

Received: 31.10.2025

Revised: 05.12.2025



Accepted: 12.12.2025



DOI: 10.17804/2410-9908.2025.6.068-079

ASSESSMENT OF THE DEFORMED STATE OF FOUNDATION SOIL FROM THE CRACK DISTRIBUTION PATTERN

V. V. Yepin^a and V. V. Korepanov^{b, *}

*Institute of Continuous Media Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
1 Akademika Koroleva St., Perm, 614013, Russia*

^a  <https://orcid.org/0000-0001-5625-2678>  epin.v@icmm.ru;

^b  <https://orcid.org/0009-0007-5224-820X>  kvv@icmm.ru

*Corresponding author. Email: kvv@icmm.ru

Address for correspondence: ul. Ak. Koroleva, 1, Perm, 614013, Russia

Tel.: +7 (342) 237-8330

This paper proposes an assessment of the type of the strain state of subsurface soil from the distribution pattern of defects in buildings. The presented mathematical model of the *brick-wall–soil–foundation* system is used to perform calculations with two types of boundary conditions characteristic of subsurface soil zones. The first type specifies uneven vertical settlements of the soil foundation, while the second specifies tensile deformations of the soil foundation. Besides, using crack distribution data, the paper quantitatively describes the deformations of different parts of two buildings on subsurface soil. The experimentally obtained deformation pattern is compared with the results of numerical simulation. The analysis of this comparison has allowed us to determine which of the two types of the strain state of soil foundation is closer to the case under study. Thus, it is possible to make a rapid assessment of the soil deformation pattern judging by the building's external appearance.

Keywords: subsurface areas, vertical settlements, brick wall, soil foundation, numerical simulation

Acknowledgment

The work was performed under the state assignment, theme No. 124020700047-3.

References

1. Kashevarova, G.G., Vorobyev, A.V., and Faizov, I.N. Numerical modeling to assess the carrying capacity of panel buildings on undermined areas. *Vestnik IzhGTU*, 2013, 4 (60), 126–130. (In Russian).
2. Ermakov, V.V. and Patrakov, A.N. Monitoring of load-bearing structures of residential buildings constructed on subsidence areas without structural protection measures. *Vestnik Permskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Stroitelstvo i Arkhitektura*, 2010, 1, 63–71. (In Russian).
3. Gorbunova, N.N., Tereshin, A.A., Shilkin, D.V., and Mirkushov, O.Yu. Monitoring vertical movements of structures in the zone of influence of construction works. *Marksheyderskiy Vestnik*, 2021, 1 (140), 39–43. (In Russian).
4. Usanov, S.V. and Konovalova, Yu.P. Accidental buildings' deformations during construction deriving tunnels in urbanized territories. *Problemy Nedropolzovaniya*, 2016, 4 (11), 104–110. (In Russian).

5. Panzhin, A.A. and Panzhina, N.A. Deformation monitoring of the impact of metro construction on buildings and structures. In: *Trudy VI Mezhdunarodnoy konferentsii "Proektirovanie, stroitelstvo i ekspluatatsiya kompleksov podzemnykh sooruzheniy"* [The 6th International Conference on Design, Construction, and Operation of Underground Structures, Ekaterinburg, April 10–11, 2019]. UGGU Publ., Ekaterinburg, 2019, pp. 4–10. (In Russian).
6. Lyskov, I.A., Musikhin, V.V., and Kashnikov, Yu.A. Monitoring of surface deformation processes by radar interferometry. *Nedropolzovanie*, 2010, 5, 11–16. (In Russian).
7. Nesova, A.V., Shestavin, N.S., and Kharkhordin, E.V. Possibilities of studying shifts and sitting rocks over the worked space of the mines of the city of Donetsk. *Vestnik LGU im. V. Dalya*, 2021, 5, 155–160. (In Russian).
8. Isaev, Yu.S., Lebedev, M.O., Mikhailov, V.O., Smolyaninova, E.I., Timoshkina, E.P., Dmitriev, P.N., and Khairuddinov, S.A. Defining the Earth surface displacements using the radar satellite interferometry methods: practical experience and application prospects. In: *Proektirovanie, stroitelstvo i ekspluatatsiya podzemnykh sooruzheniy transportnogo naznacheniya* [Lebedev M.O., ed. Designing, Construction and Operation of Underground Transport Facilities: Collected Works]. Pero Publ., Moscow, 2021, pp. 106–117. (In Russian).
9. Dudnikov, V.Yu., Vlasov, A.S., and Lanina, T.D. Monitoring of the Earth's surface in the areas of intensive subsoil use on the basis of the method of satellite radar interferometry. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*, 2022, 2, 54–59. (In Russian). DOI: 10.17513/use.37778.
10. Obyskalova, E.A. Analysis of methods of geodetic monitoring of deformations of the Earth's surface at the Tevriz gas condensate field (Omsk region). In: *Molodezh i nauka 2023* [Youth and Science 2023, Petrozavodsk, August 30, 2023: Proceedings]. Novaya Nauka Publ., Petrozavodsk, 2023, pp. 40–50. (In Russian).
11. Golubev, P.M. and Bardakova, E.A. Method for predicting ground subsidence in case of flooding with water production workings in abandoned coal mines. *Zhurnal Teoreticheskoy i Prikladnoy Mekhaniki*, 2022, 2 (79), 39–45. (In Russian). DOI: 10.24412/0136-4545-2022-2-39-45.
12. Maklakov, A.S. Geodynamic satellite-based GPS monitoring of the soil mass of inhabited territories situated on undermined or backfilled areas. In: *Innovatsionnye issledovaniya: opyt, problemy vnedreniya rezultatov i puti resheniya* [International Academic and Research Conference on Innovative Research (Experience, Result Implementation Problems, and Solution Ways), Ufa, October 19, 2024: Proceedings]. Agentstvo Mezhdunarodnykh Issledovaniy Publ., Sterlitamak, 2024, pp. 65–70. (In Russian).
13. Samsonov, S. and Baryakh, A. Estimation of deformation intensity above a flooded potash mine near Berezniki (Perm Krai, Russia) with SAR interferometry. *Remote Sensing*, 2020, 12 (19), 3215. DOI: 10.3390/rs12193215.
14. Gusev, G.N. and Korepanov, V.V. The features of the deformation behavior of reinforced masonry structures under technogenic impact in subsided areas. *Diagnosics, Resource and Mechanics of materials and structures*, 2024, 6, 131–142. DOI: 10.17804/2410-9908.2024.6.131-142. Available at: http://dream-journal.org/issues/2024-6/2024-6_476.html
15. SP 15.13330.2020. (In Russian).
16. Menétrey, P. and Willam, K. Triaxial failure criterion for concrete and its generalization. *ACI Structural Journal*, 1995, 92 (3), 311–318. DOI: 10.14359/1132.
17. Razvodovsky, D.E. Allowable deformations of the existing buildings. *Vestnik NITs Stroitelstvo*, 2017, 2 (13), 106–121. (In Russian).
18. Ivanova, L.A. and Sazhnev, V.P. Analysis of the deformed state of buildings during mining on mesorelief slopes. *Trudy RANIMI*, 2, 3 (41), 34–46. (In Russian).

