



## CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 12, № 3, 2021

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2021.3.06

УДК 624.159.2

### УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ОТ ПОДРАБОТКИ ТЕРРИТОРИИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

П.А. Пяткин<sup>1</sup>, Е.Г. Скибин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт территориального развития, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

#### О СТАТЬЕ

Получена: 28 мая 2021

Принята: 04 сентября 2021

Опубликована: 30 сентября 2021

#### Ключевые слова:

коэффициент постели, деформации подработки, 262 конечных элемента, выпуклая и вогнутая формы подработки.

#### АННОТАЦИЯ

Рассматривается возможность учета деформаций от подработки территории при расчете зданий в ПК «ЛИРА-САПР». Проанализированы параметры деформации подработки, составлены расчетные схемы, в которых учтены дополнительные деформации от подработки в узлах в уровне основания расчетной схемы в дополнение к деформациям от осадки грунтового основания. Рассматриваются две принципиально разные расчетные схемы – каркасные здания на отдельно стоящих столбчатых фундаментах и здания на ленточных или плитных фундаментах. Составлены алгоритмы расчета для этих схем для программного комплекса «ЛИРА-САПР». Приведено описание работы расчетных схем. Проанализированы трудности, которые возникают при решении поставленной задачи. Приведены результаты решения тестовых задач. Выполнено преобразование расчетной схемы по разработанному алгоритму и представлены результаты расчетов для выпуклой и вогнутой форм подработки.

Результаты расчетов показали работоспособность предложенной модели расчета зданий с учетом подработки.

© ПНИПУ

© Пяткин Павел Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: [pyatkin@atr-sz.ru](mailto:pyatkin@atr-sz.ru).

Скибин Евгений Геннадьевич – ассистент, e-mail: [skibin.90@mail.ru](mailto:skibin.90@mail.ru), ORCID: 0000-0001-8969-7454.

Ryatkin Pavel Alekseevich – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: [pyatkin@atr-sz.ru](mailto:pyatkin@atr-sz.ru).

Skibin, Evgeny Gennadevich – Assistant, e-mail: [skibin.90@mail.ru](mailto:skibin.90@mail.ru), ORCID: 0000-0001-8969-7454.

## ACCOUNT THE INFLUENCE OF DEFORMATIONS FROM PART-TIME WORK OF THE TERRITORY ON THE STRESS-STRAIN STATE OF BUILDING STRUCTURES

P.A. Pyatkin<sup>1</sup>, E.G. Skibin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Territorial Development, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 28 May 2021  
Accepted: 04 September 2021  
Published: 30 September 2021

#### Keywords:

ground bed coefficient, part-time work deformations, 262 end element, convex and concave part-time work shapes.

### ABSTRACT

The paper considers the possibility of taking into account the deformations from the part-time work of the territory when calculating buildings in the LIRA-SAPR.

The parameters of part-time work deformation have been considered and analysed. The calculation diagrams have been drawn up which take into account the additional deformations of the part-time work at the nodes at the base level of the calculation diagram in addition to the deformations of the ground settlement. Two fundamentally different computational schemes are considered – frame buildings on freestanding columnar foundations and buildings on strip or slab foundations. Calculation algorithms for these schemes for the LIRA-SAPR software package are compiled. The description of calculation schemes operation is given. Difficulties that arise when solving the task are analysed. The results of solving test tasks are given. Transformation of the computational scheme according to the developed algorithm is performed, and results of calculations for the convex and concave forms of undercutting are presented.

The calculation results showed that the proposed model of calculating buildings taking into account part-time work.

© PNRPU

---

Решается задача по учету влияния деформаций подработки при расчете здания в ПК «ЛИРА-САПР» [1].

Согласно п. 5.1.2 СП 21.13330.2012 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах» деформации подработки могут характеризоваться следующими параметрами [2]:

- оседание  $\eta$ , мм;
- наклон поверхности основания вдоль оси сооружения  $i$ , мм/м;
- кривизна (выпуклости, вогнутости)  $\rho$ , 1/км, или радиус кривизны  $R = 1/\rho$ , км, в вертикальной плоскости, проходящей через ось сооружения;
- горизонтальное сдвигение  $\xi$ , мм, вдоль оси сооружения [3];
- относительная горизонтальная деформация растяжения или сжатия  $\varepsilon$ , мм/м, вдоль оси сооружения.

1. Оседание  $\eta$  – деформация поверхности грунта в конкретной точке, рассчитывается в зависимости от формы подработки.

