

прилегающие к нему районы. Несмотря на то, что фашисты разрушили 90 % городских сооружений, в процессе реконструкции был восстановлен внешний облик большинства исторически значимых зданий. Очевидно, однако, что попытка вернуть им ранее существовавшее колористическое решение была произведена не в полной мере – здания окрашивались без учета соответствующих исторических изысканий.

Таким образом, универсальной рекомендацией для дальнейшего развития в этом ключе может быть использование концептуальных цветовых решений, позволяющих включать в концепцию цвета факторы истории района, улицы, на которой построен дом; яркими акцентами могут быть малые формы, а также праздничные украшения города.

По итогам работы был создан дизайн-проект, который содержит в себе колористический анализ более 500 зданий, 30 улиц и основных районов города, со сведением обобщенного цвета районов и самого города Гомеля к трем основным его цветам, характеризующим общую тенденцию к цветности. Результаты цветового обобщения были выполнены графически в виде нанесения основных цветов города на специально разработанный для этих целей профиль.

#### Список литературы

- 1 **Ефимов, А. В.** Из опыта проектирования колористики исторических городов / А. В. Ефимов, Н. Г. Панова // Архитектура и современные информационные технологии : междунар. электрон. сетевой науч.-образовательный журнал. – 2016. – № 4 (37).
- 2 **Морозов, В. Ф.** Стили и направления в архитектуре Беларуси второй половины XVIII – первой половины XIX века / В. Ф. Морозов. – Минск : БНТУ, 2016. – 239 с.
- 3 **Карамышев, А. А.** Цвет в контексте исторической среды: лингвистические особенности и корреляции / А. А. Карамышев // Архитектура и строительство. – 2020. – № 4. – С. 34–37.
- 4 **Карамышев, А. А.** Колористика стилей в европейском зодчестве / А. А. Карамышев // Архитектура и строительство. – 2021. – № 3. – С. 46–51.

УДК 69.059.14

## НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*В. А. КОВТУН, В. Н. ПАСОВЕЦ*

*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск*

*В. А. ЛОДНЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для осуществления регламентных ремонтных работ сложных строительных конструкций, используемых в различных отраслях, требуется постоянное увеличение объемов финансирования. Такая ситуация обусловлена естественным старением зданий и сооружений, которое ведет к увеличению количества обслуживаемых объектов. Кроме того, необходимо обратить внимание на уменьшение коэффициента запаса прочности, связанного со снижением материалоемкости конструкций. Приостановка эксплуатации пешеходных, автомобильных и железнодорожных мостов, аэропортов, буровых установок и др. для проведения профилактических и регламентных ремонтных работ обходится чрезвычайно дорого. Поэтому в настоящее время возникает необходимость в разработке новых подходов к контролю технического состояния сложных строительных конструкций, которые дадут возможность значительного повышения уровня предупреждения чрезвычайных ситуаций [1].

Длительная эксплуатация объектов гражданского и военного назначения требует разработки систем мониторинга строительных конструкций. Это позволит эксплуатировать многочисленные объекты, созданные 30–50 лет назад, и в ближайшем будущем. Для снижения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера при дальнейшей работе таких промышленных объектов требуется использование систем контроля, адекватно оценивающих безопасность эксплуатации. Необходимо отметить, что применение разнообразных систем мониторинга позволяет отказаться от непомерно частых и необоснованных ремонтов. Кроме того, строительство уникальных зданий, объектов военного и промышленного назначения, требующих применения новых материалов и новых конструкторских решений, также обуславливает необходимость использования мониторинга технического состояния и прогнозирования срока службы [2].

Ведущие научно-исследовательские центры мира интенсивно работают в рамках программы SHM (Structural Health Monitoring), задачи которой состоят в разработке методик оценки технического состояния конструкций на основе анализа их собственным деформационным и акустических колебаний в условиях старения и экстремальных воздействий. В общем случае система мониторинга состояния конструкций предполагает решение следующих задач: сбор данных; выделение параметров и обработка данных; оперативная оценка; разработка математических моделей и критериев оценки ресурса. В результате анализа многочисленных исследований можно сделать вывод о том, что разработка систем мониторинга сдерживается отсутствием сенсоров динамических деформаций, чувствительность которых на порядок превосходит характеристики существующих аналогов на основе полупроводниковых материалов. Таким образом, перечисленные факторы подтверждают актуальность научных исследований в области создания систем непрерывного мониторинга функционирования сложных конструкций в реальном масштабе времени на основе применения новых датчиков динамической деформации и технологий анализа состояния объекта [3].

Цель работы состоит в анализе перспектив использования современных разработок, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации объектов различного назначения, путем организации дистанционного мониторинга их напряженно-деформированного состояния.

Существующие системы неразрушающего контроля (СНК): ультразвуковая дефектоскопия, магнитная рентгенография, акустическая эмиссия, метод проникающих жидкостей и др. – хорошо зарекомендовали себя на стадии производства отдельных компонентов сложных систем [4]. Однако они оказались малопригодными для мониторинга сложных конструкций во время всего срока эксплуатации. Системы непрерывного мониторинга (СНМ) являются естественным развитием традиционных технологий СНК и позволяют удовлетворить новым техническим требованиям обеспечения безопасности. В отличие от СНК цель СНМ состоит в установлении срока службы конструкции в автоматическом режиме с минимальными трудозатратами [5].

