

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2024.37.46.057

Прогнозная модель осадки сооружения на основе мониторинга: экономические аспекты

Дрога Андрей Анатольевич

Заместитель начальника,
кафедра информационно-компьютерных технологий
в деятельности органов внутренних дел,
Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина,
308024, Российская Федерация, Белгород, ул. Горького, 71;
e-mail: abullet@rambler.ru

Ковалева Екатерина Геннадьевна

Кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-компьютерных технологий
в деятельности органов внутренних дел,
Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина,
308024, Российская Федерация, Белгород, ул. Горького, 71;
e-mail: kovalevazchs@yandex.ru

Акапьев Виктор Львович

Кандидат педагогических наук, доцент,
кафедра информационно-компьютерных технологий
в деятельности органов внутренних дел,
Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина,
308024, Российская Федерация, Белгород, ул. Горького, 71;
e-mail: akapevvl@yandex.ru

Чижов Илья Александрович

Кандидат юридических наук, доцент,
кафедра информационно-компьютерных технологий
в деятельности органов внутренних дел,
Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина,
308024, Российская Федерация, Белгород, ул. Горького, 71;
e-mail: Chizhov444@rambler.ru

Аннотация

В статье представлены результаты наблюдений за развитием осадок одного из жилых домов, построенного на естественном основании. Контроль деформаций несущих конструкций методом геотехнического мониторинга проводился в здании, требующем реконструкции. Приведены графики развития осадок за период выполнения наблюдений

за природно-технической системой. Длительность и периодичность наблюдений регламентирована нормами с учетом процесса стабилизации деформационных процессов во времени. Современные технологии инженерно-геодезического обследования позволили получить абсолютные и относительные величины осадок с высокой точностью и достоверностью. На основе геотехнического мониторинга получены зависимости, которые характеризуют деформационные процессы, происходящие в исследуемом объекте. Проанализированы результаты наблюдений и рассчитаны средние показатели смещений за период наблюдения. Рассмотрена многофакторная модель, учитывающая влияние внешних погодных факторов на осадку сооружения. Построена аддитивная модель с учетом временной периодичности изменений осадки сооружения. Результаты, полученные при выполнении геотехнического мониторинга исследуемого объекта, положены в основу систематизации массива данных и формирования общей базы наблюдений за осадками здания. Проведено моделирование для прогнозирования геомеханических характеристик объекта. Анализ трендов перемещений дал возможность прогнозировать развитие деформаций на несколько месяцев вперед.

Для цитирования в научных исследованиях

Дрога А.А., Ковалева Е.Г., Акапьев В.Л., Чижов И.А. Прогнозная модель осадки сооружения на основе мониторинга: экономические аспекты // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 11А. С. 516-526. DOI: 10.34670/AR.2024.37.46.057

Ключевые слова

Мониторинг, осадка, фундамент, циклы наблюдений, прогнозная модель, тренд, прогнозирование.

Введение

Современное существование городов невозможно без развития промышленного и гражданского строительства. Строительство различных сооружений безусловно требует освоения новых технологий, а также постоянного контроля за поведением несущих конструкций и окружающей их средой: климатическими, геологическими и гидрогеологическими условиями [Демиденко, 2019]. Необходимо учитывать и параметры окружающей застройки [Романов, 2017]. Увеличение объема строительства, высокая сложность объектов, тесная застройка, сложная категория инженерно-геологических условий - все это заставляет всерьез обратить внимание на контроль обеспечения геотехнической безопасности всего объекта. В связи с этим возникает необходимость геотехнического мониторинга строительных объектов с последующим применением его данных для прогнозирования развития деформаций во времени посредством методов математического моделирования [Kuzichkin, Kamshilin, 2016; Орехов, Дорофеев, 2018].