2. Наклон поверхности основания вдоль оси сооружения  $i$  определяется согласно данным горно-геологического обоснования (ГГО), показывает равномерный уклон поверхности. Вследствие данной деформации появляется крен наземных конструкций, в результате возникают дополнительные эксцентриситеты в наземных конструкциях. Данная форма деформаций может увеличить усилия в наземных конструкциях для высотных зданий, для малоэтажных зданий усилия увеличатся незначительно.

3. Кривизна (выпуклости, вогнутости)  $\rho$  – криволинейная деформация поверхности. Деформации данной формы неравномерные и, при значительной протяженности здания, могут составлять большие значения [4].

4. Горизонтальное сдвигание  $\xi$ , мм, поверхности и относительная горизонтальная деформация растяжения или сжатия  $\epsilon$ , мм/м, вдоль оси сооружения могут повлиять на напряженно-деформированное состояние подпорных сооружений. Влияние данных деформаций в зданиях минимизируется конструктивными мероприятиями – устройством швов скольжения, а также выполнением увеличенных деформационных швов между деформационными блоками.

Как правило, деформации от подработки, в ее классическом понимании, развиваются из-за процессов, происходящих значительно ниже глубины сжимаемой толщи, поэтому работа грунтового массива не изменяется. Процессы, происходящие в грунтовом массиве, в рамках данной работы не рассматриваются [5, 6].

В итоге в данных расчетных схемах необходимо учесть дополнительные деформации от подработки в узлах в уровне основания расчетной схемы в дополнение к деформациям от осадки грунтового основания [7, 8].

Рассмотрим два принципиально разных случая расчетных схем [9, 10]:

- каркасные здания на отдельно стоящих столбчатых фундаментах;
- здания на ленточных или плитных фундаментах.

В зависимости от сочетания различных пунктов деформаций подработки в каждом узле определяем графически либо формульно.

В ПК «ЛИРА-САПР» есть возможность определить усилия от загрузки на заданные перемещения, однако при применении данного нагружения в узлы автоматически задаются связи по всем остальным перемещениям и учитываются только заданные деформации.

Рассмотрим алгоритм решения расчета каркасных зданий на столбчатых фундаментах:

1. Считаю расчетную схему с учетом задания грунтового основания.
2. Определяем вертикальные деформации в каждом узле по обрезу фундамента (в данной расчетной схеме количество таких узлов относительно небольшое).
3. Определяем деформации в каждом узле по обрезу фундаментов от деформаций подработки в зависимости от характеристик подработки (по результатам ГГО).
4. Делаем расчет на заданные перемещения путем введения в каждый узел вертикальных перемещений от суммы деформаций осадки и подработки. Количество расчетных схем будет равно количеству форм подработки.

Примечание: деформации от подработки будут незначительно влиять на напряженно-деформированное состояние (НДС) столбчатых, жестких фундаментов, поэтому их рассчитываем по стандартным методикам [11]. Стоит отметить, что данный подход неприменим для зданий с жесткой, неразрезной схемой надземной части, где жесткость надземной части будет влиять на деформации грунтового основания, в данном случае применим алгоритм, предложенный ниже.

Сложность расчета зданий на ленточных и плитных фундаментах заключается в большом количестве узлов по обрезу фундамента, а при определении влияния подработки на усилия в фундаментах количество узлов, в которых необходимо задать деформации от подработки, будет равно количеству узлов фундаментов. Выполнить расчет данных схем по приведенному выше алгоритму не представляется возможным ввиду значительного увеличения узлов (на 2–3 порядка), в которых необходимо задать деформации от подработки. Использование нагружения на заданные перемещения также не представляется возможным для данной задачи, так как в каждый узел необходимо будет задать не только деформации от подработки, но еще и деформации от осадки, в противном случае связи по оси  $z$  отключают-

ся, и выполняется расчет без учета работы грунтового основания (например, отключаются коэффициенты постели) [12–15].

Авторы работы стремились решить данную задачу, используя инструменты и возможности программного комплекса «ЛИРА-САПР». В расчетной схеме необходимо учесть как работу грунта, так и перемещения от деформаций подработки.

Рассмотрим алгоритм решения расчета каркасных зданий на плитных и ленточных фундаментах – элементов, задаваемых пластинами:

1. Решение стандартной расчетной схемы без учета подработки с заданием коэффициентов постели.

2. Копирование фундаментов ниже по оси  $z$  на величину, равную расстоянию между осью фундаментной плиты и бетонной подготовки.

3. Соединение противоположащих узлов двух плит стержнями.

4. Задание для нижней, фиктивной плиты жесткостных характеристик как для бетонной подготовки.

