

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА

Е.С. Панькина, Н.В. Дорофеев, А.В. Греченева

ФГБОУ ВО «Владимирской государственной университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир

Статья посвящена разработке алгоритма раннего обнаружения дефектов на объектах строительства, применяемого в системах геотехнического мониторинга для повышения точности прогнозных оценок устойчивости сооружений. Не смотря на имеющиеся наработки в сфере геотехнического мониторинга и оценки устойчивости геотехнических систем, возникающие за проектные ситуации, которые приводят к возникновению аварий и катастроф техногенного и природного характера, показывают необходимость дальнейшего развития алгоритмического обеспечения систем геотехнического мониторинга. Приведена блок-схема алгоритма раннего обнаружения дефектов на объектах строительства, построенного на основе авторского подхода выделения ключевых точек геотехнического мониторинга, методов теории бифуркаций, а также нейросетевого анализа. Отличительной особенностью разработанного алгоритма кроме применения нейронной сети для подстройки под геотехнические особенности, является возможность динамической корректировки диапазонов варьирования пределов устойчивости геотехнической системы, заложенных в проектной документации на исследуемый объект строительства. В описаны результаты практического применения разработанного алгоритма в системе геотехнического мониторинга (наблюдения осуществлялись с 2016 по 2021 год) параметров грунтового основания, а также физико-механических параметров элементов конструкций фундамента и сооружения. В качестве сооружения выступало трехэтажное здание, возведенное на кирпичном ленточном фундаменте. Объект исследования находится в г. Муроме Владимирской области. В ходе применения разработанного алгоритма были получены оценки мест образования дефектов в контрольных точках и их локализация, которые были подтверждены в ходе дальнейших наблюдений. Разработанный алгоритм может применяться в системах геотехнического мониторинга на протяжении всего жизненного цикла геотехнической системы.

Ключевые слова: алгоритм, контроль, процесс, геотехническая система, деструктивный.

ВВЕДЕНИЕ

Раннее обнаружение дефектов, развивающихся в элементах конструкции и фундамента, является актуальной задачей не только для этапов строительства, но и для всего жизненного цикла инженерно-технических объектов, входящих в состав геотехнических систем.

Согласно нормативным документам [1-7], обследование инженерных объектов носит периодический характер. Однако такой подход обладает существенным недостатком, заключающимся в высокой вероятности пропуска регистрации начальных стадий развития дефектов и деформационных процессов, проявляющихся в периоде между замерами. В таком случае, несвоевременная регистрация развития дефектов элементов конструкций сооружения и его фундамента приводят к необходимости принятия мер по их устранению, повышающих затраты на эксплуатационное обслуживание сооружения. Кроме того, скорость развития деформаций и дефектов элементов конструкции носит экспоненциальный характер, что обусловлено упруго-деформируемыми свойствами материалов [8 - 10]. Следовательно, на начальных стадиях процесс развития дефектов является медленным до определенного предела (предела упругости), после которого процесс

приобретает значительные темпы развития и становится необратим. В таком случае, принято говорить о потере устойчивости сооружения, что приводит к возникновению предаварийных и аварийных состояний в геотехнических системах.

Целью работы является разработка алгоритма раннего обнаружения дефектов на объектах строительства, применяемого в системах геотехнического мониторинга для повышения точности прогнозных оценок устойчивости сооружений.

АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ

Задача комплексирования методов геодинамического и деформационного мониторинга сопряжена с задачей разработки алгоритмов и программного обеспечения обработки разнородных данных. Одним из наиболее распространенных методов, применяемых в системах мониторинга и прогнозирования устойчивости геотехнических объектов является факторный анализ, реализуемый как посредством прикладных программ, так и нейросетевых алгоритмов. Существующие методы факторного анализа заключаются в определении корреляции между анализируемыми факторами наблюдаемых сложных систем [11-14]. Однако, для построения более надежных прогнозов необходимо учитывать не только коэффициенты корреляции

исследуемых параметров, но и возможные комбинации уровней исследуемых параметров, приводящие к переходу геотехнической системы в другое состояние, иными словами, потере устойчивости. В связи с этим, особыми перспективами в решении задач прогнозирования геотехнической устойчивости обладают методы бифуркационного анализа [15-17].