Сооружение воздействует на грунт через фундамент, создавая при этом, как правило, распределенную нагрузку, приложенную к основанию. Это вызывает деформационные процессы в грунте, усложненные действием внешних климатических, гидрологических и геодинамических факторов, приводящие к осадке фундамента и приповерхностной зоны среды вокруг него. Контроль за деформационными процессами в грунтах в основании сооружений согласно нормативным документам должен производиться, как в ходе подготовки и проведения

строительных работ, так в период всего срока эксплуатации сооружений [Дорофеев, Романов, 2018; Дорофеев, Кузичкин, Еременко, 2016]. При этом для измеряемых геотехнических параметров применяются расчетные нормы, в пределах которых обеспечивается нормальная эксплуатация сооружения и не наблюдаются ненормированные изменения параметров, влияющие на срок эксплуатации сооружения.

Целью математического моделирования в прогнозировании деформаций зданий и сооружений является получение математических моделей, позволяющих дать оценку возможного развития деформаций, выявить закономерности этого развития.

Материалы и методы

Объектом исследований являлась конструкция отдельно стоящего двухэтажного здания жилого кирпичного дома. Обследование задания выполнено для определения технического состояния фундамента здания, технического состояния основных конструктивных элементов и определения их несущей способности, фиксации существующих деформаций и дефектов здания [Илькив, 2018]. Необходимость обследования связана с предстоящей реконструкцией здания.

В связи с изменением технологии устройства фундамента жилого здания был обеспечен геотехнический мониторинг за осадкой здания с отметки строительного нуля. Для наблюдений за осадками была создана измерительная сеть. Всего с 01.10.2022 года по 01.10.2023 года было выполнено 13 циклов наблюдений. Для формирования прогнозных оценок нами была применена прогнозная модель влияния геомеханических параметров на геотехнические характеристики объекта, такие как просадка здания и угловые изменения основных несущих конструкций объекта контроля - в данном случае фундамента здания.

Для измерения осадок сооружения в нижней части несущих конструкций по всему периметру здания были установлены деформационные марки. В качестве контрольных точек (деформационных реперов) использовались: - люк канализационной камеры; - подошва фундаментов железобетонного забора. В качестве исходного репера использовался стеной репер рядом стоящего здания. Для измерения вертикальных перемещений оснований фундаментов использовался метод геометрического нивелирования.

Основная часть

В результате обработки поступающей информации были получены зависимости, которые характеризуют деформационные процессы, происходящие в наблюдаемом объекте - «грунтовое основание - фундамент - сооружение».

Обозначим осадок фундамента в момент t_i , фиксируемый деформационным репером j через $S_j(t_i)$. Введены условные обозначения времени, где $t_1=1$ соответствует дате 01.10.2023 г. Интервал между измерениями составляет 1 месяц. В рассматриваемом случае $i=1...n$, $j=1...m$, где $n=13$, $m=6$.

Для анализа результатов наблюдений были рассчитаны средние показатели:

- среднее смещения за период наблюдений, зафиксированных j – м деформационным репером:

$$\bar{S}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_j(t_i) \quad (1)$$

- среднее смещение, зафиксированное в момент t_i со всех деформационных реперов j :

$$\bar{S}(t_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_j(t_i) \quad (2)$$

- общее среднее смещение:

$$\langle S \rangle = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_j(t_i) \quad (3)$$

За весь период наблюдений оно составило: $\langle S \rangle = -0,01167$ см.

Анализ результатов наблюдений показал, что наибольшие смещения составило 0,08 см. (3 раза), а наименьшее -0,08 см. (7 раз).

На рисунке 2 приведена динамика среднего смещения (2) деформационных реперов $j=1, \dots, 13$ соответственно за период наблюдений.