Подана в журнал: 31.10.2025



УДК 004.942, 69.04



DOI: 10.17804/2410-9908.2025.6.068-079

ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТА В ОСНОВАНИИ ЗДАНИЯ ПО КАРТИНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИН

В. В. Епин^а, В. В. Корепанов^б, *

*«Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» –
филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследова-
тельского центра Уральского отделения Российской академии наук,
ул. Академика Королева, 1, г. Пермь, 614013, Россия*

^а  <https://orcid.org/0000-0001-5625-2678>  epin.v@icmm.ru;

^б  <https://orcid.org/0009-0007-5224-820X>  kvv@icmm.ru

*Ответственный автор. Электронная почта: kvv@icmm.ru

Адрес для переписки: ул. Академика Королева, 1, г. Пермь, 614013, Россия

Тел.: +7 (342) 237-83-30

В работе предложена оценка вида деформационного состояния подрабатываемого грунта по картине распределения дефектов на зданиях. На основе представленной математической модели системы «кирпичная стена – грунтовое основание» проведены расчеты с двумя видами граничных условий, характерных для зон подработки. Первый вид – задание неравномерных вертикальных осадок грунтового основания, второй вид – задание растягивающих деформаций грунтового основания. Также в работе проведено количественное описание деформаций разных частей двух зданий на подработке на основе данных о картине распределения трещин. Характер деформаций, полученный экспериментально, сравнивается с результатами численного моделирования. Анализ сравнения позволил определить, к какому из двух типов деформированного состояния грунтового основания ближе рассматриваемый случай. Таким образом, можно по внешнему виду здания проводить экспресс-оценку характера деформирования грунтового массива.

Ключевые слова: подработанные территории, вертикальные осадки, кирпичная стена, грунтовое основание, численное моделирование

1. Введение

В связи с техногенными воздействиями, связанными с добычей ископаемых и выемкой руды из недр, особенно актуальными становятся исследования, проводимые на подрабатываемых территориях в потенциально опасных районах сдвижения и оседания земной поверхности, в частности на территории г. Березники [1–2]. В рамках таких проводимых исследований рассматриваются жилые панельные пятиэтажные здания типовой серии 1-468А, находящиеся в потенциально опасной зоне сдвижения земной поверхности [1]. Для оценки несущей способности зданий и прогнозирования развития процесса деформирования применялось численное моделирование и программный комплекс Ansys. В результате проведенных вычислительных экспериментов выявлены наиболее нагруженные стыки панелей и перекрытий в зависимости от расположения здания относительно мульды сдвижения. Особое внимание уделяется мониторингу зданий, расположенных на подработанных территориях [2]. Дана техническая оценка зданий на основе детального обследования. Изложен алгоритм проведения мониторинга зданий на подработанной территории.

Большое число работ посвящено деформационному мониторингу земной поверхности с целью прогнозирования осадков и смещений грунтового массива, что может приводить к критическим деформациям зданий, находящихся на этих грунтовых массивах.