В рамках работы для обеспечения геотехнического мониторинга применялись методы геоэлектрического, виброакустического, акселерометрического и тензометрического контроля. Согласно разработанному алгоритму (рис. 1), полученные массивы данных загружаются в базовую модель, представляющую собой набор векторов, описывающих взаимосвязь компонентов геотехнической системы [18]. Далее, происходит построение и решение системы дифференциальных уравнений, согласно базовым положениям метода бифуркационного анализа и дополнения, описанным в работе [19]. В ходе бифуркационного анализа происходит определение точек бифуркации – комбинации параметров системы, приводящих к её переходу в неустойчивое состояние, которые в дальнейшем формируют матрицу бифуркационных параметров.

Отличительной особенностью алгоритма является определение условий (комбинации значений параметров геотехнической системы), при которых данная система может перейти в неустойчивое состояние ранее пределов, описанных в проектной технической документации. Указанная гипотеза, положенная в основе предлагаемого алгоритма, построена на теоретических основах механики и сопротивления материалов, в рамках которых отмечено значительное снижение параметров упругости и прочности материалов, формируемой вследствие суммарного или комбинационного воздействия сил [20-23]. Таким образом, сформированные условия позволяют скорректировать диапазоны варьирования параметров наблюдения с целью предупреждения развития дефектов на объектах строительства.

Далее в процессе длительного мониторинга происходит оценка принадлежности измеряемых параметров скорректированным диапазонам варьирования, и, в случае выхода за установленные значения, происходит выделение ключевых точек со скрытыми деструктивными процессами, подлежащих дальнейшему нейросетевому анализу. В результате, на выходе нейросети формируется прогноз развития дефектов на объектах строительства согласно текущим условиям. В дальнейшем, в случае изменения условий и с учетом текущих данных мониторинга алгоритм автоматически корректирует прогнозные оценки, что позволяет предупредить

развитие дефектов конструкции сооружения на объектах строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработанный алгоритм применялся для обработки данных геоэлектрического, резистивно-акустического, акселерометрического и



Рис. 1. Разработанный алгоритм

тензометрического контроля, полученных в ходе геотехнического мониторинга в период с 2016 по 2021 годы. Объект исследования - трехэтажное здание, возведенное на кирпичном ленточном фундаменте (рис. 2). Наблюдения осуществлялись с 2016 по 2021 год. Особенностью исследуемой геотехнической системы является периодическая обводненность подвальных помещений здания, наличие трещин на элементах фасада, а также повышенный уровень вибрационной нагрузки, обусловленной расположенным вблизи автомобильным шоссе с высокой плотностью грузовых и большегрузных автомобилей.



Рис. 2. Объект геотехнического мониторинга

Система мониторинга представляла собой сеть акселерометрических датчиков, размещенных вдоль осевых несущих конструкций здания, и сеть тензометрических датчиков, размещенных в узлах конструкции фундамента согласно схеме, приведенной на рис. 3. Также дополнительно осуществлялся мониторинг уровня вибраций грунтового основания.

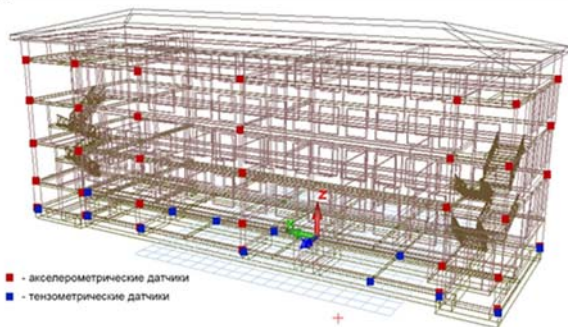


Рис. 3. Размещение сети датчиков системы геотехнического мониторинга

По результатам анализа данных в период с 2016 по 2018 годы согласно разработанному алгоритму были выделены наиболее уязвимые ключевые точки конструкции сооружения, в которых предположительно развиваются скрытые

деструктивные процессы, проявляющие активность вследствие динамики уровня обводненности грунтового основания (рис. 4).