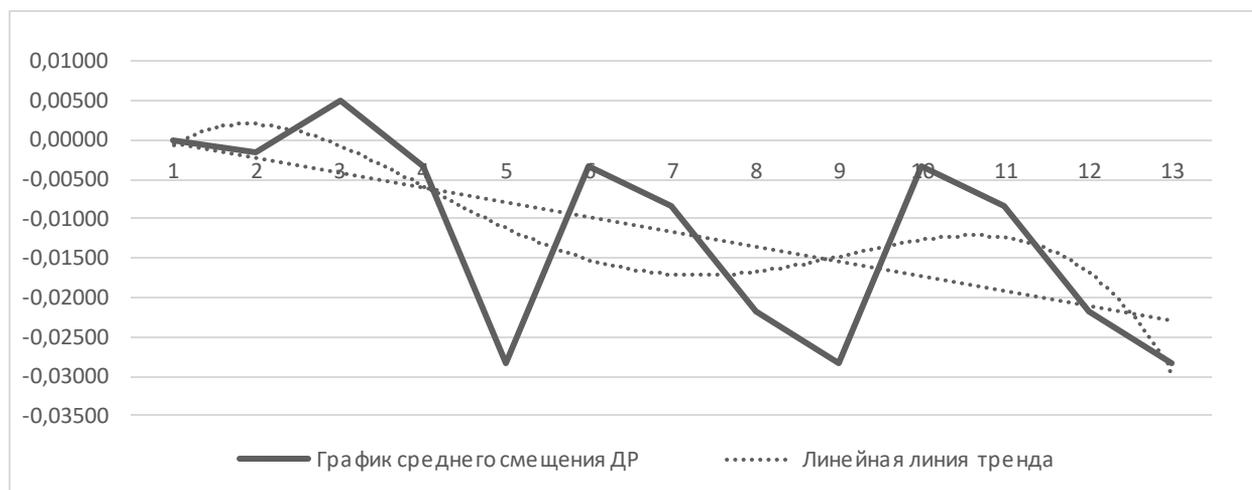


Рисунок 2 - Среднее зафиксированное смещение

Наибольший интервал изменения смещений составил 0,16 см. (зафиксирован вторым деформационным репером), а наименьший интервал изменения смещений составил 0,08 см. (зафиксирован первым деформационным репером). Это означает, что изменение амплитуды временных колебаний смещений составляет 0,08 см. Наибольшее среднее смещение за период наблюдений составило 0,009231 см. (по наблюдениям за деформационным репером $j=2$), а наименьшее – 0,0238 см. (по наблюдениям за деформационным репером $j=6$).

Большинство зависимостей смещения с течением времени характеризуются тремя максимумами и тремя минимумами. Последняя пара экстремумов и временная зависимость демонстрируют формирование периодической зависимости.

Для результатов наблюдений, фиксированных каждым датчиком, рассчитаны линии трендов двух видов:

- линейный тренд

$$S_j(t_i) = a_j + b_j t_i \quad (4)$$

- полиномиальный тренд (полином степени k)

$$S_j(t_i) = \sum_{l=0}^k \alpha_j^{(l)} t_i^l \quad (5)$$

Для каждой линии тренда коэффициенты и величины достоверности аппроксимации R_j^2 приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Коэффициенты линейного тренда

№ деформационного репера, j	a_j	b_j	Достоверность аппроксимации R_j^2
1	-0,0185	-0,0007	0,0156
2	0,0304	-0,003	0,0479
3	-0,0073	-0,0019	0,0248
4	-0,0208	0,0023	0,0649
5	0,0308	-0,0054	0,3019
6	-0,0058	-0,0026	0,1178
Среднее	0,0015	-0,0019	0,3608

Величина b_j имеет смысл скорости осадки в модели линейного тренда. Поскольку они, в своем большинстве, отрицательны – это свидетельствует о том, что происходит усадка фундамента с течением времени.