Случаи возникновения аварийных деформаций зданий при строительстве подземных горных выработок метрополитена рассмотрены в работах [3–5]. Обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности объектов, находящихся в зоне работ строительства метрополитена, рассмотрено в работе [3]. Построенная в работе [3] геомеханическая модель позволяет найти наиболее опасные зоны деформации сооружений. В работе [4] приведен анализ результатов инструментальных геодезических наблюдений за деформациями поверхности и зданий при строительстве тоннелей метрополитена в г. Екатеринбурге, в результате которого установлен блочный характер деформирования горного массива и выявлены общие закономерности развития деформаций вдоль трассы тоннелей. В работе [5] выделены основные факторы, связанные с формированием мульды сдвижения и деформации поверхности. Приведены геомеханическая модель и методика расчета сдвижений земной поверхности и массива горных пород. Исследования в работе [5] проводились с использованием методов спутниковой геодезии GPS для контроля изменений напряженно-деформированного состояния и методов наземного лазерного сканирования для контроля геометрических элементов зданий и сооружений. Для выявления и исследования оседаний земной поверхности достаточно широкое распространение получили методы радарной и спутниковой интерферометрии [6–9]. Анализ оседаний территории г. Березники методом площадной интерферометрии представлен в работе [6], а в работе [7] рассматривается возможность использования метода радарной интерферометрии для определения состояния поверхности Земли из-за возможных сдвигов и проседаний горных пород в результате добычи угля и полезных ископаемых. С помощью спутниковой интерферометрии в работе [8] выполняется мониторинг деформаций земной поверхности и сооружений на оползневых склонах, рассмотрено влияние строительства объектов транспортной инфраструктуры на территории города Санкт-Петербурга. В работе [9] приводится пример итогов использования метода радиолокационной спутниковой интерферометрии для мониторинга подрабатываемой территории уникального Ярегского месторождения высоковязкой нефти, извлекаемой шахтным методом. Методы геодезического мониторинга деформации земной поверхности на Тевризском газоконденсатном месторождении рассматриваются в работе [10]. Результаты исследований состояния зданий на горных отводах шахт, особенности расчета трубопроводов на устойчивость, зависимости оседаний земной поверхности от глубины затопливаемых горных выработок представлены в работе [11].

В целях контроля сдвижения земной поверхности в г. Березники проводится описание обследования типовых зданий и исследования по геодезическому и геофизическому мониторингу всего грунтового массива с применением высокоточных спутниковых GPS-приемников и сейсмодеформационного мониторинга с помощью станций акселерометрии и наклонометрии [12]. Для оперативного реагирования на последствия негативного влияния затопленных горных выработок рудника БКПРУ-1 на подработанные объекты Горным институтом (ГИ) УрО РАН выполняются инструментальные наблюдения за вертикальными и горизонтальными смещениями земной поверхности [13]. Система контроля состоит из 53 наблюдательных станций, включающих профильные линии, грунтовых и ственных реперов. По 22 профильным линиям проводится полный комплекс наблюдений – измерения вертикальных и горизонтальных смещений реперов. Периодичность наблюдений определяется в зависимости от скорости оседаний и значимости объектов, расположенных вблизи профильных линий. Вместе с этим ГИ УрО РАН проводит обследования жилых домов г. Березники, находящихся на подработанной территории, с целью выявления дефектов в исследуемых зданиях.

Таким образом, в большинстве работ проводится мониторинг зданий или земной поверхности с целью проследить эволюцию основных параметров, которые позволяют оценить их деформационное состояние. Однако важно рассматривать здания, находящиеся на

подрабатываемых территориях, вместе с грунтовым основанием, т. е. в системе «здание – грунтовое основание», и вместе с этим оценивать деформированное состояние таких грунтов.

В связи с этим в настоящей работе предложен алгоритм оценки деформированного состояния подрабатываемого грунтового массива в приповерхностном слое, на котором расположены строительные сооружения – многоэтажные кирпичные здания. Предлагаемый алгоритм строится на результатах сравнения данных по визуальному и инструментальному обследованию зданий и данных, полученных методами математического моделирования.

2. Постановка задачи и методы решения

В качестве объектов для расчетной модели рассмотрены жилые 5-этажные здания, расположенные в г. Березники по адресу: ул. Менделеева, 9 и 11, длиной, соответственно, 68,9 и 34,5 м.

Для этих зданий проведен визуальный осмотр их технического состояния, с помощью которого получена картина распределения дефектов, в том числе трещин с указанием их величины раскрытия. Пример картин распределения трещин (начиная с 2008 года) нижних частей (2 этажа) дворовых фасадов зданий по ул. Менделеева, 9 и 11 приведен на рис. 1 и 2. Цифрами на рис. 1 и 2 обозначены величины раскрытия трещин в миллиметрах.

