

Беспроводные системы мониторинга строительных конструкций, использующие датчики на цементной основе с добавлением углеродных нанотрубок

1. Назначение, области использования инновационного проекта.

Мониторинг строительных конструкций является важным направлением инженерной деятельности, обеспечивающим безопасную эксплуатацию зданий и сооружений. Основной задачей мониторинга является непрерывный контроль определенного набора физических параметров, изменение которых может свидетельствовать о снижении несущей способности строительных конструкций. Выполнение мониторинга позволяет снизить риск наступления аварий строительных конструкций, а также корректно подбирать состав мероприятий при реконструкции зданий и сооружений.

Как правило, традиционные системы мониторинга состояния строительных конструкций состоят из датчиков (первичных преобразователей) и системы сбора данных (вторичные преобразователи). Для передачи сигнала на систему сбора данных каждый из датчиков необходимо присоединить к ней при помощи отдельного коаксиального кабеля. Стоимость кабелей и работ по их прокладке зачастую составляет значительную долю общей стоимости системы мониторинга. Так, в случае выполнения работ по мониторингу строительных конструкций крупных объектов гражданского строительства – например, высотных зданий – общая протяженность используемых коаксиальных кабелей может исчисляться километрами. А для ответственных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах (мосты, промышленные эстакады и др.), коаксиальным кабелям требуется дополнительная защита, что приводит к их удорожанию. Заменой коаксиальным кабелям в системах мониторинга могут послужить современные технологии беспроводной связи. Обработка сигнала датчика должна производиться в этом случае не системой сбора данных, а дополнительным устройством, расположенным непосредственно в месте установки датчика. Отсюда следует, что экономический эффект от использования беспроводных систем мониторинга может быть достигнут при относительной дешевизне такого устройства, что, в свою очередь, возможно при применении простых способов измерений. К таковым можно отнести измерение электрического сопротивления пьезорезистивного материала. В качестве последнего в настоящем проекте предлагается использовать цементный раствор с добавлением углеродных нанотрубок. Необходимо исследование возможности и условий применения таких беспроводных

систем мониторинга, а также проведение соответствующих конструкторских работ.

2. Краткое описание проекта

В основе работы предлагаемой системы мониторинга лежит известное явление, заключающееся в приобретении материалами на цементном вяжущем пьезорезистивных свойств при включении в их состав функциональных добавок, таких как углеродные нановолокна и нанотрубки [4-6]. Цементный раствор, сам по себе представляющий собой конструкционный материал, при добавлении углеродных наночастиц приобретает способность самомониторинга за счет связи между его напряженно-деформированным состоянием и электрическим сопротивлением. Призма небольшого размера (размер грани не более 10 см), изготовленная из такого раствора и заложённая в опалубку железобетонной конструкции до укладки бетона, может служить в качестве сенсора. Среди преимуществ такого сенсора, прежде всего, следует выделить долговечность – первичный преобразователь может функционировать на протяжении всего времени эксплуатации здания, так как он является частью конструкции. По этой же причине его механическое повреждение невозможно.

Цементный раствор для сенсора изготавливается из традиционных компонентов – цемента, песка и воды, – к которым добавляются углеродные нанотрубки. Концентрация углеродных нанотрубок композиционного материала может находиться в диапазоне от 1,0 до 2,0% от массы вяжущего. Углеродные нанотрубки размешиваются в воде, после чего полученной суспензией затворяется сухая смесь. Для диспергации в суспензии агломератов нанотрубок, образующихся в результате действия сил Ван-дер-Ваальса, могут быть применены механические или химические способы [1]. Композиционный материал дополнительно может содержать микрокремнезем в количестве до 15% от массы цемента. Формование сенсора производится в опалубке, имеющей форму прямоугольной призмы, длинные вертикальные стороны которой имеют волнистый профиль.