Таблица 2 - Коэффициенты полиномиального тренда

№ ДР j	$\alpha_j^{(0)}$	$\alpha_j^{(1)}$	$\alpha_j^{(2)}$	$\alpha_j^{(3)}$	$\alpha_j^{(4)}$	$\alpha_j^{(5)}$	$\alpha_j^{(6)}$	Достоверность аппроксимации R_j^2
1	-0,1799	0,3376	-0,2046	0,0528	-0,0066	0,0004	$0,9 \cdot 10^{-5}$	0,6113
2	0,2979	-0,5828	0,3692	-0,0998	0,013	0,0008	$0,2 \cdot 10^{-4}$	0,3169
3	0,0324	-0,0303	0,0048	0,0002	-	-	-	0,0643
4	-0,2413	0,4569	-0,2887	0,079	-0,0105	0,0007	$-0,2 \cdot 10^{-4}$	0,4679
5	-0,1043	0,1344	-0,0389	0,004	-0,0001	-	-	0,5726
6	0,1535	-0,2595	0,1427	-0,0367	0,0047	-0,0003	$0,7 \cdot 10^{-5}$	0,2197
Среднее	-0,0126	0,0178	-0,0067	0,0008	$-0,3 \cdot 10^{-4}$	-	-	0,4939

Анализ результатов вычислений трендов показал, что для большинства временных рядов (по данным, зафиксированных 1, 2, 4, 6 деформационными реперами) наилучшие линии тренда определяются полиномами 6-й степени ($k=6$). Для временного ряда, зафиксированного 3-м деформационным репером, для наилучшей аппроксимации линии тренда достаточно выбрать полином 3-й степени ($k=3$). Для временных рядов, полученных по данным, зафиксированным 5 деформационным репером и усредненной зависимости (2), наилучшие линии тренда определяются полиномами 4-й степени ($k=4$). В целом, судя по величинам достоверности аппроксимации, полиномиальные тренды (5) демонстрируют более адекватное описание

результатов наблюдений, чем линейные тренды (4).

Следует отметить, что часто учитывают влияние факторов окружающей среды, например таких, как температура воздуха, на состояние сооружений [Кузичкин, Цаплев, 2017].

Рассмотрим многофакторную модель, учитывающую влияние внешних погодных факторов на осадку сооружения. В качестве внешних факторов окружающей среды выберем относительную влажность (%), атмосферное давление P (мм ртутного столба), температуру T ($^{\circ}\text{C}$). Тогда трехфакторная модель будет иметь вид:

$$S = f(\varphi, P, T) \quad (6)$$

Выберем линейную модель, уравнение которой будет иметь вид:

$$S = b_{\varphi} \cdot \varphi + b_P \cdot P + b_T \cdot T + a \quad (7)$$

где a , b_{φ} , b_P , b_T – коэффициенты множественной регрессии.

Были рассчитаны межфакторные парные коэффициенты корреляции:

- 1) коэффициент корреляции между влажностью и давлением равен $r_{\varphi P} = -0,527601496$;
- 2) коэффициент корреляции между влажностью и температурой равен $r_{\varphi T} = -0,135179279$;
- 3) коэффициент корреляции между давлением и температурой равен $r_{PT} = -0,398916715$.

Все межфакторные коэффициенты корреляции являются отрицательными, что свидетельствуют об обратной (отрицательной) связи между парами всех факторов. На основании стандартной шкалы Чеддока можно утверждать, что в течение периода наблюдений связь между влажностью и давлением является заметной (средней), связь между температурой и давлением является умеренной, связь между температурой и влажностью является слабой.

Были рассчитаны парные коэффициенты корреляции:

- 1) коэффициент корреляции между влажностью и осадкой сооружения равен $r_{S\varphi} = 0,116206$;
- 2) коэффициент корреляции между осадкой и температурой сооружения равен $r_{ST} = 0,223351$;
- 3) коэффициент корреляции между давлением и осадкой сооружения равен $r_{SP} = -0,277542$.

Парные коэффициенты корреляции осадки сооружения и влажности и осадки сооружения и температуры являются положительными, что свидетельствуют о прямой (положительной) связи. Парный коэффициент корреляции осадки сооружения и давления является отрицательным, что свидетельствуют об обратной (отрицательной) связи между осадкой сооружения и давлением. На основании стандартной шкалы Чеддока можно утверждать, что в течение периода наблюдений связи между осадкой сооружения и рассматриваемыми факторами окружающей среды являются слабыми.