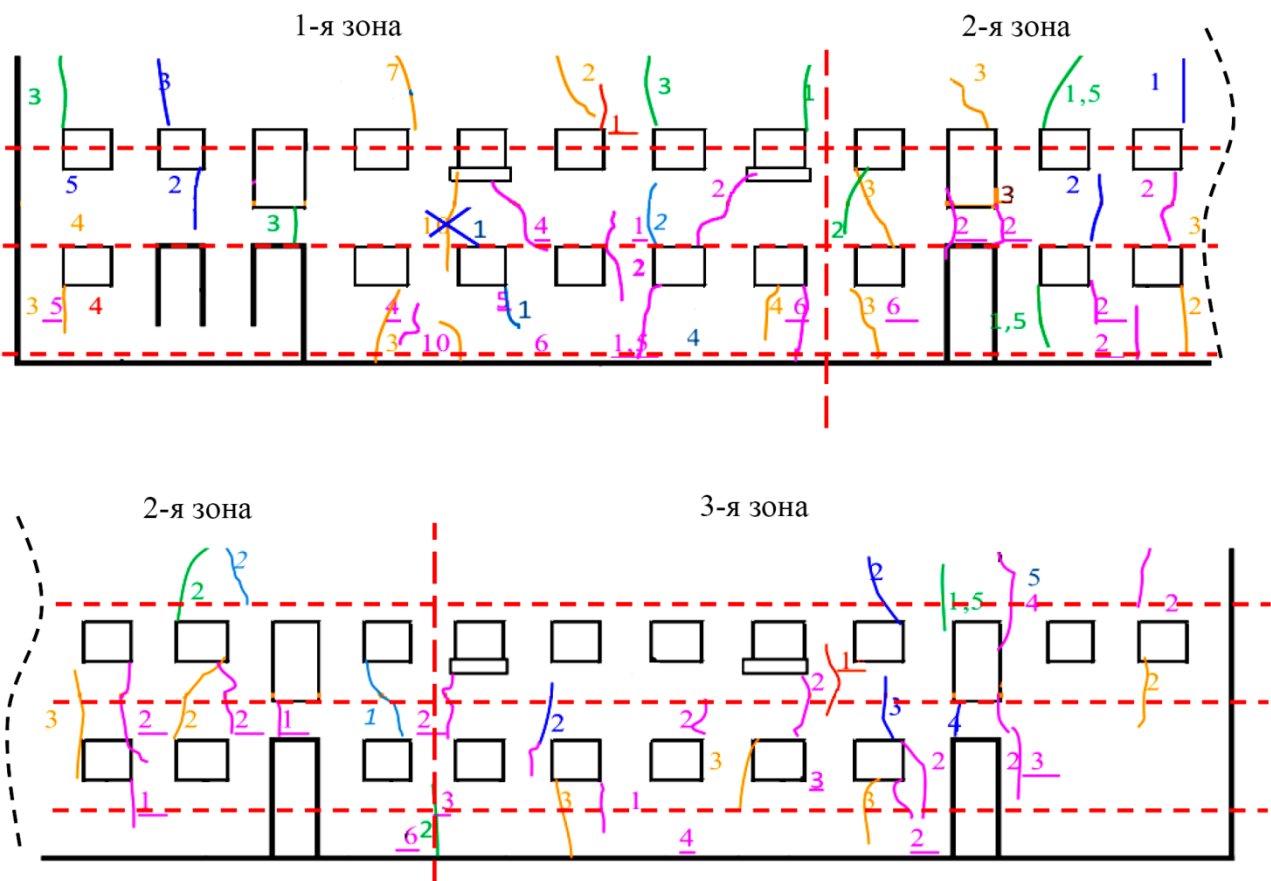


Рис. 1. Картина распределения трещин левой (а) и правой (б) частей (2 нижних этажа) дворового фасада здания по ул. Менделеева, 9

Зоны на подработанной территории с растягивающими (сжимающими) деформациями многократно превышают размер одного здания. Поэтому на масштабе одного здания деформирование можно считать однородным.

Введем количественные показатели оценки деформированного состояния зданий. Используя данные обследования домов по ул. Менделеева, 9 и 11, найдем суммарное раскрытие трещин вдоль трех линий для каждого из домов (рис. 1–2), и по этой величине пересчитаем деформации. Каждую линию в обследуемых домах разделим на три зоны (рис. 1–2).

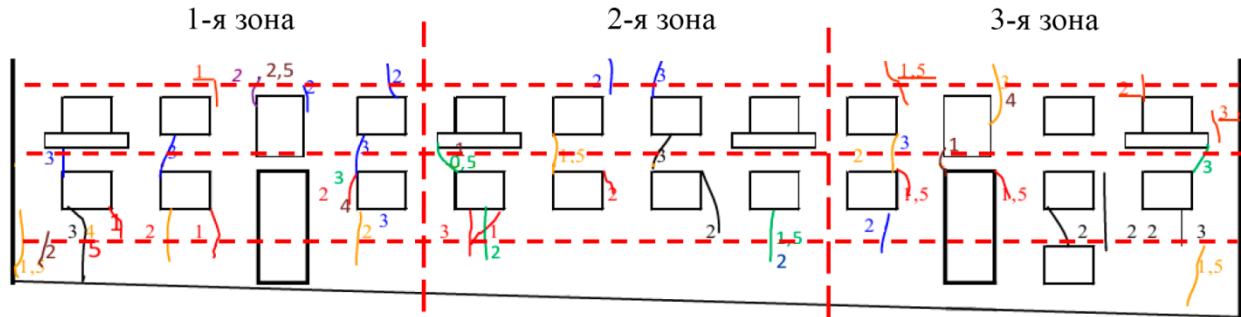


Рис. 2. Картина распределения трещин нижней части (2 этажа) дворового фасада здания по ул. Менделеева, 11

Полученные значения деформаций представим в табл. 1, 2. Как видно из результатов обследования, представленных в табл. 1, 2, наибольшие значения деформаций в обоих зданиях находятся в первой зоне.

