

---

---

# Анализ сигналов и систем

---

---

УДК 004.002

## Обработка бифуркационных параметров в системе геотехнического мониторинга

Дорофеев Н.В.

В работе приводятся результаты проверки алгоритма выделения основных зон контроля при проведении геотехнического мониторинга. Применение алгоритма на данных мониторинга трехэтажного здания выявило негативный тренд изменения устойчивости отдельной области здания.

*Ключевые слова:* геотехнический, мониторинг, система, моделирование.

### Введение

Не смотря на современные достижения в области микроэлектронной техники и интеллектуальных информационных технологий проблема повышения экологической и техногенной безопасности в природно-технических системах остается не решенной, а направление, связанное с развитием средств геотехнического мониторинга, является актуальным [1]. Актуальность данного направления так же связана с многочисленными авариями и катастрофами природно-технического характера на инженерно-технических объектах различного класса опасности [2-4].

Системы геотехнического мониторинга кроме распределенной в пространстве сети измерительных датчиков имеют сложную информационно-аналитическую составляющую, которая включает в себя модели и реализует алгоритмы формирования прогнозных оценок. Количество и качество измеряемых параметров, количество точек измерения, а также адекватность применяемых моделей и корректность применяемых подходов к обработке данных влияет на качество работы системы геотехнического мониторинга. Недостатки информационно-аналитической части и технико-экономические ограничения при расширении сети измерительных датчиков в результате приводят к пропуску начальной стадии возникновения опасных геотехнических процессов [5].

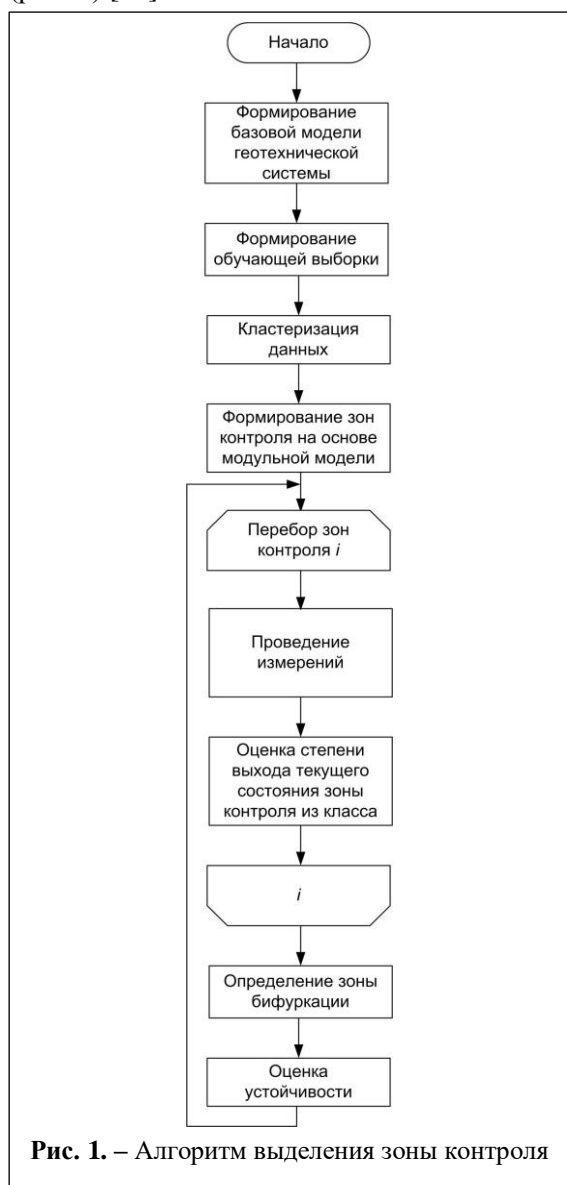
Целью данного исследования является практическая проверка алгоритма обработки параметров геотехнической системы и выделения основных зон геотехнического контроля.

### Алгоритм выделения зоны контроля

Малый объем априорной информации об объекте исследования приводит к исключению из моделей, применяемых в геотехнических системах для формирования прогнозных оценок, некоторых параметров в виду их малого влияния на результаты прогноза. Исключенные параметры характеризуют какие-либо процессы, факторы или взаимосвязи между компонентами геотехнической системы или в окрестной от нее зоне. Однако, очень часто за проектные ситуации возникают, когда упускаются из внимания малозначимые и маловероятные факторы. Не значительное изменение одного параметра приводит к каскадному изменению остальных параметров, что в результате приводит к качественному изменению контролируемого участка геотехнической системы и возможной активизации деструктивных процессов с последующей потерей устойчивости данного участка или всей системы в целом [6-8].