Для учета в прогнозной модели изменения осадок сооружения с течением времени предлагается использовать аддитивную модель аппроксимации временного ряда. Обозначим периодическую компоненту S_p и компоненту тренда S_T .

В качестве тренда следует выбрать модель вида (4) для усреднённой осадки сооружения (рис. 2) которую представим в виде:

$$S_T(t) = a + bt \quad (8)$$

Компоненты линейного тренда (1.6) были рассчитаны МНК и приведены в таблице 2 (седьмая строка).

В качестве периодичной (сезонной) компоненты выберем модель гармонических колебаний:

$$S_P(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

где A – амплитуда периодичной компоненты;

ω – её циклическая частота, связанная с периодом сезонных колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega};$$

φ – фаза периодичной компоненты.

Таким образом аддитивная модель, учитывающая периодические изменения осадки сооружения с течением времени, записывается в виде:

$$S(t) = S_P(t) + S_T(t) \quad (10)$$

которая с учётом (8) и (9) примет вид:

$$S(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + a + bt \quad (11)$$

Были вычислены МНК коэффициенты периодической компоненты:

$A=0,015$; $\omega = 1,667$; $\varphi = 1,275$.

График аддитивной модели (11) приведен на рисунке 3.

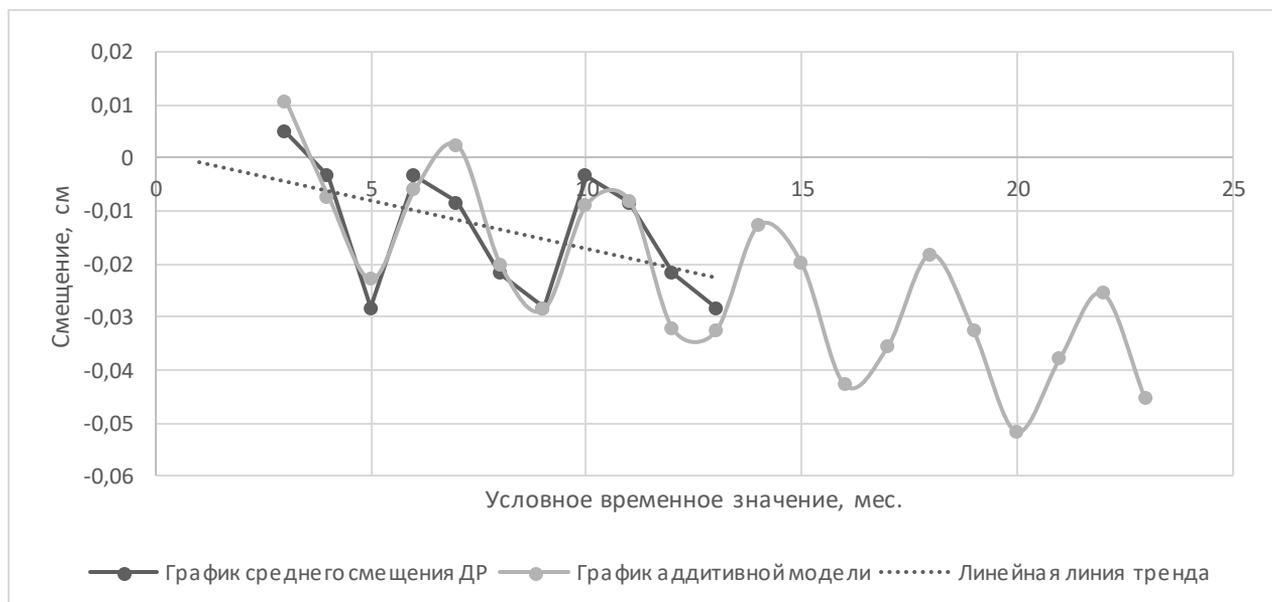


Рисунок 3 - Аддитивная модель с учетом временной периодичности

Из сравнения величин достоверности аппроксимации следует, что предложенная аддитивная модель (11) наилучшим образом, по сравнению с простой линейной и полиномиальной моделями, описывает результаты наблюдений за динамикой осадок сооружений. Следовательно, для прогнозирования осадки сооружения наилучшим образом подходит аддитивная модель (11). На рисунке 3 теоретическая кривая (11) продолжена на 10 условных циклов.