Таблица 1

Значения деформаций, полученные по раскрытию трещин в здании по ул. Менделеева, 9

	1-я зона	2-я зона	3-я зона
нижняя линия	1,32E-03	4,90E-04	7,73E-04
центральная линия	1,17E-03	1,12E-03	8,59E-04
верхняя линия	7,94E-04	4,43E-04	4,08E-04

Таблица 2

Значения деформаций, полученные по раскрытию трещин в здании по ул. Менделеева, 11

	1-я зона	2-я зона	3-я зона
нижняя линия	1,24E-03	8,47E-04	8,23E-04
центральная линия	7,68E-04	6,24E-04	6,93E-04
верхняя линия	5,97E-04	4,46E-04	5,63E-04

В качестве модели здания был выбран фрагмент стены с прямоугольными отверстиями, имитирующими окна. Обоснование выбора такой модели приведено в работе [14]. Оставшаяся часть стены учтена в виде равномерно распределенной нагрузки, формирующей суммарный вес стены как для 5-этажного здания. Значение равномерно распределенной нагрузки полагалось равным 400 кПа.

Рассмотрены упругая модель механического поведения грунтового основания, модели контактного взаимодействия кирпичной стены и грунтового основания и неупругая модель механического поведения для материала кирпичной стены.

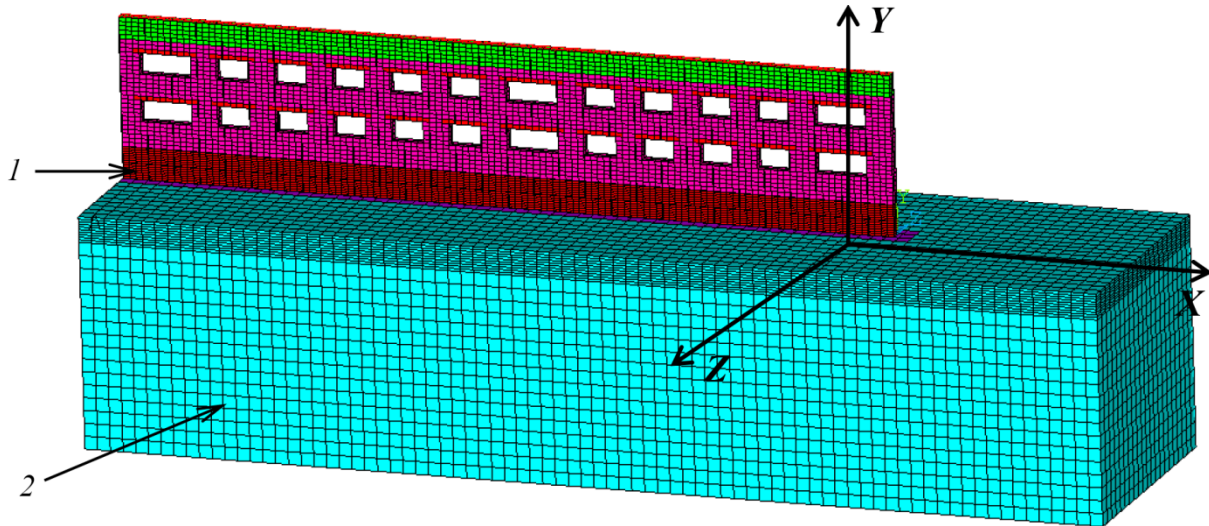


Рис. 3. Расчетная конечно-элементная схема системы «кирпичная стена – грунтовое основание» (1 – кирпичная стена; 2 – грунтовое основание)