5. Назначение типа конструктивного элемента (КЭ) для стержней – КЭ 262. Назначение жесткостных характеристик для данных стержней. Продольную жесткость назначаем большую, чтобы продольная деформация стержней была незначительной, значение зазора назначаем в соответствии с деформируемой формой подработки и положения узла в плане.

6. Убираем коэффициент постели с верхней, искомой плиты.

7. Производим расчет на нелинейные загрузки, так как тип конструктивного элемента 262 считается в нелинейной постановке.

КЭ 262 – двухузловой КЭ односторонней упругой связи между узлами. Данный КЭ является нелинейным и предназначен для моделирования односторонней (воспринимающей либо растяжение, либо сжатие) линейной связи. Направление связи выстраивается в соответствии с координатами узлов, описывающих данный КЭ, и совпадает с продольной осью  $X1$ . Данный элемент включается в работу после выработки определенного, заданного зазора.

Описание работы расчетной схемы: нагрузка с верхней (искомой) фундаментной плиты передается на стержни, стержни начинают включаться в работу до выработки зазора, в этот момент в плите появляются усилия от деформаций подработки, далее в работу включаются стержни и передают нагрузку от верхней плиты к нижней, в работу начинает включаться грунт (коэффициент постели).

При реализации данной задачи возникли следующие трудности и вопросы:

1. Какую жесткость назначить для фиктивной плиты? Если жесткость фиктивной плиты оставить, как для искомой, мы получим искаженные результаты расчета, поэтому ее нужно снизить до какого-то предела. Так как фундаменты выполняются по бетонной подготовке, то жесткость фиктивной плиты было решено взять соответствующую, этим решением мы не противоречим исходным данным и нашли решение, какую жесткость все-таки принять.

2. Как задать стержни в каждый узел фундаментной плиты? К сожалению, в ПК «ЛИРА» нет возможности выделить узлы и в каждый выделенный узел вставить стержень. Копировать стержень в каждый узел можно, однако данный процесс становится очень трудоемким. Был найден следующий выход: в отдельную задачу были скопированы узлы фундаментной плиты, создан текстовый файл и через EXEL добавлены стержни необходимой длины в каждый узел, затем сшивкой были собраны вспомогательная схема и исходная.

3. Какой зазор назначить для каждого стержня? Теоретически для каждого стержня, через текстовый файл, можно было назначить зазор, описав его как функцию поверхности

подработки в зависимости от координат, однако это приведет к росту количества жесткостей, и с такой схемой неудобно будет работать. Было решено задать зазор с определенной дискретизацией, которая бы не привела к скачку напряжений в пограничных элементах. Шаг дискретизации определялся из размера сетки конечных элементов и рекомендаций прил. Г. 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений». Так, для железобетонных зданий максимальная относительная разность осадок составляет 0,0024, таким образом для конечного элемента 300×300 мм разность деформаций не должна превышать 0,72 мм (при расчете реальных объектов в данном случае использован шаг дискретизации зазора 0,5 мм). Большая трудность и значительная трудоемкость заключалась в выделении стержней в соответствующих зонах для назначения жесткостей стержням.

### Решение тестовой задачи

Для того чтобы убедиться, что описанный выше метод работает, ниже представлен результат расчета тестовой задачи.

На рис. 1 представлены результаты расчета плиты на постоянном коэффициенте постели, загруженной равномерно распределенной нагрузкой по всей площади, как и ожидалось, вертикальные перемещения по всей площади плиты будут постоянными.

Далее были выполнены преобразования расчетной схемы, согласно алгоритму, изложенному выше. На рис. 2–5 представлены скрины реализации данной расчетной схемы и результаты расчета для выпуклой формы подработки.