В некоторых случаях, когда необходимая априорная информация о параметрах геотехнической системы отсутствует, решить задачу оценки характера поведения скрытых процессов или объектов позволяет метод на основе

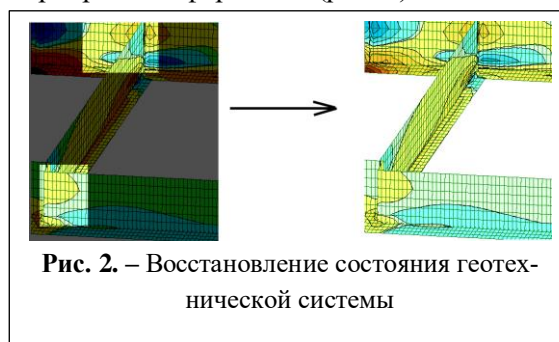
модели «черного ящика» с применением нейронных сетей. Такой подход, поможет восстановить модельные параметры по малому количеству измеряемых параметров. В качестве структуры нейронной сети подходит архитектура прогнозирующей нейронной сети с временной задержкой, построенной на базе многослойного персептрона [9, 10]. Алгоритм выделения зоны контроля можно представить в виде обобщенной блок-схемы (рис. 1) [11].



Формирование базовой модели осуществляется по данным проектной документации и иных имеющимся априорным данным. Далее по результатам моделирования при различных значениях входных параметров на основе

базовой модели создается обучающаяся выборка. Для бифуркационных параметров значения берутся из интервалов устойчивости, вблизи точек бифуркации и после них [12, 13]. После обучения нейронной сети с учетом текущих измерений параметров геотехнической системы получается индивидуальная модель. На основе индивидуальной модели выделяются однотипные реакции геотехнической системы с применением аппарата нейросетевой кластеризации. Для кластеризации подходят сети прямого распространения и сверточные сети [14-16].

Разбивая геотехническую модель на отдельные составляющие (зоны) получается модульная модель, по которой осуществляется выбор зон контроля. Модульная модель отражает взаимосвязи между зонами и по ней оценивается устойчивость системы или её отдельных зон. С учетом технико-экономических ограничений осуществляется поиск оптимального количества зон контроля на основе рекуррентной нейронной сети [17, 18], которая восстанавливает поведение геотехнической системы по ограниченному объему априорной информации (рис. 2).



Наиболее важные зоны выбираются на основе выражения:

$$\max \left( 1/N_i \sum_i dP_i / (\Delta_i \cdot dt) \right), \quad (1)$$

где  $i$  – рассматриваемая зона;  $N$  – количество контролируемых параметров;  $P_i$  –  $i$ -й параметр;  $\Delta_i$  – допустимый диапазон параметра  $P_i$ .

Нахождение в точке бифуркации оценивается по выражению:

$$\min(L_i/d), \quad (2)$$

где  $L_i$  – расстояние от текущего положения геотехнической системы в пространстве контролируемых параметров до границы  $i$ -го класса;  $d$  – колебания точки, описывающей текущее положение контролируемой системы (среднеквадратическое отклонение).

### Практическая проверка

В ходе практической проверки предлагаемого алгоритма были обработаны данные (с 2016 по 2021 год) мониторинга 10 корпуса Муромского института Владимирского государственного университета. По результатам обработки была выделена зона развития деструктивных процессов (рис. 3). Развитие деструктивных процессов было зафиксировано системой мониторинга.

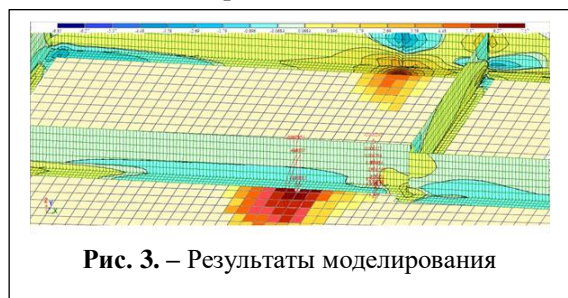


Рис. 3. – Результаты моделирования

На рис. 4 приведены данные оценки частоты собственных колебаний в одной из точек контроля.

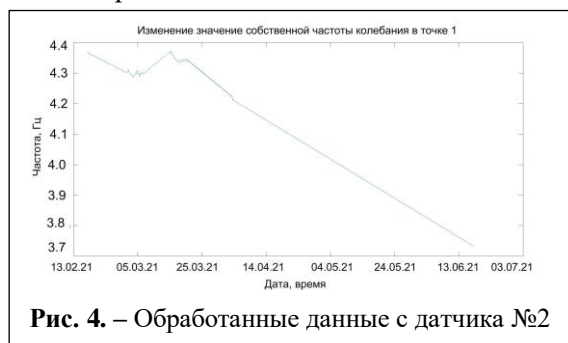


Рис. 4. – Обработанные данные с датчика №2

Развитие деструктивных процессов сопровождалось изменением частоты собственных колебаний и образованием трещин (рис. 5).

