки бытового газа.

6. Психотропные и наркотические воздействия. Необходимо наличие датчиков:

- контроля наличия различных психотропных веществ в воздушной среде внутри здания; питьевой и технической воде;
- контроля наличия различных наркотических веществ в воздушной среде внутри здания; питьевой и технической воде.

7. Виброакустические воздействия. Включает датчики контроля уровня шума и величины вибрации при выполнении ремонтных и строительных работ.

Таким образом, встает проблема выбора для каждого типа датчика также наиболее приемлемого варианта с точки зрения его конструкции.

3. Конструкция чувствительного элемента датчика на основе оптоволоконного материала

Датчик в составе ПОБЖ должен быть способен функционировать надежно в любое время года и при любых погодных условиях, то есть при больших перепадах температуры и влажности. Далее, он должен быть надежен и долговечен, поскольку, как можно предположить уже только из перечня типов востребованных типов датчиков, в составе умного дома

должно быть очень большое число датчиков и поэтому их частый отказ может оказаться серьезной проблемой. Желательно, чтобы датчики выполняли свои функции даже в экстремальных условиях: при пожаре, наводнении, землетрясении, химической загазованности и механической запыленности помещений. Должны также быть достаточно прочны и неприхотливы по отношению к вандальным действиям, стойки к воздействию электромагнитных полей, радиоактивных излучений, воздействию электрического тока. Анализ приведенных выше типов конструкций датчиков показывает, что ни одна из перечисленных выше конструкций не удовлетворяет всем из перечисленных требований. Однако, в настоящее время начали создаваться новые типы конструкций датчиков, которые в значительной мере удовлетворяют перечисленным требованиям; в частности, таковыми могут являться ВОД.

Однако в настоящее время ВОД мало применяется в практике строительства, что объясняется, в частности, их большей стоимостью по сравнению с другими типами датчиков. Но интенсивное развитие технологий материальной оптики позволяют снизить себестоимость ВОД, улучшить эксплуатационные показатели, что создает необходимые предпосылки для их широкого использования в строительстве.

Применительно к задаче измерения давления предлагается следующая конструкция ВОД. Схема конструкции датчика показана на рисунке 2. Здесь 1- светодиод, прочно соединенный со силовопередаваемой плитой 2, светит свет на диапазон 850 нм в оптоволокну. Силовопередаваемая плита, воспринимающая внешнее натяжение, воздействует на волновод как на чувствительный элемент 3. Металлическая оболочка 4 выполняет защитные функции. Оптический кабель 6 передает оптический сигнал, содержащий изменение натяжения, в световые приемники.

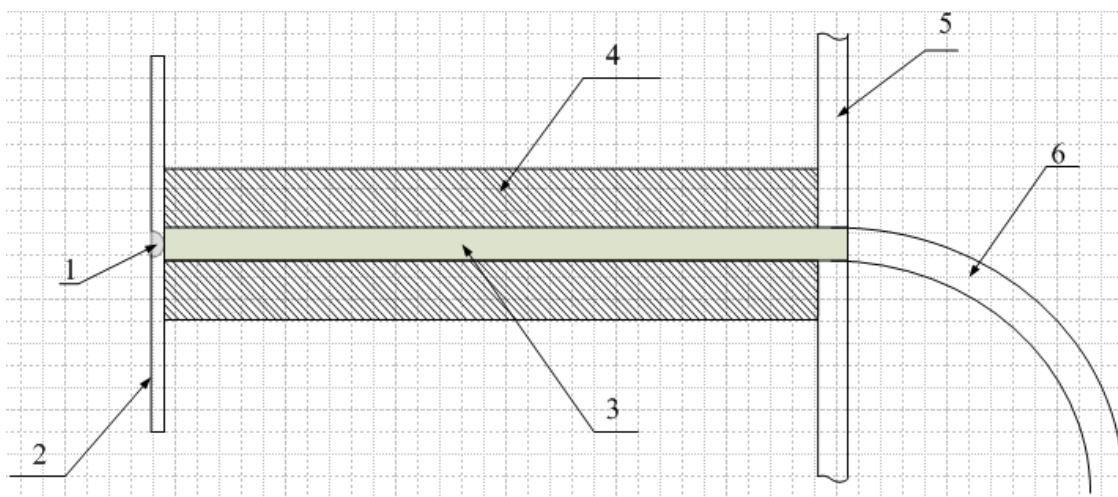


Рис.2. – Конструкция датчика

Для приема и обработки оптического сигнала от чувствительных элементов используем приемное устройство, функциональная схема которого приведена на рисунке 3.