Принципиальная схема работы предлагаемой системы мониторинга изображена на рисунке 1. Сопротивление сенсора (1) измеряется с необходи-

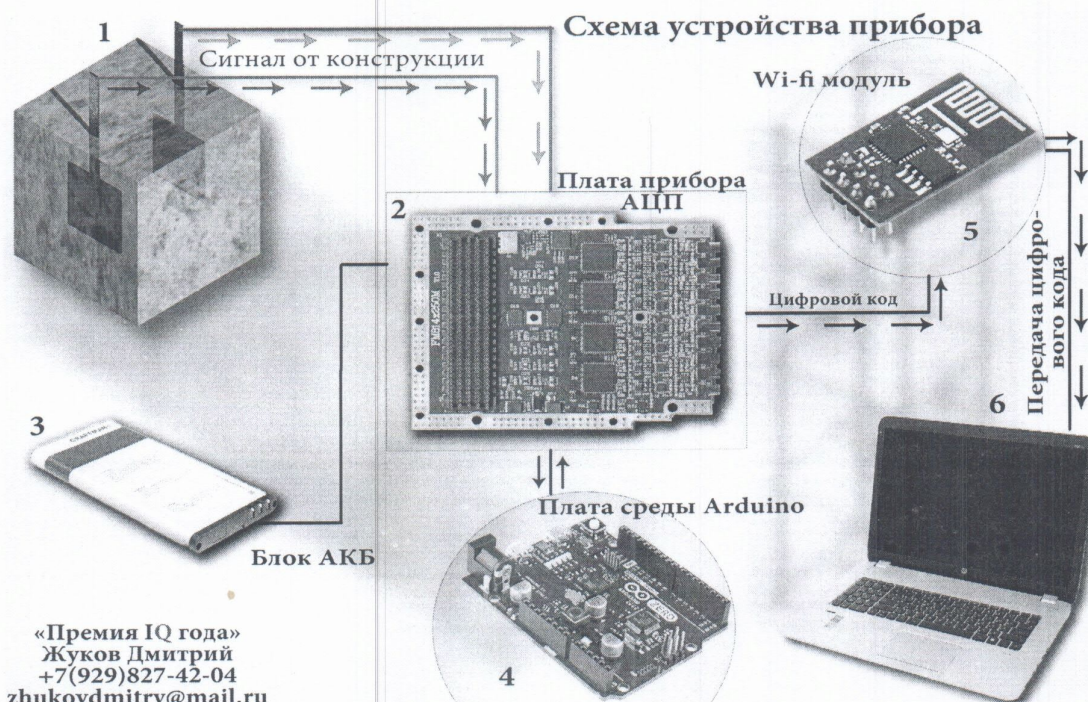


Рисунок 1 – Принципиальная схема работы системы мониторинга мой периодичностью при помощи модуля АЦП (2) под действием переменного напряжения высокой частоты. Эти данные поступают на центральный процессор устройства, который обрабатывает их и сравнивает с результатами прошлых измерений. Если НДС конструкции изменилось, то включается модуль Wi-Fi (5) и передает данные на сервер (6). При необходимости устройство переключается в режим непрерывного мониторинга с передачей характеристик НДС конструкции на сервер в режиме реального времени. Между измерениями всё устройство находится в режиме низкого потребления тока, что позволяет работать достаточно долго без необходимости замены элементов питания (3).

3. Преимущества по сравнению с аналогами

Программой мониторинга может быть предусмотрена расстановка сенсоров в разных частях здания, что в случае применения традиционных измерительных систем приводит к необходимости приобретения и монтажа большого количества коаксиальных кабелей. Основным преимуществом предлагаемой системы является применение беспроводных технологий передачи данных от сенсоров на рабочую станцию, что значительно снижает стоимость системы мониторинга, а также облегчает ее дальнейшую эксплуатацию. Стоимость оборудования точки измерения предлагаемой беспроводной системой мониторинга составит около 9 000 руб., что в два-три раза ниже стоимости измерений при помощи существующих аналогов.