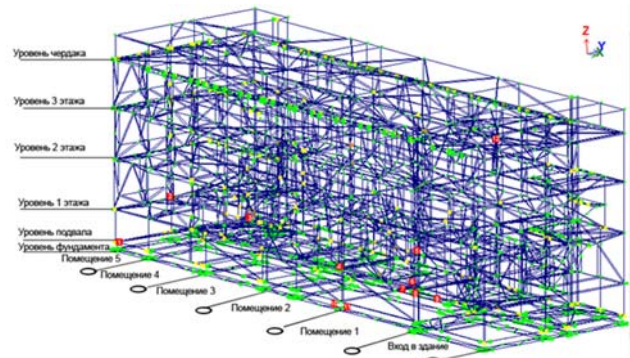


Рис. 4. Наиболее уязвимые ключевые точки с развитием скрытых деструктивных процессов

В ходе анализа с учетом полученных результатов было принято ввести дополнительную систему локального мониторинга, расположенную на участке с наибольшей плотностью уязвимых контрольных точек 4, 5, 6, 7, 10, 11. Данная система включала набор из трёх акселерометрических и трёх тензометрических датчиков.

Данные наблюдений локальной системы мониторинга в период с февраля 2021 года по июнь 2021 года приведены на рис. 5.

Следует отметить, что в ходе снегоуборочных работ значительный объем снега был свезен на близкое расстояние к основанию здания, причем, локализация основной толщи снеговых масс была расположена около исследуемого участка концентрации наиболее уязвимых точек сооружения (рис. 2). В процессе мониторинга был зафиксирован начальный момент периода таяния снега, приходящийся на конец февраля 2021 года. Данный факт значительного роста внутреннего напряжения в элементах конструкции стены в период с 13 февраля 2021 года по 5 марта 2021 года, привел к растяжению тензометров 1-3 и изменениям их выходных значений, что отражено на графиках (рис. 5).

Полученные показатели системы мониторинга стали причиной вывоза снега с исследуемой территории, факт которого совершен от 15 марта 2021 года. Это приводит к снижениям темпов роста напряжений в элементах конструкции исследуемой стены и перераспределению полей напряжений, что также отражено на графике. Однако, созданные условия динамического нагружения, вызванного изменением мощности слоя грунтового основания с учетом снеговых масс и без них, и дополнительное влияние динамики параметров обводненности грунтового основания, вызванного процессом таяния снега, привело к развитию деструктивных процессов, локализованных в наиболее уязвимых участках конструкции исследуемого сооружения. В результате,

на момент 7 апреля 2021 года был отмечен факт образования трещины в стене, развивающейся в направлении от окна здания (ключевые точки 4 и 10 на рис. 4).

Образованная трещина является уязвимым участком конструкции и выполняет функцию погашения возникающих напряжений в элементах конструкции сооружения, что обосновано базовыми положениями механики твердых тел. Данный процесс приводит к росту темпов образования дефекта типа трещина в конструкции сооружения, что подтверждалось с начала апреля до конца июня 2021 года (рис. 6).



Рис. 5. Проявление деструктивных процессов

График на также показывает, что по результату образования трещины происходит растяжение материалов стены: нижняя часть стены, расположенная до трещины, смещается вниз, приводя к растяжению тензометрических преобразователей, следовательно, показания датчика 1 (расположенного в верхней части стены) приходит к первоначальному, что обусловлено фактом отсутствия вызванных напряжений и вибраций, которые погашаются за счет образовавшейся трещины. В свою очередь, значения напряжений по датчикам 2 и 3, расположенным в нижней части стены до трещины, продолжают расти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований была выполнена разработка и апробация алгоритма обнаружения дефектов на объектах строительства, отличительной особенностью которого является возможность прогнозной оценки развития дефектов по результатам работы алгоритма. В ходе обработки данных мониторинга за период с 2016 по 2018 годы были получены оценки мест образования дефектов в ключевых точках элементов конструкции сооружения и их локализация, подтвержденные в дальнейшем в ходе наблюдений. Точность локализации места возникновения деструктивных процессов определяется расстоянием между датчиками и методом контроля (в рассматриваемом примере составляла 3 метра до введения дополнительных точек и 1 метр в дополнительных локальных точках).