Прогноз с 95% надежностью для $t=23$, что соответствует дате 01.08.2024, осадка сооружения составляет $S_{cp}(t_{23}) = -0,0453 \pm 0,0268$, то есть с вероятностью 0,95 она будет находиться в интервале $(-0,0721; -0,01855)$. По сравнению с первоначальной осадкой $S_{cp}(t_2) = -0,0016$, прогнозная осадка увеличилась в 27 раз. Это означает, что необходимо начать реконструкцию жилого здания до конца 2024 года.

Заключение

В статье было проведено моделирование с целью создания прогнозной модели для жилого здания, которое подлежит реконструкции. Рассчитаны средние значения смещений и межфакторные коэффициенты корреляции. Предложена многофакторная модель, учитывающая влияние внешних погодных условий на осадку здания. Также была разработана аддитивная модель, которая принимает во внимание временные колебания изменений осадки сооружения. В результате составлен прогноз осадки жилого здания, который указывает на необходимость его реконструкции в 2024 году.

Библиография

1. Демиденко А.Г. Современные технологии для обработки данных инженерно-геологических изысканий // Инженерные изыскания. - М.: изд-во Геомаркетинг, 2019. - с. 64-68.
2. Романов Р.В. Использование географической информационной системы для геодинамического прогнозирования на локальном уровне // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: Электронный научный журнал / под ред. С.С. Садыкова, Д.Е. Андрианова. Вып. 2 (27). - Муром: Муромский институт (филиал) ВлГУ, 2017. С. 23-28.
3. Kuzichkin O.R., Kamshilin A.N. Method of data processing for geoelectric monitoring // 4-th International Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology. - Nice, France: 2016. - P. 88-89.
4. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Информационно-измерительная система для проведения геоэлектрического контроля геодинамических объектов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №2, 2018 - С. 60-62.
5. Дорофеев Н.В., Романов Р.В. Получение прогнозных оценок изменений параметров геологической среды при комплексной обработке распределённых данных // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 5 (57). С. 25.
6. Дорофеев, Н.В., Кузичкин О.Р., Еременко В.Т. Обработка информации геодинамического мониторинга на основе данных географических информационно-аналитических систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 3 (129). С. 9-15.
7. Илькин В.Р. Геотехнический мониторинг: цели и задачи, необходимое оборудование // Новые технологии - нефтегазовому региону. Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. С. 183-185.
8. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Температурная коррекция результатов геомониторинговых исследований на основе параметрических моделей сред // Проектирование и технология электронных средств. 2017. №2. - С.39-43.
9. Греченева А.В., Дорофеев Н.В., Еременко В.Т., Кузичкин О.Р., Романов Р.В. Алгоритмы автоматизированного позиционирования в системе инклинометрического контроля при геотехническом мониторинге // Информационные системы и технологии. 2019. № 5 (115). С. 59-66.
10. Alekseev A., Shilova L., Mefedov E. An approach for automatization of geotechnical monitoring in cryolithozone // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020. С. 012080.

11. Dorofeev N.V., Grecheneva A.V., Romanov R.V., Pankina E.S. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1. Ser. «1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies, ИЕТ 2020» 2020. С. 012030.
12. Gryaznova E. Piled raft foundation assessment based on geotechnical monitoring results // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019. 2020. С. 012060.
13. Gairabekov I.G., Kaimov S.S.-E., Mishieva A.T., Ibragimova E.I., Gairabekov M.-B.I., Gayrabekova A.I. Geotechnical monitoring // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3, Applied and Fundamental Research Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Abdul-Hamid Mahmoudovich Bisliyev. Ser. «3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences, ISEES 2020» 2020. С. 012026.
14. Новиков Ю.А., Краев А.Н. Геодезические наблюдения за осадками здания в рамках проведения геотехнического мониторинга // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2019. Т. 24. № 1. С. 28-41.
15. Саламатина Ю.Ф. Выполнение измерений при геотехническом контроле деформаций эксплуатируемого здания // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Сборник статей. Самарский государственный технический университет. Самара, 2019. С. 278-282.