Старением инфраструктуры существующих в настоящее время объектов военного и гражданского назначения и связанным с ней увеличением финансирования обусловлена важность исследований в области создания СНМ и их соответствие приоритетным направлениям научно-исследовательской деятельности в Республике Беларусь. Например, одной из главных причин высокой стоимости обслуживания мостов является необходимость проверки технического состояния конструкций специалистами вручную, причем увеличение времени эксплуатации требует осуществления дополнительных инспекций. Уменьшение стоимости обслуживания данных объектов возможно путем внедрения мониторинга целостности конструкции, объективно отображающего состояние конструкции, который проводится в режиме реального времени. Тем самым появляется возможность существенного снижения издержек, связанных с поддержанием жизненного цикла сложных инженерных конструкций [6].

Таким образом, в Республике Беларусь существует острая потребность в разработке надежных СНМ состояний строительных конструкций, которые могут обрабатывать данные в автоматическом режиме, оценивать техническое состояние и подавать сигнал о необходимости вмешательства человека. Несмотря на значительное число теоретических и экспериментальных работ в области неразрушающего контроля, технической диагностики, дефектоскопии и оценки ресурса распределенных систем с учетом особенностей реакции конструкции на различные воздействия на нее, требуется создание системы, объединяющей воедино теоретические и практические результаты по оценке ресурса конструкций.

#### Список литературы

- 1 Пути снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением строительных конструкций / В. Н. Пасовец [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – Т. 6, № 2. – С. 3–7.
- 2 Пасовец, В. Н. Применение тензометрических датчиков в системах непрерывного мониторинга основных несущих конструкций зданий и сооружений / В. Н. Пасовец, В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7, № 1. – С. 34–38.
- 3 Bridge deck evaluation with ground penetrating radar / D. Huston [et al.] // Proceedings of the International workshop on structural health monitoring, Stanford, 18–20 September 1997. – Stanford : Stanford University. – P. 91–102.
- 4 Пасовец, В. Н. Практическое применение систем непрерывного мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений различного назначения с целью снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций / В. Н. Пасовец, С. Г. Короткевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 42–47.

5 Бирюк, В. А. Неразрушающие методы контроля агрегатов и узлов пожарной аварийно-спасательной техники / В. А. Бирюк, В. Н. Пасовец, М. М. Журов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 387–396. – DOI : <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.389>.

6 Предупреждение возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с деструкцией фундаментов и надфундаментных конструкций зданий и сооружений / В. Н. Пасовец [и др.] // Промышленная безопасность и охрана труда: практика, обучение, инновации : сб. материалов Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Минск : Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, 2019. – С. 67–70.

УДК 620.178

## РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПОРАХ КАЧЕНИЯ

*Е. В. КОДНЯНКО*

*ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения  
с опытным производством», г. Солигорск, Республика Беларусь*

*Д. А. ЧЕРНОУС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время в узлах трения различных механизмов и конструкций широко используются детали с покрытиями. Если жесткость материала покрытия много меньше жесткости основного материала детали (полимерные антифрикционные покрытия), то при решении контактных задач такую деталь можно рассматривать как абсолютно твердое тело с деформируемой периферией [1]. При практических расчетах для описания деформирования этой периферии часто используют различные упрощенные модели. Одной из таких моделей является модель основания Винклера [2]. В рамках модели Винклера, в частности, получена оценка момента сопротивления качению в покое с учетом нарушения симметрии распределения контактного давления при приложении к опоре качения малого крутящего момента [2]. Однако ранее рассматривался только режим свободного качения при отсутствии сдвиговой (параллельной опорной поверхности) силы, что существенно сужает область применения разработанной методики. Анализ влияния сдвиговой силы на механические параметры опор качения посвящено множество фундаментальных и прикладных работ. В рамках классической теории качения [3], изложенной в данных работах, при рассмотрении линейно упругого деформирования материалов контактирующих тел наличие приложенной к опоре качения пары сил не сказывается на распределении контактного давления. Подобный подход не позволяет достоверно прогнозировать параметры напряженно-деформированного состояния в области контакта опоры качения с опорной поверхностью.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования является разработка математической модели контакта опоры качения с поверхностью, основанной на ранее предложенной методике расчетного определения момента сопротивления качению в покое и позволяющей рассматривать произвольный режим силового нагружения рассматриваемого объекта.

Как и в работе [2], в качестве упрощенной структурной модели опоры качения рассмотрим абсолютно жесткий цилиндр с длиной образующей  $l$ , радиусом  $R$  и деформируемой периферией толщины  $h$ . Цилиндр находится в контакте с горизонтальной недеформируемой опорной поверхностью. На цилиндр действует вертикальная сила  $P$ , направленная к опорной поверхности, горизонтальная сила  $F$  и пара сил с моментом  $M_{пр}$ . Деформируемая периферия образована изотропным линейно-упругим материалом, характеризующимся модулем Юнга  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ .

Под действием силы  $P$  центр опоры качения смещается к опорной поверхности на  $u_{n0}$ . При этом образуется область контакта полушириной  $a$ . Вертикальные смещения точек поверхности покрытия, находящихся в данной области, зависят от координаты  $x$  следующим образом:

$$u_n(x) = u_{n0} - \frac{x^2}{2R}.$$

Ось  $x$  направлена по опорной поверхности перпендикулярно образующей цилиндра. Начало координат соответствует центру области контакта.