Данная точность соответствует точности существующих алгоритмов обнаружения дефектов [24-30], основанных на изменении уровня выходного сигнала тензометрических и акселерометрических датчиков. Применение других алгоритмов (например, на основе анализа частотных компонент) в отдельных случаях дает лучшие результаты [31-35]. Кроме этого, точность и время прогноза определяется степенью адекватности применяемых моделей, качеством работы нейронной сети и количеством измеряемых параметров [35]. Для описанного случая прогноз был составлен за 1,4 месяца с вероятностью 0,81, при этом были уменьшены допустимые пределы измеряемых параметров на 2%. Следует отметить, что предлагаемый алгоритм может базироваться на существующих методах контроля и дополнять алгоритмы обнаружения построенные на них.

Следовательно, корректировка допустимых пределов варьирования измеряемых параметров геотехнической системы согласно данным разработанного алгоритма, позволит заблаговременно исключить развитие дефектов путем принятия мер по поддержанию параметров контроля в указанных диапазонах.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МД-1800.2020.8

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 2003-08-21. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. – 53 с.
2. Пособие к МГСН 2.07-01. Обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений [Текст]. – Введ. 2004-12-01. – Москомархитектура. – М.: ГУП «НИИЦ», 2004. – 12 с.
3. Дополнение к пособию МГСН 2.07-01. Обследования и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений [Текст]. – Введ. 2005-12-14. – Москомархитектура. – М.: ГУП «НИИЦ», 2005. – 16 с.
4. РМ-2957. Рекомендации по эксплуатации многофункциональных высотных зданий и комплексов [Текст]. – Введ. 2004-01-01. – М.: Москомархитектура, 2004. – 17 с.
5. МДС 13-22.2009. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 2010-07-06. – ООО «ТЕКТОПЛАН». – М.: ОАО «ЦПП», 2010. – 76 с.
6. Рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных вблизи нового строительства или реконструкции [Текст]. – Введ. 1998-11-18. – М.: ГУП «НИИЦ», 1998. – 11 с.
7. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы [Текст]. – Введ. 2002-08-01. – М.: ГУП «НИИЦ», 2002. – 23 с.
8. Юдина, И.М. К вопросу о выборе расчетной модели для прогнозирования напряженно-деформированного состояния грунтов при устройстве котлованов / И.М. Юдина, А.Н. Климов // Вестник МГСУ. – 2008. – №2. – С. 145-149.
9. Миронов, В.А. Основные уравнения прочности и деформируемости дисперсных пород / В.А. Миронов, О.Е. Софьин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 10. – С. 286-292.
10. Жабко, А.В.. Критерий разрушения твердых тел / А.В. Жабко // Проблемы недропользования. – 2015. – № 2(5). – С. 46-51.