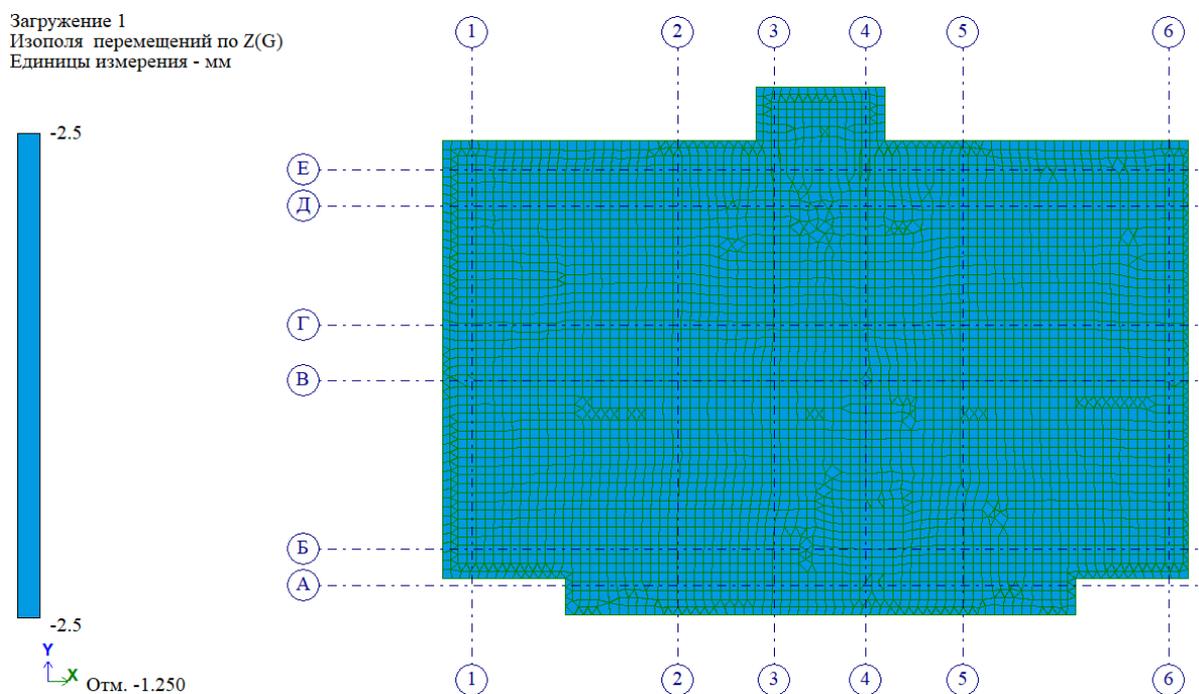


Рис. 1. Деформации по оси Z для плиты на постоянном коэффициенте постели, загруженной равномерно распределенной нагрузкой

Fig. 1. Z-axis deformations for a slab at a constant bedding factor, loaded with a uniformly distributed load

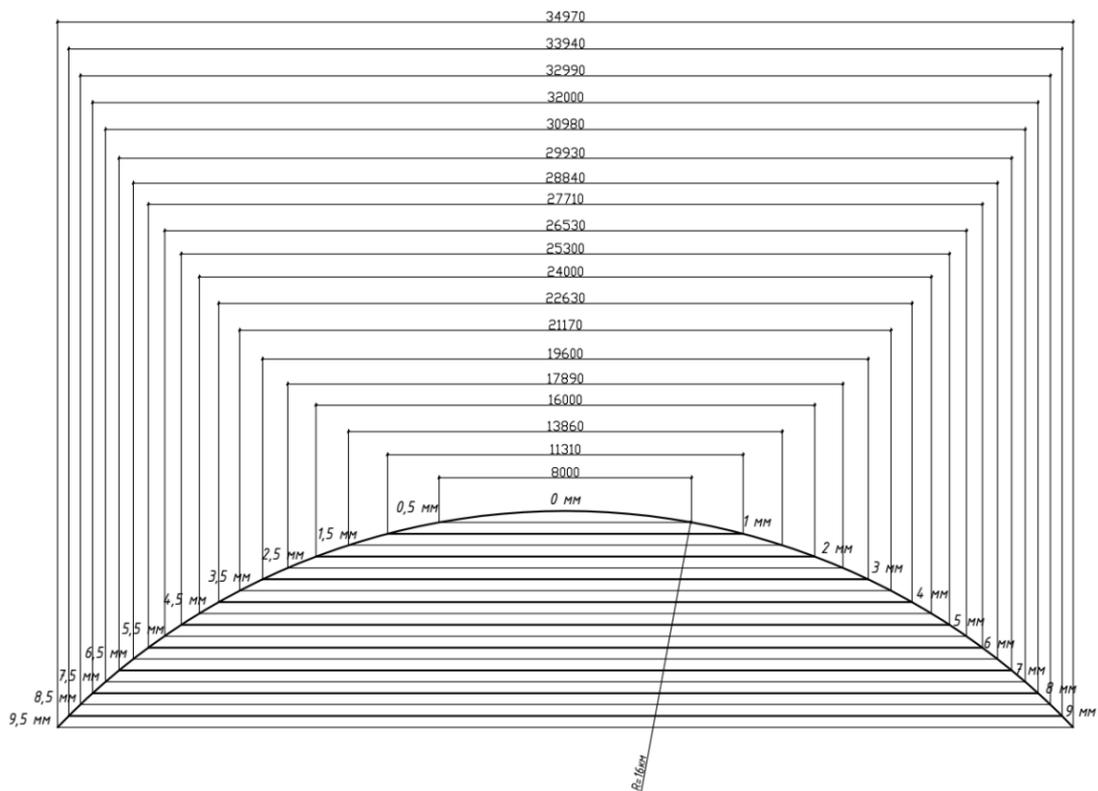


Рис. 2. Форма деформаций подработки (выгиб)  
 Fig. 2. The shape of the part-time work deformations (camber)