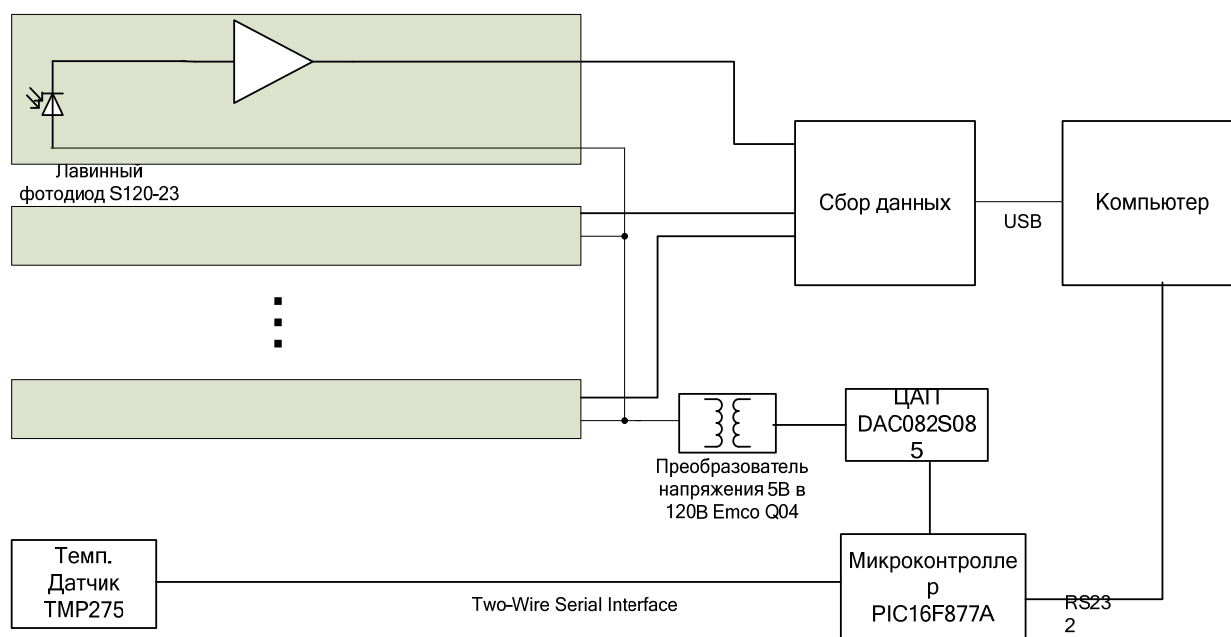


Рис. 3. – Схема световых приемников и обработки данных

Сигналы из каждого чувствительного элемента (датчика) принимаются лавинными фотодиодами. Лавинные фотодиоды (ЛФД) S12023 работают со светом частотой 850 нм. Коэффициент умножения (усиления) ЛФД сильно зависит от окружающей температуры и напряжения, действующего на него. Обычно, чем выше обратное напряжение, тем выше коэффициент усиления.

Однако, если обратное напряжение превышает допустимый уровень, то происходит явления пробоя. Поэтому для обеспечения стабильности работы ЛФД в схему включен тракт измерения температуры окружающей среды (ИС ТМР275) и управления работающим напряжением ЛФД (микроконтроллер, ЦАП и преобразователь напряжения EmcoQ04).

Усилитель ФПУ состоит из двух каскадов: трансимпедансный и оконечный усилители. Трансимпедансный усилитель преобразует выходной ток из лавинного фотодиода в напряжение. Для достижения уровня напряжения, необходимого для нормальной работы блока сбора данных, напряжение после трансимпедансного усилителя подается на вход оконечного усилителями, а оттуда – в компьютер для обработки данных и представления результата.