11. Двоерядкина, Н. Н. Факторный анализ при исследовании структуры данных / Н.Н. Двоерядкина, Н.А. Чалкина // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2011. – № 53. – С.11-15.
12. Усовершенствованный подход к проведению блочно-факторного анализа разработки / О. Ю. Савельев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 74–77.
13. Жантурин, Ж. К. Методы оценки эффективности геолого-технических мероприятий / Ж.К. Жантурин, А.Ш. Канбетов, А.Т. Мусрепова // *Universum: технические науки*. – 2020. – № 3.1(72.1). – С. 24-29.
14. Факторный анализ успешности геолого-технических мероприятий как инструмент повышения качества геолого-гидродинамических моделей / М.В. Наугольнов [и др.] // *Пронефть. Профессионально о нефти*. – 2019 - № 1(11). – С. 34-38.
15. Dorofeev, N. V., Romanov, R. V., Grecheneva, A. V. and Pankina, E. S., “Improving the reliability of the results of automated forecasting of emissions in geotechnical systems based on the bifurcation approach,” *IOP Conf. Ser.: Materials Sci. and Eng.*, vol. 862, pp. 1-6, 2020.
16. Иноземцев, В.К. Бифуркационная устойчивость инженерного сооружения с высоко расположенным центром тяжести / В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2008. – № (3). – С. 30-35.
17. Иноземцев, В. К. Общая бифуркационная устойчивость высотного объекта и модель основания в виде плоского ограниченного полупространства / В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева, Е.А. Нащинцев // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2015. – № 2. – С. 45-60.
18. Базовая модель геотехнической системы / Е.С. Панькина [и др.] // *Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск*. – 2020. С. 49-53.
19. Dorofeev, N.V., Grecheneva, A.V. and Pankina, E.S., “The determination of requirements for metrological parameters of geotechnical monitoring systems based on the bifurcation approach,” *J. of Physics: Conf. Ser.*, vol. 1728(1), 012028, 2021.
20. Орешкин, Д. В. Механика разрушения и современные научные исследования строительных материалов / Д.В. Орешкин // *Вестник МГСУ*. – 2013. – № 12. – С. 180-183.
21. Кулачкин, Б.И. Состояние и перспективы геотехники и механики грунта / Б.И. Кулачкин, А.А. Митькин, С.С. Магомедов // *Строительство и архитектура*. – 2017. – № 8 (1). – С. 32-52.
22. Богданов, Е. Н. Механические свойства грунтов как причина неточных решений механики грунтов / Е.Н. Богданов, А.Е. Богданов // *Записки Горного института*. – 2003. – № 153. – С. 131-136.
23. Романов, К. И. Переходные функции теории ползучести / К.И. Романов // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки»*. – 2003. – № 2. – С. 120-125.
24. Usanov, S. V., Ruchkin, V. I., and Zheltysheva, O. D., “Monitoring linear deformation of buildings and structures,” *J. of Mining Science*, vol. 51(4), pp. 724–729, 2015.
25. Guizzardi, M., Derome, D., Mannes, D., Vonbank, R., and Carmeliet, J., “Electrical conductivity sensors for water penetration monitoring in building masonry materials,” *Materials and Structures*, vol. 49(7), pp. 2535–2547, 2015.
26. Mustafin, M.G., Valkov, V.A., and Kazantsev, A.I., “Monitoring of deformation processes in building and structures in metropolies,” *Proceeding of the Int. Sci. Conf. transportation geotechnics and geoecology*, vol. 189, pp. 729-736, 2017.
27. Giannoccaro, N. I., Spedicato, L., and Foti, D., “A digital analysis of the experimental accelerometers data used for buildings dynamical identification,” *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems*, vol 1, pp. 1-6, 2016.
28. Antonyova, A., and Antony, P., “Measurement system for testing reliability of building insulation,” *3rd Int. Conf. on Instrumentation Control and Automation*, vol. 3, pp. 1-6, 2013.
29. Kim, D., Chang, S., “Active vibration control of building structures using lattice pattern control based on learning algorithm,” *Advanced in structural engineering*, vol. 2, pp. 77-84, 2010.
30. Thenozhi, S., and Yu, W., “Active vibration control of building structures using fuzzy proportional-derivative/proportional-integral-derivative control,” *J. of Vibration and Control*, vol. 21(12), pp. 2340–2359, 2013.
31. Li, L. J., “The Study on Building Structure for Vibration Control,” *Advanced Materials Research*, pp. 490-495, 2012.
32. Gaidachuk, V.V., and Kotenko, K.E., “Efficiency and problems for monitoring large-building structures,” *Opir materialiv i teoria sporud-strength of materials and theory of structures*, vol. 97, pp. 175-185, 2016.
33. Volkovas, V., Eidukevičiūtė, M., Nogay, H. S., and Akinci, T. C., “Application of wavelet transform to defect detection of building’s structure,” *Mechanika*, vol. 8(6), pp. 683-690, 2013.
34. Lee, K., Hong, G., Sael, L., Lee, S., and Kim, H. Y., “MultiDefectNet: Multi-Class Defect Detection of Building Façade Based on Deep Convolutional Neural Network,” *Sustainability*, vol. 12(22), pp. 1-14, 2020.
35. Qiu, Q., and Lau, D., “Defect detection of FRP-bonded civil structures under vehicle-induced airborne noise,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 146, 106992, 2021.

Панькина Екатерина Сергеевна – научный сотрудник кафедры «Управление и контроль в технических системах», Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО ВлГУ, тел. (49234)77236, e-mail: pankina@bsu.edu.ru

Дорофеев Николай Викторович – д.т.н, доцент, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах», Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО ВлГУ, тел. (49234)77236, e-mail: dorofeevny@yandex.ru

Греченева Анастасия Владимировна – к.т.н, доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах», Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО ВлГУ, тел. (49234)77236, e-mail: grechenevaav@yandex.ru