Predictive Model of Structure Settlement Based on Monitoring: Economic Aspects

Andrei A. Droga

Deputy Head,
Department of Information and Computer Technologies in the Activities of Internal Affairs Bodies,
Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin,
308024, 71 Gorkogo str., Belgorod, Russian Federation;
e-mail: abullet@rambler.ru

Ekaterina G. Kovaleva

PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Department of Information and Computer Technologies in the Activities of Internal Affairs Bodies,
Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin,
308024, 71 Gorkogo str., Belgorod, Russian Federation;
e-mail: kovalevazchs@yandex.ru

Viktor L. Akap'ev

PhD in Pedagogical Sciences,
Associate Professor,
Department of Information and Computer Technologies in the Activities of Internal Affairs Bodies,
Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin,
308024, 71 Gorkogo str., Belgorod, Russian Federation;
e-mail: akapevvl@yandex.ru

Il'ia A. Chizhov

PhD in Juridical Sciences, Associate Professor,
Department of Information and Computer Technologies in the Activities of Internal Affairs Bodies,
Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin,
308024, 71 Gorkogo str., Belgorod, Russian Federation;
e-mail: Chizhov444@rambler.ru

Abstract

The article presents the results of observations on the development of settlements in one of the residential buildings built on a natural foundation. Control of deformations of load-bearing structures using geotechnical monitoring was carried out in a building requiring reconstruction. Graphs of settlement development over the period of observations of the natural-technical system are provided. The duration and frequency of observations are regulated by standards, taking into account the process of stabilization of deformation processes over time. Modern technologies of engineering and geodetic surveys made it possible to obtain absolute and relative values of settlements with high accuracy and reliability. Based on geotechnical monitoring, dependencies characterizing the deformation processes occurring in the studied object were obtained. The results of observations were analyzed, and average displacement indicators for the observation period were calculated. A multifactor model considering the influence of external weather factors on the settlement of the structure was examined. An additive model was constructed, taking into account the temporal periodicity of changes in the settlement of the structure. The results obtained during the geotechnical monitoring of the studied object formed the basis for systematizing the data array and creating a general database of observations of the building's settlements. Modeling was carried out to predict the geomechanical characteristics of the object. Analysis of displacement trends made it possible to predict the development of deformations several months in advance.

For citation

Droga A.A., Kovaleva E.G., Akap'ev V.L., Chizhov I.A. (2024) Prognoznaia model' osadki sooruzheniia na osnove monitoringa: ekonomicheskie aspekty [Predictive Model of Structure Settlement Based on Monitoring: Economic Aspects]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (11A), pp. 516-526. DOI: 10.34670/AR.2024.37.46.057

Keywords

Monitoring, settlement, foundation, observation cycles, predictive model, trend, forecasting.

References

1. Demidenko A.G. Modern technologies for processing engineering and geological survey data [Sovremennye tekhnologii dlya obrabotki dannyh inzhenerno-geologicheskikh izyskaniij] Engineering surveys. - M.: Geomarketing Publishing House, 2019. - P. 64-68.
2. Romanov R.V. The use of geographical information system for geodynamic forecasting at the local level [Ispol'zovanie geograficheskoi informacionnoi sistemy dlya geodinamicheskogo prognozirovaniya na lokal'nom urovne] Algorithms, methods and systems of data processing: Electronic scientific journal / ed. by S.S. Sadykov, D.E. Andrianov. Issue 2 (27). - Murom: Murom Institute (branch) of the VISU, 2017. P. 23-28.
3. Kuzichkin O.R., Kamshilin A.N. Method of data processing for geoelectric monitoring // 4-th International Workshop on Magnetic, Electric and Electromagnetic Methods in Seismology and Volcanology. - Nice, France: 2014. - P. 88-89.