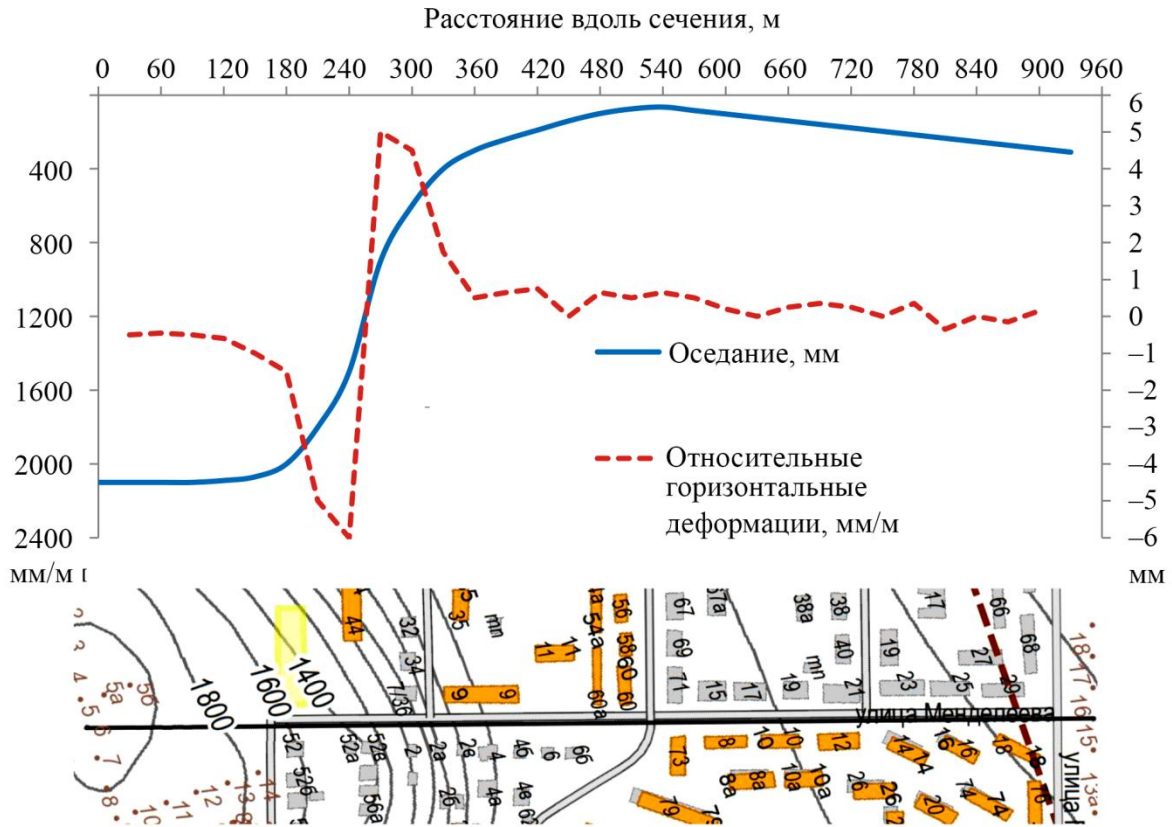


Рис. 4. Распределения вертикальных осадок (сплошная линия) и горизонтальных деформаций (пунктирная линия) грунтового основания вдоль ул. Менделеева

Механические характеристики грунтового основания в рамках линейной упругой модели приняты однородными с упругими постоянными согласно СП [15]. Физически нелинейная модель кирпичной стены сформирована с помощью модели упругопластического течения с критерием Менетри – Уиллама [16]. Контактное взаимодействие кирпичной стены и грунтового основания учтено как взаимодействие с трением по закону Кулона.

В качестве расчетной модели рассмотрен фрагмент грунта конечных размеров, совмещенный с фундаментом здания и кирпичной стеной. Начало декартовой системы координат совпадает с одним из углов в основании стены.

Вариант конечно-элементной расчетной модели представлен на рис. 3.

Рассматривается 2 вида кинематических граничных условий: первый вид – это задание граничных условий в виде перемещений, направленных вдоль оси X (рис. 3) для формирования поля растягивающих деформаций; второй вид – это задание граничных условий на нижней грани грунтового массива, направленных в сторону, противоположную оси Y , для формирования неравномерных вертикальных осадок грунта.

Величины горизонтальных перемещений и неравномерных вертикальных осадок грунтового основания определяются из экспериментальных данных, полученных ГИ УрО РАН [13] (рис. 4). Сплошной линией на рис. 4 представлено распределение неравномерной осадки (оседание, мм) грунта вдоль ул. Менделеева, а пунктирной линией – распределение относительных горизонтальных деформаций (мм/м). Данные по неравномерным осадкам и горизонтальным деформациям грунтового основания (рис. 4), расположенного под зданиями по ул. Менделеева, 9 и 11, используются для задания граничных условий в расчетной модели.

Остальные виды граничных условий для расчетной схемы в системе «кирпичная стена – грунтовое основание» (рис. 3) подробно рассмотрены в работе [14].

3. Результаты моделирования

Определение деформационной картины на основе выбранной расчетной модели в системе «стена – грунтовое основание» с учетом различных граничных условий проведено в два этапа.

Первый этап – это гравитационное нагружение с учетом эксплуатационных нагрузок, проведенное с целью формирования исходного деформированного состояния кирпичной стены.

На втором этапе численного расчета на уже деформированной модели реализовано два варианта формирования поля деформаций грунтового основания: в области однородного растяжения мульды сдвижения и в области неравномерных вертикальных осадок грунтового основания.

Далее проведена серия вычислений в рамках построенной расчетной модели. При моделировании системы «стена – грунтовое основание» учтены фундаментные стеновые блоки (ФБС) и растворные швы, соединяющие между собой блоки ФБС и кирпичную стену. Упругие механические характеристики для кирпичной стены, растворного шва, блоков ФБС и грунтового основания приведены в табл. 3. Размеры кирпичной стены: длина – 60 м, высота – 5 м, толщина – 0,4 м; размеры блоков ФБС: длина – 2 м, высота – 0,6 м, толщина – 0,4 м; толщина растворного шва – 0,02 м; размеры грунтового основания: длина – 80 м, высота – 9 м, ширина – 10,4 м (рис. 3). Прочностные характеристики кирпичной кладки в модели Менетри – Уиллама приняты согласно СП [15] как для кладки перевязанного сечения для марки прочности силикатного кирпича и раствора М100.

Таблица 3

Механические характеристики материалов

Механические характеристики	Кирпичная стена	Растворный шов	Блоки ФБС	Грунтовое основание
Модуль упругости, МПа	10 000	10 000	32 000	20
Коэффициент Пуассона	0,25	0,22	0,22	0,3

В работе проведены численные расчеты по определению картины деформационного состояния системы «стена – грунтовое основание» для двух вариантов задания граничных условий: первый вариант – неравномерные вертикальные осадки грунтового основания, которые составляют 0,2 и 0,1 м по длине дома для грунта под домами по ул. Менделеева, 9 и 11 соответственно (рис. 4 а); второй вариант – растягивающие деформации грунтового основания $\epsilon_{гр} = 0,001$ и $\epsilon_{гр} = 0,002$ для грунта под домами по ул. Менделеева, 9 и 11 соответственно (рис. 4 б).