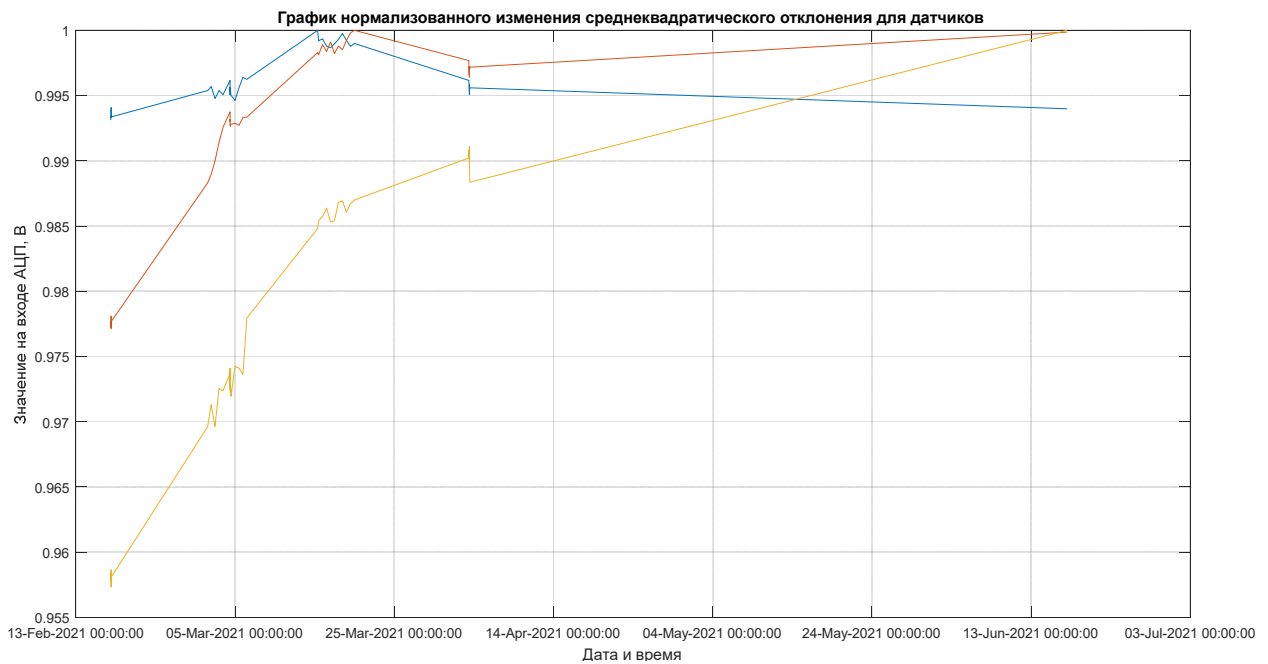


Рис. 5. Данные тензометрических преобразователей, отражающих механические напряжения, возникающих в элементах конструкции стены

ALGORITHM FOR DETECTING DEFECTS AT CONSTRUCTION OBJECTS

E.S. Pankina, N.V. Dorofeev, A.V. Grecheneva

Vladimir State University, Vladimir

Abstract — The article is devoted to the development of an algorithm for early detection of defects at construction sites, which is used in geotechnical monitoring systems to improve the accuracy of predictive estimates of the stability of structures. The emerging design situations that lead to accidents and catastrophes of a man-made and natural nature show the need for further development of algorithmic support for geotechnical monitoring systems, despite the existing developments in the field of geotechnical monitoring and assessment of the stability of geotechnical systems. A flowchart of an algorithm for early detection of defects at construction sites is presented, based on the author's approach to identifying key points of geotechnical monitoring, methods of bifurcation theory, as well as neural network analysis. A distinctive feature of the developed algorithm, in addition to using a neural network to adjust to geotechnical features, is the possibility of dynamically adjusting the ranges of variation of the stability limits of the geotechnical system laid down in the design documentation for the construction object under study. The results of the practical application of the developed algorithm in the geotechnical monitoring system (observations were carried out from 2016 to 2021) of the parameters of the soil base, as well as the physical and mechanical parameters of the structural elements of the foundation and structure are described. The structure was a three-storey building erected on a brick ribbon foundation. The object of research is located in the city of Murom, Vladimir region. During the application of the developed algorithm, estimates of the places of defect formation at control points and their localization were obtained, which were confirmed during further observations. The developed algorithm can be used in geotechnical monitoring systems throughout the entire life cycle of a geotechnical system.

Index terms: algorithm, control, process, geotechnical system, destructive.