4. Orekhov A. A., Dorofeev N. V. Information and measurement system for conducting geoelectric control of geodynamic objects [Informacionno-izmeritel'naya sistema dlya provedeniya geoelektricheskogo kontrolya geodinamicheskikh ob"ektov] Radio Engineering and telecommunications systems, № 2, 2012- P. 60-62.
5. Dorofeev N.V., Romanov R.V. Obtaining forecast estimates of changes in the parameters of the geological environment in the complex processing of distributed data. [Poluchenie prognoznyh ocenok izmenenij parametrov geologicheskoy sredy pri kompleksnoj obrabotke raspredelyonnyh dannyh] 2018. № 5 (57). P. 25.
6. Dorofeev, N. V., Kuzichkin, O. R., Eremenko, V. T. Processing of geodynamic monitoring information based on geographical information and analytical systems data [Obrabotka informacii geodinamicheskogo monitoringa na osnove dannyh geograficheskikh informacionno-analiticheskikh sistem] Bulletin of Computer and Information Technologies. 2015. №3 (129). P. 9-15.
7. Ilkiv V.R. Geotechnical monitoring: goals and objectives, necessary equipment [Geotekhnicheskij monitoring: celi i zadachi, neobhodimoe oborudovanie // Novye tekhnologii - neftegazovomu regionu] New technologies - oil and gas region. Materials of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. 2018. pp. 183-185.
8. Kuzichkin O.R., Tsaplev A.V. Temperature correction of the results of geomonitoring studies based on parametric models of media [Temperaturnaya korekciya rezultatov geomonitoringovyh issledovanij na osnove parametricheskikh modelej sred] Design and technology of electronic means. 2007. №2. - P. 39-43.
9. Grecheneva A.V., Dorofeev N.V., Eremenko V.T., Kuzichkin O.R., Romanov R.V. Algorithms of automated positioning in the system of inclinometric control in geotechnical monitoring [Algoritmy avtomatizirovannogo pozicionirovaniya v sisteme inklinometricheskogo kontrolya pri geotekhnicheskome monitoringe] Information systems and Technologies. 2019. No. 5 (115). pp. 59-66.
10. Alekseev A., Shilova L., Mefedov E. An approach for automatization of geotechnical monitoring in cryolithozone // IOP conference series: Materials science and engineering. 2020. C. 012080.
11. Dorofeev N.V., Grecheneva A.V., Romanov R.V., Pankina E.S. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1. Ser. «1st International Conference on Innovative Informational and Engineering Technologies, IJET 2020» 2020. C. 012030.
12. Gryaznova E. Piled raft foundation assessment based on geotechnical monitoring results // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019. 2020. C. 012060.
13. Gairabekov I.G., Kaimov S.S.-E., Mishieva A.T., Ibragimova E.I., Gairabekov M.-B.I., Gayrabekova A.I. Geotechnical monitoring // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3, Applied and Fundamental Research Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Abdul-Hamid Mahmoudovich Bisliyev. Ser. «3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences, ISEES 2020» 2020. C. 012026.
14. Novikov Yu.A., Kraev A.N. Geodesic observations of building sediments within the framework of geotechnical monitoring [Geodezicheskie nablyudeniya za osadkami zdaniya v ramkah provedeniya geotekhnicheskogo monitoringa] Vestnik SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies). 2019. Vol. 24. No. 1. pp. 28-41
15. Salamatina Yu.F. Performance of measurements at geotechnical control of deformations of the operated building [Vypolnenie izmerenij pri geotekhnicheskome kontrole deformacij ekspluatiruemogo zdaniya] Traditions and innovations in construction and architecture. Construction. Collection of articles. Samara State Technical University. Samara, 2019. pp. 278-282.