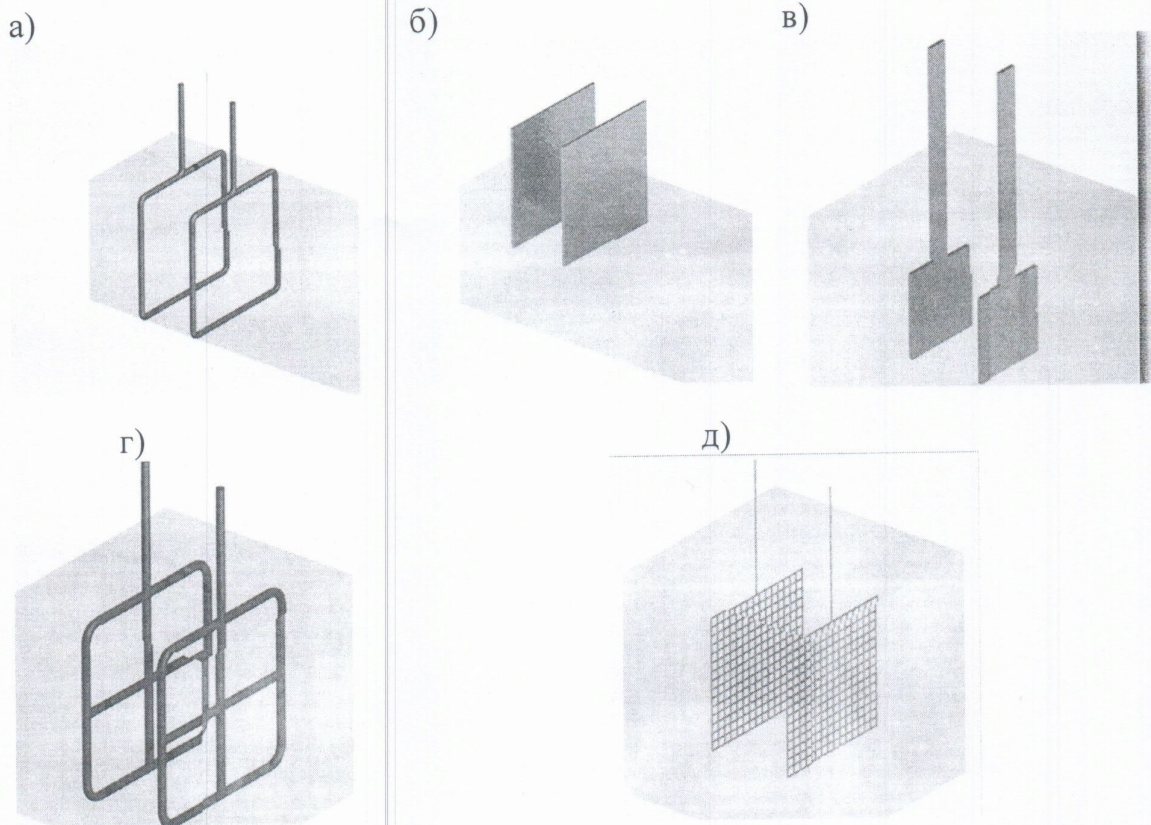
4. Основные гарантируемые технико-экономические характеристики разработки.

Пьезорезистивные свойства материала оцениваются коэффициентом тензочувствительности – безразмерным параметром, равным частному от деления относительного изменения сопротивления на относительные деформации материала. У сенсоров на цементной основе значение этого коэффициента достигает 700, что на два порядка выше, чем у традиционных средств тензометрии.