REFERENCE

1. SP 13-102-2003. Rules for the inspection of load-bearing structural structures of buildings and structures [Text]. - Introduction. 2003-08-21. - Moscow: Gosstroy of Russia, GUP TSPP, 2004. - 53 p.
2. The manual for the MGSN 2.07-01. Surveys and monitoring during the construction and reconstruction of buildings and underground structures [Text]. - Introduction. 2004-12-01. - Moskomarchitektura. - Moscow: GUP "NIAC", 2004. - 12 p.
3. Supplement to the manual MGSN 2.07-01. Surveys and monitoring during the construction and reconstruction of buildings and underground structures [Text]. - Introduction. 2005-12-14. - Moskomarchitektura. - Moscow: GUP "NIAC", 2005. - 16 p.
4. RM-2957. Recommendations for the operation of multifunctional high-rise buildings and complexes [Text]. - Introduction. 2004-01-01. - Moscow: Moskomarchitektura, 2004. - 17 p.
5. MDS 13-22. 2009. The methodology of geodetic monitoring of the technical condition of high-rise and unique buildings and structures [Text]. - Introduction. 2010-07-06. - LLC "TECTOPLAN". - Moscow: JSC "TSPP", 2010. - 76 p.
6. Recommendations for the inspection and monitoring of the technical condition of operated buildings located near new construction or reconstruction [Text]. - Introduction. 1998-11-18. - Moscow: GUP "NIAC", 1998 -- 11 p.
7. Recommendations for the assessment of geological risk on the territory of Moscow [Text]. - Introduction. 2002-08-01. - Moscow: GUP "NIAC", 2002. - 23 p.
8. Yudina, I. M. To the question of the computational model selection for forecasting the stress-strain state of soils in the pits / M. I. Yudin, A. N. Klimov // Vestnik MGSU. – 2008. – No. 2. – P. 145-149.
9. Mironov, V. A. Basic equations of strength and deforma-remote of dispersed rocks / V. A. Mironov, O. E. Sofin // Mining informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). -2007. - No. 10. - pp. 286-292.
10. Zhabko, A.V.. The criterion of destruction of solids / A.V. Zhab-ko // Problems of subsurface use. – 2015. – № 2(5). – P. 46-51.
11. Dvoeryadkina, N. N. Factor analysis in the study of data structure / N. N. Dvoeryadkina, N. A. Chalkina // Bulletin of the Amur State University. Series: Natural and Economic Sciences. - 2011. - No. 53. - pp. 11-15.
12. An improved approach to conducting block-factor analysis of development / O. Yu. Savelyev [et al.] // Oil Industry. - 2014. - No. 10. - pp. 74-77.
13. Zhanturin, Zh. K. Methods of evaluating the effectiveness of geological and technical measures / Zh. K. Zhanturin, A. Sh. Kanbetov, A. T. Musrepova // Univerzum: technical sciences. – 2020. – № 3.1(72.1). – P. 24-29.
14. Factor analysis of the success of geological and technical measures as a tool for improving the quality of geological and hydrodynamic models / M. V. Naugnov [et al.] // Rgoneft. Professionally about oil. – 2019 - № 1(11). – Pp. 34-38.
15. Dorofeev, N. V., Romanov, R. V., Grecheneva, A. V. and Pankina, E. S., "Improving the reliability of the results of automated forecasting of emissions in geotechnical systems based on the bifurcation approach," IOP Conf. Ser.: Materials Sci. and Eng., vol. 862, pp. 1-6, 2020.
16. Inozemtsev, V. K. Bifurcation stability of an engineering structure with a high center of gravity / V. K. Inozemtsev, O. V. Inozemtseva // Construction mechanics of engineering structures and structures. – 2008. – № (3). – Pp. 30-35.
17. Inozemtsev, V. K. Overall stability bifurcation of you-hundreds of the object and the base model-a limited-th half-space / Inozemtsev V. K., O. V. Inozemtsev, E.A. sinav // structural mechanics of engineering constructions and over-armed. – 2015. – No. 2. – P. 45-60.
18. The base model of the geotechnical system / E. S. Pankin [et al.] // Resource conservation and ecology of building materials, products and structures. Collection of scientific papers of the 3rd International Scientific and Practical Conference. Southwestern State University. Kursk. - 2020. pp. 49-53.
19. Dorofeev, N.V., Grecheneva, A.V. and Pankina, E.S., "The de-termination of requirements for metrological parameters of geotechnical monitoring systems based on the bifurcation approach," J. of Physics: Conf. Ser., vol. 1728(1), 012028, 2021.
20. Oreshkin, V. D. fracture Mechanics and modern scientific research of construction materials / D. V. Oreshkin // Vestnik MGSU. – 2013. – No. 12. – P. 180-183.