На рис. 5 а представлены результаты расчетов по определению первых главных деформаций в стене для варианта граничных условий, моделирующих неравномерные вертикальные осадки грунтового основания (осадки по длине дома составляют 0,2 м). Полученные численные результаты согласуются с результатами, представленными в работах [17, 18], где максимальная деформация растяжения приурочена к верхним этажам, и именно там будет начинаться процесс трещинообразования с появлением вертикальных трещин, что мы и наблюдаем в картине распределения первых главных деформаций (рис. 5 а).

На рис. 5 б представлены результаты расчетов по определению первых главных деформаций в стене для варианта с заданием растягивающих деформаций грунтового основания $\epsilon_{гр} = 0,002$. Для этого варианта расчета по картине распределения первых главных деформаций мы видим возможное образование вертикальных трещин в нижней части кирпичной стены.

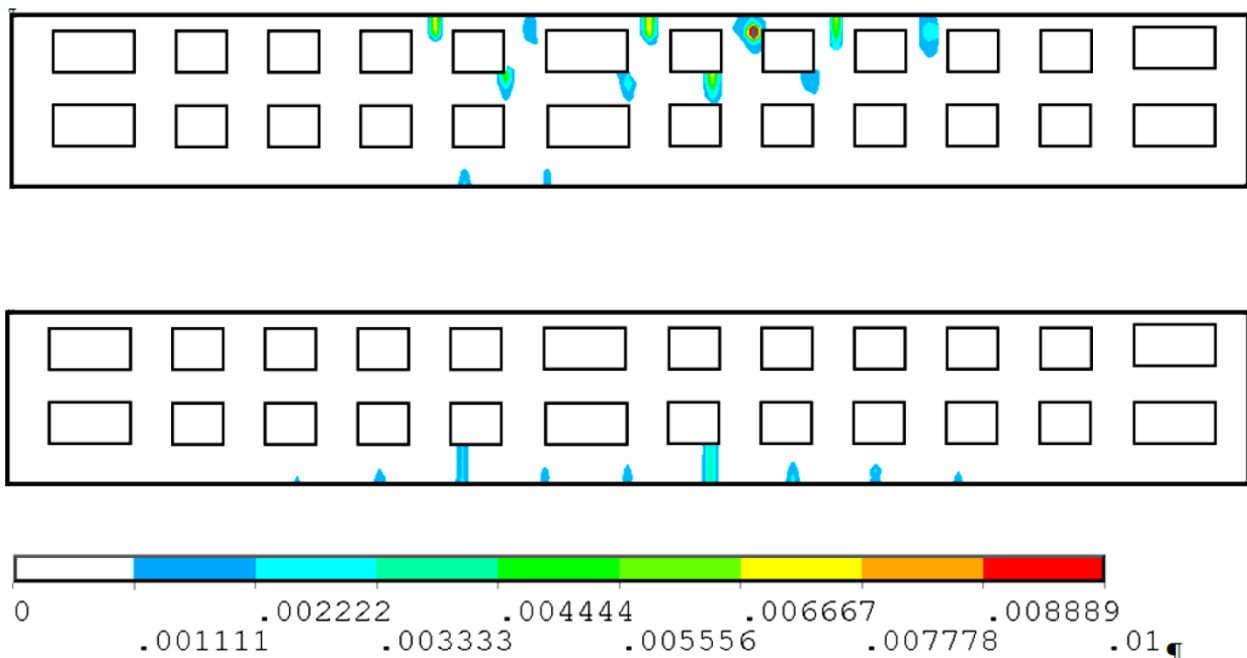


Рис. 5. Распределение первых главных деформаций в стене при задании вертикальных осадок (а) и растягивающих горизонтальных деформаций (б) грунтового основания

Анализ сравнения расчетных значений и результатов обследования домов показал, что при задании граничных условий в виде неравномерных вертикальных осадков наибольшее значение первых главных деформаций (картина возможного образования дефектов в виде трещин) в стене дома достигается в верхней части стены (рис. 5 а). При граничных условиях в виде горизонтальных деформаций грунтового основания максимальные значения первых главных деформаций находятся в нижней части стены, в месте контакта кирпичной стены с грунтовым основанием (рис 5 б), что может говорить о наличии дефектов в виде вертикальных трещин. В картине распределения трещин в исследуемых зданиях присутствуют

вертикальные трещины как в верхней части исследуемых фрагментов (верхний уровень второго этажа), в основном сконцентрированные в первой зоне, так и в нижней части.

Таким образом, анализ результатов расчета и обследования зданий по ул. Менделеева, 9 и 11 показал, что в зданиях на подработанной территории реализуются 2 сценария развития деформаций: как при неравномерных вертикальных осадках, так и при растяжении грунтового основания.

4. Заключение

На основе созданной математической модели для определения деформированного состояния в системе «кирпичная стена – грунтовое основание» разработан алгоритм оценки состояния подрабатываемого грунтового массива в приповерхностном слое, на котором расположены строительные сооружения – многоэтажные кирпичные здания.

В качестве математической модели рассмотрены упругая модель механического поведения грунтового основания, модель контактного взаимодействия кирпичной стены и грунтового основания и неупругая модель механического поведения для материала кирпичной стены и растворного шва, которая сформирована с помощью модели упругопластического течения с критерием Менетри – Уиллама.

Получены картины распределения деформаций для двух типов граничных условий: неравномерные вертикальные осадки и горизонтальные деформации грунтового основания.

Показано, что при задании граничных условий в виде неравномерных вертикальных осадков наибольшее значение первых главных деформаций (картина возможного образования дефектов в виде трещин) в стене дома достигается в верхней части кирпичной стены.