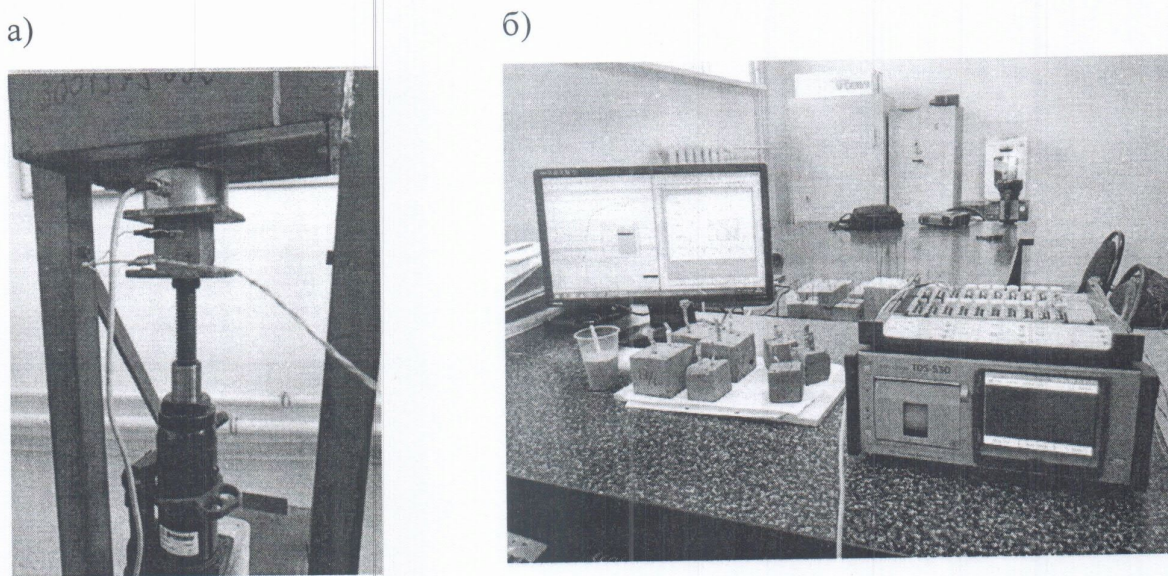
5. Стадия освоения инновационного проекта.

На сегодня в рамках первого этапа проекта выполнено следующее:

- определено оптимальное содержание углеродных нанотрубок в доле от вяжущего;
- исследованы влияние материала и формы электродов на электрические свойства сенсоров (рисунок 2);
- проведены пробные испытания сенсоров на сжатие с построением зависимости электрического сопротивления от сжимающих напряжений (рисунок 3).



а) медные проволочные; б) стальные пластинчатые; в) лопатки из оцинкованной стали; г) сетка из медной проволоки; д) мелкая стальная сетка
 Рисунок 2 – Исследованные виды электродов



а) нагружение сенсора домкратом; б) выполнение измерений показаний;
 Рисунок 3 – Проведение предварительных исследований

6. Потенциальная потребность рынка в данном инновационном проекте.

Реализация продукта НИОКР на строительном рынке будет осуществляться в виде предоставления услуг по мониторингу строительных конструкций при помощи разработанной технологии. Срок проведения мониторинга будет устанавливаться в соответствии с требованиями действующей нормативной документации и с учетом пожеланий заказчика. Начало предоставления услуг по строительному мониторингу с применением разработанной технологии станет возможным уже во втором полугодии второго года реализации проекта. Также возможна продажа другим компаниям лицензии на использование технологии.

Потенциальными заказчиками услуг являются компании-застройщики, реализующие проекты высотных и уникальных зданий и сооружений. Выполнение мониторинга строительных конструкций для таких зданий является обязательным.

7. Готовность разработки для демонстрации на выставках потенциальным инвесторам.

Разработка может быть представлена на демонстрационном стенде на выставках.

8. Результаты работ по продвижению инновационного проекта на рынок.

Работы по продвижению на рынок будут производиться после достаточного экспериментального подтверждения принятых предпосылок.

9. Сведения о патентной защите с указанием имеющихся охранных документов.

В настоящее время оформляется заявка на патент на полезную модель «Устройство для мониторинга состояния железобетонных конструкций».

Беспроводная система мониторинга, разработанная в рамках настоящего проекта, также потребует патентной защиты. Подача заявки на полезную модель планируется на втором году реализации проекта после подтверждения работоспособности системы.

По результатам предварительных исследований опубликована статья в издании, индексируемом системой РИНЦ.

10. Возможность продажи лицензии на инновационный проект или входящие в него проекты промышленной собственности, предполагаемая цена лицензии.

Продажа лицензии на применение технологии возможна. Стоимость будет рассчитана на основании предварительно выполненных маркетинговых исследований.