21. Kulichkin, B. I., the State and prospects of geotechnics and soil mechanics / B. I. Kulichkin, A. A. mit'kin, S. S. Magomedov // Construction and architecture. – 2017. – № 8 (1). – Pp. 32-52.
22. Bogdanov, E. N. Mechanical properties of soils as reasons for inaccurate solutions of soil mechanics / E. N. Bogdanov, A. E. Bo-gdanov // Notes of the Mining Institute. - 2003. - No. 153. - pp. 131-136.
23. Romanov, K. I. Transitional functions of the creep theory / K. I. Romanov // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. The series "Natural Sciences". - 2003. - No. 2. - pp. 120-125.
24. Usanov, S. V., Ruchkin, V. I., and Zheltysheva, O. D., "Monitoring linear deformation of buildings and structures," J. of Mining Science, vol. 51(4), pp. 724–729, 2015.
25. Guizzardi, M., Derome, D., Mannes, D., Vonbank, R., and Carmeliet, J., "Electrical conductivity sensors for water penetration monitoring in building masonry materials," Materials and Structures, vol. 49(7), pp. 2535–2547, 2015.
26. Mustafin, M.G., Valkov, V.A., and Kazantsev, A.I., "Monitoring of deformation processes in building and structures in metropolies," Proceeding of the Int. Sci. Conf. transportation geotechnics and geoecology, vol. 189, pp. 729-736, 2017.
27. Giannoccaro, N. I., Spedicato, L., and Foti, D., "A digital analysis of the experimental accelerometers data used for buildings dynamical identification," IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems, vol 1, pp. 1-6, 2016.
28. Antonyova, A., and Antony, P., "Measurement system for testing reliability of building insulation," 3rd Int. Conf. on Instrumentation Control and Automation, vol. 3, pp. 1-6, 2013.
29. Kim, D., Chang, S., "Active vibration control of building structures using lattice pattern control based on learning algorithm," Advanced in structural engineering, vol. 2. pp. 77-84, 2010.
30. Thenozhi, S., and Yu, W., "Active vibration control of building structures using fuzzy proportional-derivative/proportional-integral-derivative control," J. of Vibration and Control, vol. 21(12), pp. 2340–2359, 2013.
31. Li, L. J., "The Study on Building Structure for Vibration Control," Advanced Materials Research, pp. 490-495, 2012.
32. Gaidaichuk, V.V., and Kottenko, K.E., "Efficiency and problems for monitoring large-building structures," Opir materialiv i teoria sporud-strength of materials and theory of structures, vol. 97, pp. 175-185, 2016.
33. Volkovas, V., Eidukevičiūtė, M., Nogay, H. S., and Akinci, T. C., "Application of wavelet transform to defect detection of building's structure," *Mechanika*, vol. 8(6), pp. 683-690, 2013.
34. Lee, K., Hong, G., Sael, L., Lee, S., and Kim, H. Y., "MultiDefectNet: Multi-Class Defect Detection of Building Façade Based on Deep Convolutional Neural Network," *Sustainability*, vol. 12(22), pp. 1-14, 2020.
35. Qiu, Q., and Lau, D., "Defect detection of FRP-bonded civil structures under vehicle-induced airborne noise," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 146, 106992, 2021.

Pankina Ekaterina Sergeevna – Research associate of the Department "Management and Control in Technical Systems", Murom Institute (branch) of the FSUE IN VISU, tel. (49234)77236, e-mail: pankina@bsu.edu.ru

Dorofeev Nikolay Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Management and Control in Technical Systems", Moscow State University Institute (branch), tel. (49234)77236, e-mail: dorofeevny@yandex.ru

Grecheneva Anastasia Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Management and Control in Technical Systems", Murom Institute (branch) of the FSUE IN VISU, tel. (49234)77236, e-mail: grechenevaav@yandex.ru