При задании граничных условий в виде горизонтальных деформаций грунтового основания максимальные значения первых главных деформаций находятся в нижней части стены, в месте контакта кирпичной стены с грунтовым основанием, что может говорить о наличии дефектов в виде вертикальных трещин.

Результаты обследования домов по ул. Менделеева, 9 и 11 показали наличие трещин как в нижней, так и в верхних частях рассматриваемых фрагментов здания (рис. 1, 2), что может говорить о реализации двух механизмов деформации грунтового основания: растяжения и оседания земной поверхности в приповерхностном слое.

Анализ численных расчетов по разработанной математической модели и результатов обследования домов по ул. Менделеева, 9 и 11 показал, что в зданиях на подработанной территории реализуются 2 сценария развития деформаций: как при неравномерных вертикальных осадках, так и при растяжении грунтового основания.

Таким образом, разработанный алгоритм может быть использован для определения вида деформированного состояния грунтового основания по картине распределения дефектов в здании.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер темы 124020700047-3.

Литература

1. Кашеварова Г. Г., Воробьев А. В., Фаизов И. Н. Численное моделирование для оценки несущей способности жилых панельных зданий на подработанной территории // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. – 2013. – № 4 (60). – С. 126–130.
2. Ермаков В. В., Патраков А. Н. Мониторинг несущих строительных конструкций жилых зданий, построенных на подрабатываемых территориях без конструктивных мер защиты //

Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 63–71.

3. Геодезический мониторинг вертикальных перемещений сооружений в процессе строительства / Н. Н., Горбунова А. А. Терешин, Д. В. Шилкин, О. Ю. Миркушов // Маркшейдерский вестник. – 2021. – № 1 (140). – С. 39–43.

4. Усанов С. В., Коновалова Ю. П. Аварийные деформации зданий при строительстве перегонных тоннелей на урбанизированных территориях // Проблемы недропользования. – 2016. – № 4 (11). – С. 104–110.

5. Панжин А. А., Панжина Н. А. Деформационный мониторинг воздействия строительства метрополитена на здания и сооружения // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений, Екатеринбург, 10–11 апреля 2019 г. : труды VI Международной конференции. – Екатеринбург : УГГУ, 2019. – С. 4–10.

6. Лысков И. А., Мусихин В. В., Кашников Ю. А. Мониторинг деформационных процессов земной поверхности методами радарной интерферометрии // Недропользование. – 2010. – № 5. – С. 11–16.

7. Несова А. В., Шестакин Н. С., Хархордин Е. В. Возможности исследования сдвигов и проседания горных пород над отработанным пространством шахт города Донецка // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2021. – № 5 (47). – С. 155–160.

8. Исаев Ю. С., Лебедев М. О., Михайлов О. В. Определение смещений земной поверхности методами радарной спутниковой интерферометрии: опыт применения и перспективы использования // Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения : сборник статей. – М. : Изд-во «Перо». – 2021. – С. 106–117.

9. Дудников В. Ю., Власов А. С., Ланина Т. Д. Мониторинг земной поверхности в районах интенсивного недропользования на основе метода спутниковой радарной интерферометрии // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 2. – С. 54–59. – DOI: 10.17513/use.37778.

10. Обыскалова Е. А. Анализ методов геодезического мониторинга деформаций земной поверхности на Тевризском газоконденсатном месторождении (Омская область) // Молодежь и наука 2023, Петрозаводск, 30 августа 2023 г. : сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. – С. 40–50.

11. Голубев Ф. М., Бардакова Е. А. Методика прогноза оседаний земной поверхности при затоплении очистных выработок ликвидируемых угольных шахт // Журнал теоретической и прикладной механики. – 2022. – № 2 (79). – С. 39–45. – DOI: 10.24412/0136-4545-2022-2-39-45.

12. Маклаков А. С. Геодинамический спутниковый GPS мониторинг грунтового массива заселенных территорий, расположенных на подработанных или заложенных участках горных выработок // Международная научно-практическая конференция «Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения», Уфа, 19 октября 2024 года : сборник трудов. – Стерлитамак : Агентство международных исследований, 2024. – С. 65–70.

13. Samsonov S., Baryakh A. Estimation of deformation intensity above a flooded potash mine near Berezniki (Perm Krai, Russia) with SAR interferometry // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12 (19). – P. 3215. – DOI: 10.3390/rs12193215.

14. Gusev G. N., Korepanov V. V. The features of the deformation behavior of reinforced masonry structures under technogenic impact in subsided areas // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. – 2024. – Iss. 6. – P. 131–142. – DOI: 10.17804/2410-9908.2024.6.131-142. – URL: http://dream-journal.org/issues/2024-6/2024-6_476.html

15. СП 15.13330.2020.

16. Menétrey P., Willam K. Triaxial failure criterion for concrete and its generalization // ACI Structural Journal. – 1995. – Vol. 92 (3). – P. 311–318. – DOI: 10.14359/1132.

17. Разводовский Д. Е. Допустимые деформации существующей застройки // Вестник НИЦ «Строительство». – Т. 2 (13). – 2017. – С. 106–121.
18. Иванова Л. А., Сажнев В. П. Анализ деформированного состояния зданий при подработке на склонах мезорельефа // Труды РАНМИИ. – 2024. – Т. 2, № 3 (41). – С. 34–45.