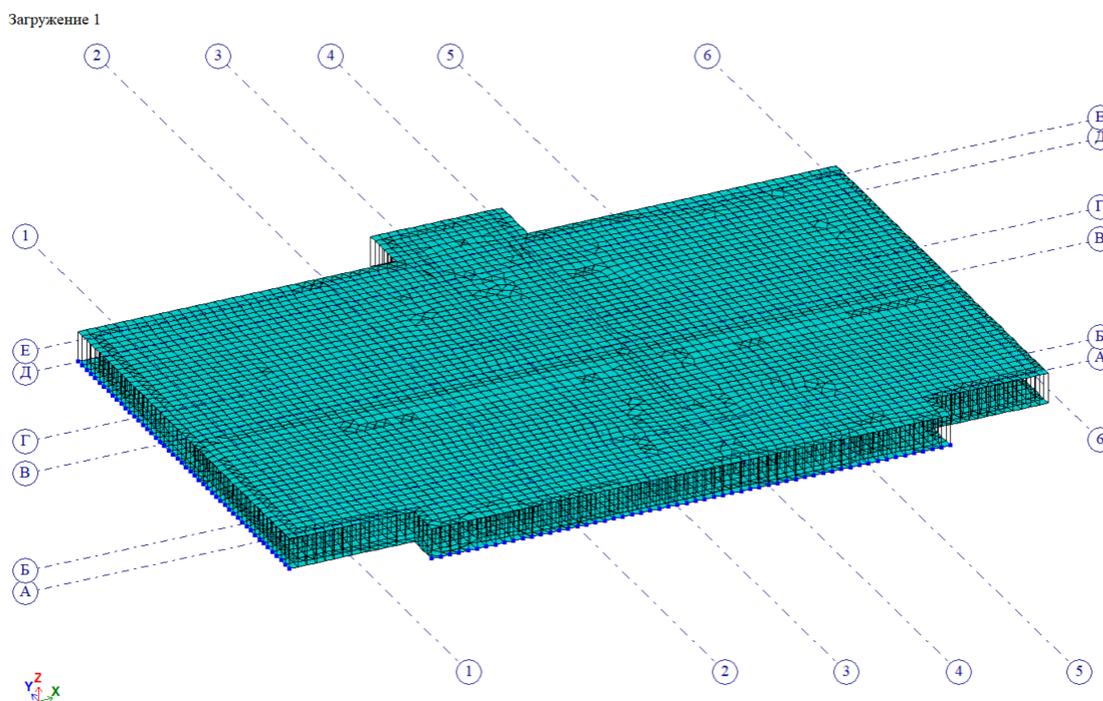


Рис. 3. Общий вид расчетной схемы  
 Fig. 3. General view of the design scheme

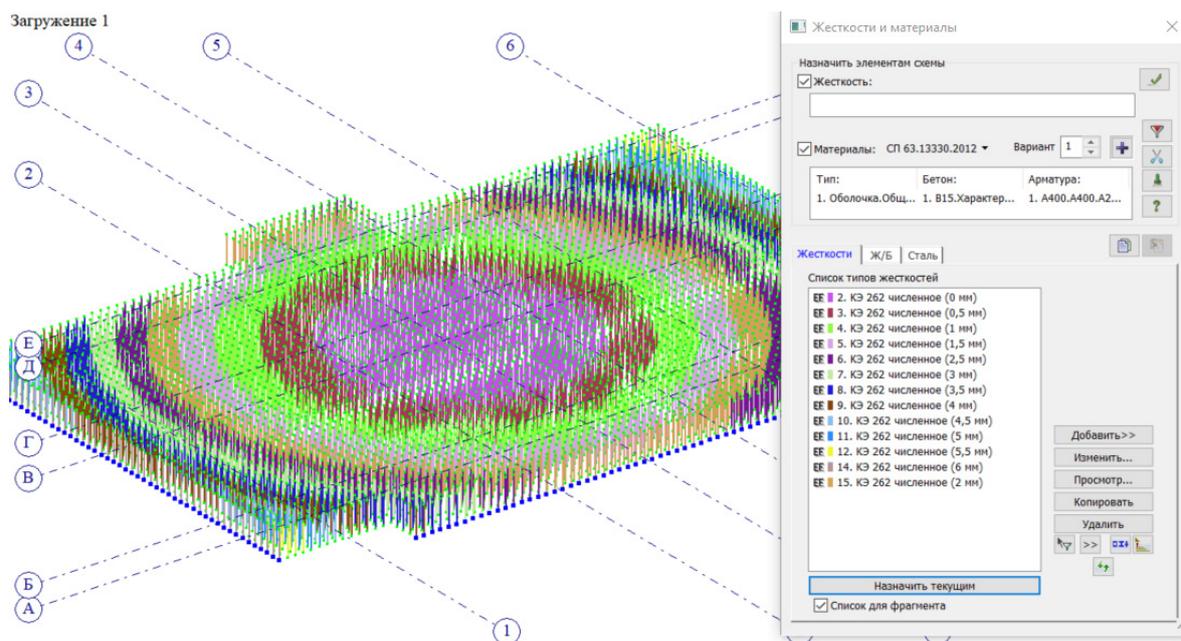


Рис. 4. Назначение жесткостей для двухузловых конечных элементов типа 262  
 Fig. 4. Stiffness assignment for type 262 double node finite elements

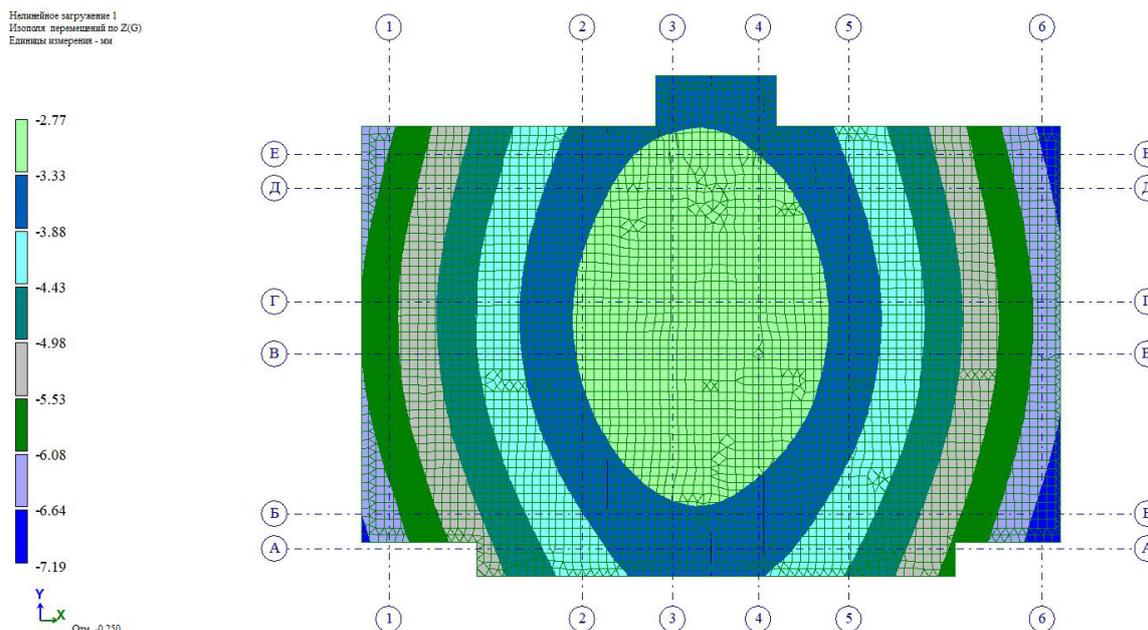


Рис. 5. Результаты перемещений верхней плиты по оси Z  
 Fig. 5. Results of top plate movements along the Z axis

Скриншоты реализации данной расчетной схемы и результаты расчета для вогнутой формы подработки представлены на рис. 6, 7.

Задание вынужденных перемещений, соответствующих деформациям подработки, в большинстве случаев существенно искажает НДС конструкций. Приведенные примеры решения тестовых задач показывают работоспособность предложенной модели расчета зданий с учетом подработки.