### Заключение

Практическая проверка описанного алгоритма позволила выявить тренд снижения

устойчивости геотехнического объекта. Для повышения качества прогнозных оценок необходимо подбирать параметры нейронной сети и расширять обучающую выборку за счет привлечения информации о других инженерно-технических объектах схожего класса.

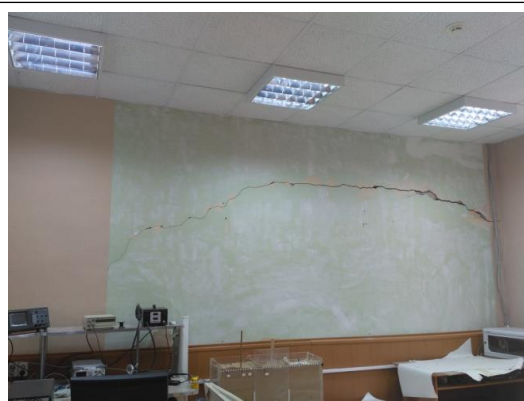


Рис. 5. – Внешние деформации

### Литература

1. Иванова, А.В. Геотехнический мониторинг – основа жизненного цикла зданий и сооружений / А.В. Иванова, Т.А. Соловьева, Т.Ю. Бугакова // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2019. – № 1/6. – С. 214-220;
2. Gryaznova E. Ensuring safe operation of building and structures // XXII International scientific conference: construction the formation of living environment. – 2019. – Vol. 97, P. 1-8;
3. X. Yang and etc. Research of geologic hazards real-time monitoring and early warning // 2014 Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. – 2014. –P. 480-483;
4. AlHamaydeh M., Elayyan L. Impact of diverse seismic hazard estimates on design and performance of Steel Plate Shear Walls buildings in Dubai, UAE // 7th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization. – 2017, P. 1-4;
5. Dorofeev N.V. and etc. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system // IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engin. – 2020. – Vol. 873(1). – P. 1-8
6. Krishbaum D. and etc. The state of remote sensing capabilities of cascading hazards over high mountain Asia// Frontiers in Earth science. – 2019. – Vol. 7. P. 197;
7. Gigin S., Necci A., Krausmann E. Dealing with cascading multi-hazard risks in national risk assessment: The case of Natech accidents // International Journal of Disaster risk reduction. – 2019. – Vol. 35. – No. 101072;

8. Strzalkowski P. Sinkhole formation hazard assessment // Environmental Earth science. – 2019. – Vol. 1/78. – P. 9;
9. Lydia M. Wind resource estimation using wind speed and power curve models // Renewable energy. – 2015. – Vol. 83. – P. 425-434;
10. Tabarsa A. and etc. Unconfined compressive strength prediction of soil stabilized using artificial neural networks and support vector machines // Frontier of Structural and Civil Engineering. – 2021. – Vol. 15. – P. 520-536;
11. Dorofeev N.V. and etc. Algorithm for predicting of the transition of a key point of geodynamic control to the risk zone // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sci. – 2020. – Vol. 548(5). – P. 1-5;
12. Li Z.C. and etc. Material distribution optimization of functionally graded arch subjected to external pressure under temperature rise field // 2019. – Vol. 138. – P. 64-78;
13. Dyniak O., Lavrova N. Effect of vibration loads from subway to geological environment // Conference Proceedings 14th EAGE international conference on geoinformatics – theoretical and applied aspects, geoinformatics. European Association of Geoscientists & Engineers. – 2015. – P. 1–5;
14. Cao J., Chen Z., Wang B. Deep Convolutional networks with superpixel segmentation for hyperspectral image classification // 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – 2016. – P. 3310-3313;
15. He D. and etc. Deep Convolutional Neural Network Framework for Subpixel Mapping // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2020. P. 3032475;
16. Han Z. and etc. Mesh Convolutional Restricted Boltzmann Machines for Unsupervised Learning of Features With Structure Preservation on 3-D Meshes // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2017. – Vol. 10/28. – P. 2268-2281;
17. Wang Q., Huang H. Learning of recurrent convolutional neural networks with applications in pattern recognition // 36th Chinese Control Conference. – 2017. – P. 4135-4139;
18. Zhao W. and etc. Study of UGS Target Recognition Method based on Recurrent Neural Network and Peak Value Region Extraction // IEEE International Conference on Unmanned Systems. – 2019. – P. 773-777.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-1800.2020.8*

**Поступила 08 ноября 2021 г.**

In the work, based on the results of the check, the main control zones were identified during geotechnical monitoring. The application of the monitoring algorithm for three-story observation data revealed a negative trend in changes in the stability structure of the region.

*Key words:* geotechnical, monitoring, system, modeling.

*Дорофеев Николай Викторович* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* dorofeevvnv@yandex.ru

*Адрес:* 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.