4. Использование ВОД для контроля состояния фундамента здания

Одним из важных элементов мониторинга состояния здания является контроль его фундамента. При этом одной из наиболее важных характеристик контроля является отслеживание в непрерывном режиме проседания грунта под зданием в его различных частях. В этом случае при неравномерном проседании грунта в разных частях здания отдельные части могут ввиду их провисания из-за просевшего грунта лопнуть и дать трещины по стенам и перекрытиям. Таким образом, проседание фундамента здания и отсутствие контроля за этим процессом может привести к большим финансовым потерям, социальным издержкам и серьезным организационно-финансовым проблемам для местного руководства. Таким образом, контроль над характером давления на фундамент здания, его величиной и направленностью является важной функцией системы управления умного дома.

Данная задача являлась предметом теоретического и практического интереса достаточно давно. Имеются нормативные документы,

регламентирующие порядок контроля компонентов и элементов зданий, в том числе и фундаментов [7], имеются значительные практические наработки, готовые устройства контроля состояния фундаментов зданий и соответствующие датчики [8-10]. В работе предлагается новый метод контроля, обладающий рядом преимуществ по сравнению с существующими методами.

Инструментальный мониторинг строительных конструкций и оснований зданий может проводиться в 4-х взаимно независимых направлениях:

- Геодезические измерения;
- Инженерно-геологические наблюдения состояния грунтового массива в основании и в окрестности здания;
- Измерения нагрузок и деформаций в конструкциях фундамента и надземной части;
- Сейсмометрические измерения.

Многие из перечисленных выше измерений могут быть выполнены с использованием ВОД.

ВОД работает путем обнаружения изменения детектируемого сигнала по сравнению с переданным, после того, как он прошел через заданную структуру. Этот датчик может измерять напряжения, давление и температуру путем адекватной интерпретации изменений в длине волны или фазе сигналов. Обычно для этого требуется установка волокна непосредственно в структуру конструкции здания для ее мониторинга. Для полноценного мониторинга вдоль зоны контроля размещается большое количество датчиков.

Возможные сферы потенциального использования ВОД в бетонных конструкциях и в других строительных элементах рассмотрены в [11]. ВОД могут быть использованы на основе одной из следующих трех основных

технологиях зондирования: точечный контроль, квази-распределенный и распределенный контроль. Каждый вид контроля требует различных методов сбора и анализа данных [12-13].

На рынке оптических датчиков для контроля фундамента, в том числе измерения относительной деформации растяжения/сжатия, существуют датчики, работающие по принципу решетки Брэгга и Фабри-Перо [5, 14].

Ниже предлагается вариант оптического датчика для контроля состояния зданий, опирающийся на использование ВОД (см. рисунок 4).

Панель состоит из 5 пар (1) датчиков с равной длиной. Длины пар соответственно равны 90, 70, 50, 30 и 10 см. 5 пар крепко устанавливает на двух панелях (2) (вторая панель не показана на рисунке 4).