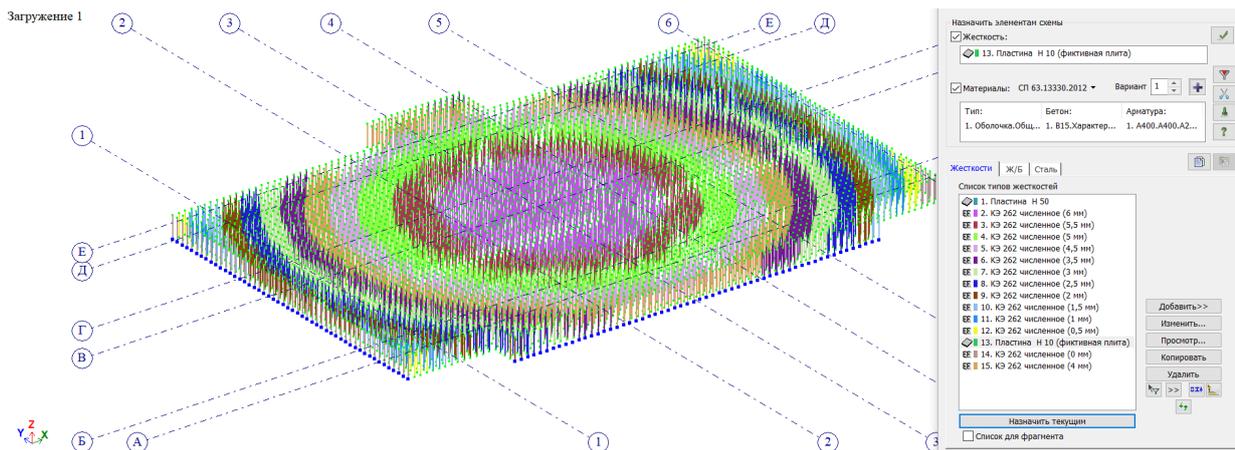


Рис. 6. Назначение жесткостей для двухузловых конечных элементов типа 262 для вогнутой формы подработки  
 Fig. 6. Stiffness assignment for Type 262 double-node finite element for a wobbly part-time work shape

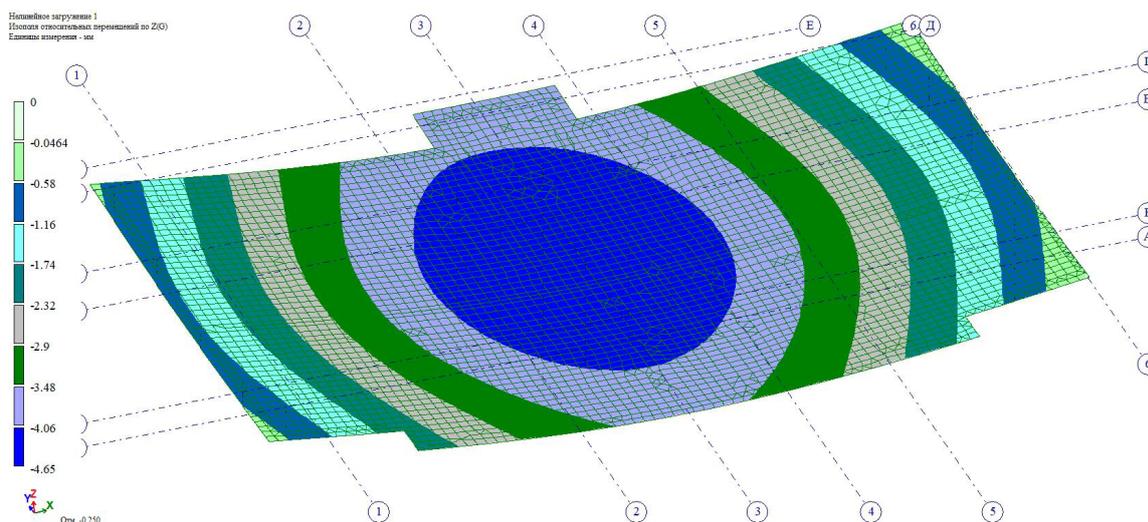


Рис. 7. Результаты относительных перемещений верхней плиты по оси Z  
 Fig. 7. Results of the relative movements of the top plate along the Z-axis

Таким образом, авторами статьи были выполнены расчеты двух объектов в г. Новошахтинске Ростовской области с учетом деформаций подработки, которые получили положительное заключение государственной экспертизы.

Аналогично изложенной методике также можно выполнять расчет зданий и сооружений на технологические осадки, моделировать просадки при замачивании различных участков основания при проектировании на просадочных грунтах и т.д. Изложенный метод расчета применим не только при использовании ПК «ЛИРА-САПР», но и любого другого подобного комплекса.

## Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: АСВ, 2016. – 1040 с.
2. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.
3. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947. – 244 с.
4. Иофис М.А. Медянцева А.Н. О защите жилых зданий поселка октябрьский г. Горловки от влияния выемки угля в крутопадающих пластах нескольких свит. Госстроя СССР. ДонпромстройНИИпроект // Надшахтное строительство: сборник научных трудов. – 1968. – № 8. – С. 240.
5. Инструкция по наблюдениям за сдвигениями горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1987. – 96 с.
6. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / В.И. Борщ-Компониец, И.М. Батугина, В.М. Варлашкин [и др.]; под общ. ред. В.А. Букринского, Г.В. Орлова. – М.: Недра, 1984. – С. 1–30.
7. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд: учебник. – М.: МГГУ, 2005. – 542 с.
8. Журавлев А.Е. Прогноз сдвижений и деформаций при сооружении тоннелей в дисперсных грунтах методом микротоннелирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», 2015. – 20 с.
9. Трушин С.И. Метод конечных элементов: теория и задачи: учебное пособие для вузов. – М.: АСВ, 2008. – 256 с.
10. Камаев В.С. Учет жесткостных параметров зданий при расчетах оснований и фундаментов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск: ТГАСУ, 2007. – № 3. – С. 165–172.
11. Шашенко А.Н., Пустовойтнеко В.П. Механика горных пород: учеб. пособие для вузов. – Киев: Новий друк, 2014. – 400 с.
12. Яковлев Є.О. Регіональні зміни екологічного стану геологічного середовища міст та селищ, як фактору сучасного розвитку інженерних вишукувань для будівництва в Україні // Світ геотехніки. – 2013. – № 3. – С. 8–12.
13. Петраков А.А., Светлицкий С.А. Современные проблемы строительства зданий и сооружений на подрабатываемых территориях // Світ геотехніки. – 2013. – № 4. – С. 20–24.
14. Матвеев І.В., Соловйова Г.Б. Стан та перспектива розвитку нормативної бази України з геотехніки // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – Київ: ДП НДІБК, 2013. – Вип. 79. – С. 13–24.
15. Рыжов А.М. Введение в нелинейную механику грунтов и физическое моделирование оснований. – Запорожье: Видавец, 1995. – 448 с.

## References

1. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. 2nd ed. Eds. V.A. Ilichev, R.A. Mangushev. Moscow, ASV, 2016, 1040 p.
2. Turchaninov I.A., Iofis M.A., Kasparyan E.V. Basics of rock mechanics. Leningrad, Nedra, 1977, 503 p.
3. Avershin S.G. Rock displacement in underground mining. Moscow, Ugletekhizdat, 1947, 244 p.
4. Iofis M.A. Medyantsev A.N. On the protection of residential buildings in the Oktyabrskiy village of Gorlovka from the influence of coal mining in steeply dipping seams of several suites. Gosstroy of the USSR. DonpromstroyNIIproekt. *"Surface construction"*. Collection of scientific papers, 1968, no. 8, p. 240.
5. Instructions for observing displacements of rocks, the earth's surface and undermined structures at coal and shale deposits. Moscow, Nedra, 1987, 96 p.
6. Komponiyets V.I., Batugina I.M., Varlashkin V.M. Displacement of rocks and the earth's surface during underground mining. Eds. V.A. Bukrinsky, G.V. Orlov. Moscow, Nedra, 1984, 247 p.
7. Kazikaev D.M. Geomechanics of underground mining. Moscow, MGGU, 2005. 542 p.
8. Zhuravlev A.E. Forecast of displacements and deformations during the construction of tunnels in dispersed soils by the microtunneling method. Abstract of Ph. D. thesis. Saint Petersburg, 2015, 20 p.
9. Trushin S.I. The finite element method: theory and tasks, textbook for universities. Moscow, ASV, 2008, 256 p.
10. Kamaev V.S. Taking into account the stiffness parameters of buildings when calculating bases and foundations. *Bulletin of the Tomsk State Architectural and Construction University*, 2007, no. 3, pp. 165–172.
11. Shashenko A.N. Mechanics of rocks. Kiev, Noviy Druk, 2014, 400 p.
12. Yakovlev E.O. Regional changes in the ecological status of the geological environment of cities and villages, as a factor of modern development of engineering survey for construction in Ukraine. *World Geotechnics*, 2013, no. 3, pp. 8–12.
13. Petrakov A.A., Svetlitsky S.A. Modern problems of construction of buildings and constructions on the undermined territories. *World Geotechnics*, 2013, no. 4, pp. 20–24.
14. Matveev I.V., Solovyova A.B. State and prospects of development of the legislative base of Ukraine in geotechnics. *Building Construction: collection of scientific articles*. Kiev, SE NIISK, 2013, vol. 79, pp. 24.
15. Ryzhov A.M. Introduction to nonlinear mechanics of soils and physical modeling of reason. Zaporozhye, Vidaviech, 1995, 448 p.