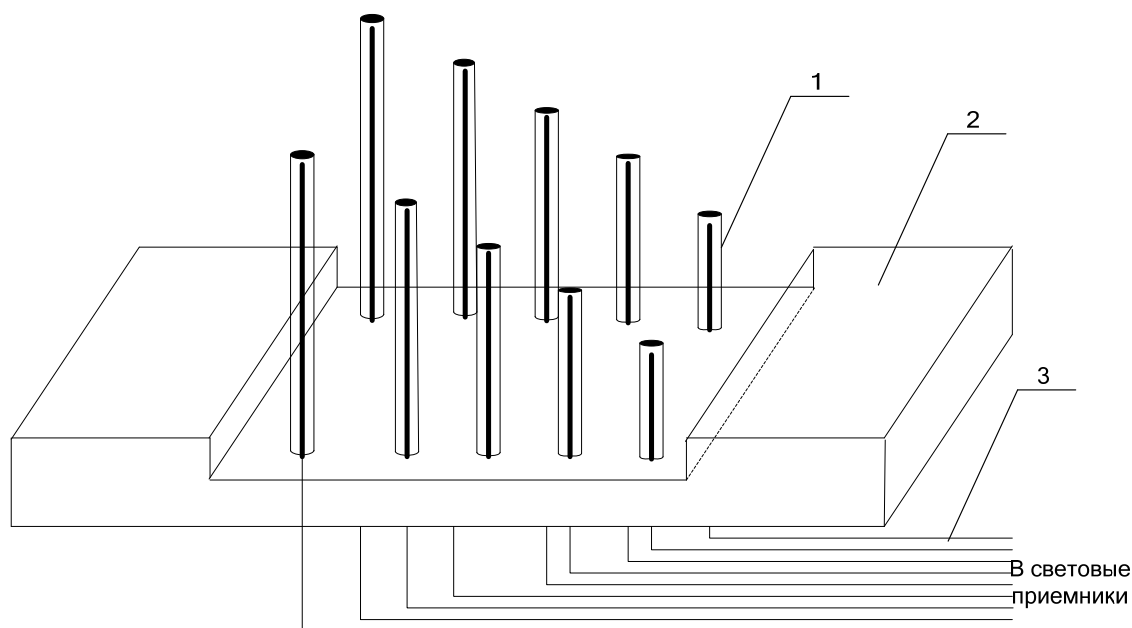


Рис. 4. - Структура панели датчиков

Данные, снимаемые с отдельных пар ВОД, позволяют измерять деформации панели, на которой они размещены, как по ее поверхности, охватываемой пятеркой датчиков разной длины, так и по толщине панели, что и связано с использованием пар датчиков, расположенных по разные стороны панели. Обработки данных происходит в световых приемниках.

Таким образом, размещение приведенной конструкции по периметры

фундамента здания, а также в его несущих опорах позволит вести непрерывный контроль за состоянием фундамента, и при возникновении нежелательных напряжений и изменений в основе здания принять необходимые меры по укреплению фундамента в нужной его зоне и в нужной мере.

Заключение

В работе получены следующие результаты.

1. Сформулированы основные направления работы интеллектуальных систем управления домами в рамках концепции «Умный дом», именно обеспечение эффективности работы всех инфраструктурных систем дома, функционирования интеллектуальной системы управления домом, включая задачи анализа и действий в чрезвычайных ситуациях, и систем, связанных с контролем поведения субъектов в зоне ответственности системы управления, включая проблемы обеспечения безопасности и охраны.

2. Проведена классификация факторов, способных оказать влияние на процесс функционирования одной из наиболее важных подсистем системы управления умного дома – подсистемы обеспечения жизнедеятельности всех субъектов в зоне ответственности системы. Выделены следующие группы факторов: механические, химические, биологические, физические, воздушные, психотропные, виброакустические.

3. На основе полученной классификационной структуры сформированы наборы типов датчиков, наличие которых необходимо для полноценного и эффективного функционирования подсистемы жизнеобеспечения. Выявлен ряд проблем, связанных с использованием в составе системы управления умным домом: во-первых, по ряду факторов воздействия пока нет соответствующих датчиков, во-вторых, по ряду типов датчиков имеется большой набор конструктивных их воплощений, что порождает задачу

выбора из них наиболее приемлемых для системы управления умного дома.

4. Обосновано, что применительно к подсистеме обеспечения жизнеобеспечения умного дома большую перспективу имеют ВОД. Предложен вариант конструкции такого датчика, а также приведена функциональная схема снятия показаний с помощью этого датчика.

5. Рассмотрена одна из наиболее важных задач подсистемы жизнеобеспечения – задача контроля состояния фундамента здания. Предложена схема использования ВОД для контроля состояния фундамента по показателям его целостности, отсутствия трещин, разрушений, внутренних напряжений, связанных с проседанием части грунта под зданием либо с повышенной нагрузкой на здание.

Развитие технологий оптоволоконных материалов, теории и практики использования ВОД позволяет сделать предположение, что уже в ближайшее годы, приведенные в работе результаты могут быть реализованы практически.

Литература

1. Kai-Yuan Cai. Intelligent building systems. - Beijing University of Aeronautics Beijing, CHINA, 167 p.

2. Зильберова И.Ю., Петров К.С. Проблемы реконструкции жилых зданий различных периодов постройки// Инженерный вестник Дона, 2012, №4-1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1119.

3. L. Zou, X. Bao, F. Ravet, and L. Chen, "Distributed Brillouin fiber sensor for detecting pipeline buckling in an energy pipe under internal pressure," Applied Optics 45, 3372-3377 (2006).

4. Baldwin, C. et al., "Structural monitoring of composite marine piles using multiplexed fiber Bragg grating sensors: In-field applications," Proceedings: Smart Structures and Materials: Smart Systems for Bridges, Structures, and Highways,

Vol. 4696, pp. 82 - 91, March 2002.

5. Zhou, Z. et al, "Techniques of Advanced FBG Sensors: Fabrication, Demodulation, Encapsulation, and Their Application in the Structural Health Monitoring of Bridges," Pacific Science Review, vol. 5, 2003, pp.116 – 121.

6. А.П. Неугодников, В.И. Поспелов, Ф.А. Егоров, И.В. Рубцов
Строительный мониторинг на базе волоконно-оптических датчиков.
Концепция и реализация. // Технологии строительства, №6, 2005, С. 18 - 21.

7. Leung, C. K., Wan, K. T., Inaudi, D., Bao, X., Habel, W., Zhou, Z. et al.
(2013). Review: optical fiber sensors for civil engineering applications. Materials and Structures, pp. 1-36.

8. Higuera, J.; Cobo, L.; Incera, A.; Cobo, A. Fiber Optic Sensors in Structural Health Monitoring. J. Lightwave Technol. 2011, 29, pp. 587–608.

9. В. П. Новоженин., И. Н. Карлина. К вопросу выбора защиты строительных конструкций на предприятиях с агрессивными средами // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1235.

10. O. Gassmann, H. Meixner. System Technologies. Wiley-VCH Verlag GmbH. -2001. - 510 p.

11. Е.А. Тесля. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире / Тесля Е.А. – Санкт Петербург, 2008. – 224 с.

12. Daniele Inaudi. Overview of fibre optic sensing to structural health monitoring applications // ISISS'2005, International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering, Nanjing, China, 2005. - 16 p.

13. Eric Udd. Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists / United States of America, 2011. – 506 p.

14. Kersey A. 1997. Optical Fiber Sensors, Optical Measurement techniques and applications, P. K. Rastogi editor, Artech House, pp. 217-254.



References

1. Kai-Yuan Cai. Intelligent building systems. Beijing University of Aeronautics Beijing, CHINA, 167 p.
2. Zil'berova I.Ju., Petrov K.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4-1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1119.
3. L. Zou, X. Bao, F. Ravet, and L. Chen, "Distributed Brillouin fiber sensor for detecting pipeline buckling in an energy pipe under internal pressure," Applied Optics 45, 3372-3377 (2006).
4. Baldwin, C. et al., "Structural monitoring of composite marine piles using multiplexed fiber Bragg grating sensors: In-field applications," Proceedings: Smart Structures and Materials: Smart Systems for Bridges, Structures, and Highways, Vol. 4696, pp. 82 - 91, March 2002.
5. Zhou, Z. et al, "Techniques of Advanced FBG Sensors: Fabrication, Demodulation, Encapsulation, and Their Application in the Structural Health Monitoring of Bridges," Pacific Science Review, vol. 5, 2003, pp.116 – 121.
6. A.P. Neugodnikov, V.I. Pospelov, F.A. Egorov, I.V. Rubcov Tehnologii stroitel'stva, №6, 2005, pp. 18 - 21.
7. Leung, C. K., Wan, K. T., Inaudi, D., Bao, X., Habel, W., Zhou, Z. et al. (2013). Review: optical fiber sensors for civil engineering applications. Materials and Structures, pp. 1-36.
8. Higuera, J.; Cobo, L.; Incera, A.; Cobo, A. Fiber Optic Sensors in Structural Health Monitoring. J. Lightwave Technol. 2011, 29, pp. 587–608.
9. V. P. Novozhenin., I. N. Karlina. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1235.
10. O. Gassmann, H. Meixner. System Technologies. Wiley-VCH Verlag GmbH. -2001. 510 p.
11. E.A. Teslja. «Umnyj dom» svoimi rukami. Stroim intellektual'nuju cifrovuju sistemu v svoej kvartire. ["Smart House" with his own hands. Building



intelligent digital system in the apartment]. Sankt Peterburg, 2008. 224 p.

12. Daniele Inaudi. Overview of fibre optic sensing to structural health monitoring applications. ISSS'2005, International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering, Nanjing, China, 2005. 16 p.

13. Eric Udd. Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists. United States of America, 2011. 506 p.

14. Kersey A. 1997. Optical Fiber Sensors, Optical Measurement techniques and applications, P. K. Rastogi editor, Artech House, pp. 217-254.