

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 624.131.7

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-18-31

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОПАСНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Власов Максим Алексеевич^{1*}, Герасимов Олег Васильевич²,
Простов Сергей Михайлович¹

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

²ООО «Нооцентр»

* для корреспонденции: maxsdss@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

07 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 апреля 2025 г.

Принята к публикации:

30 июня 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование;
горнотехническое
сооружение; прогноз;
напряжения; деформации;
закрепление грунтов;
интегральный показатель;
точность расчета.

Аннотация.

Объектом исследования является строящееся помещение шахтной вентиляционной установки. Цель работы – предотвращение опасных деформаций укрепляемого грунтового основания горнотехнического сооружения – помещения вентилятора главного проветривания угольной шахты на плитно-свайном фундаменте с устройством подпорной стены из инъекторов на основе объемной геомеханической модели. Для оснований сооружений с ярко выраженной асимметрией полей изолиний НДС необходимо трехэтапное геомеханическое моделирование, включающее: определение усредненного геомеханического центра модели для наиболее опасного интервала глубин горизонтальных сечений; установление наиболее опасных вертикальных сечений через каждые 15 градусов относительно геомеханического центра модели по максимальным значениям напряжений σ и деформаций ϵ в горизонтальных сечениях при естественном, закрепленном грунтовом основаниях и с добавлением подпорной стенки из инъекторов; расчет и анализ интегральных показателей I_σ и I_ϵ . Благодаря подпорной стенке и корректировке схемы закрепления обеспечивается снижение опасных горизонтальных деформаций. По сравнению с двухмерными моделями трехмерная дает возможность проверить любое плоское расчетное сечение и определить наиболее опасные из них. Для рассмотренного объекта получено, что интегральные значения нормальных вертикальных напряжений при закреплении грунтового основания по отношению к естественному грунту увеличиваются на 26–118%, интегральные значения деформаций возрастают на 117–531%. Интегральные значения нормальных вертикальных напряжений с дополнительной подпорной стенкой по отношению к закрепленному грунту увеличиваются на 6–29%, интегральные значения деформаций уменьшаются по сравнению с естественным грунтовым основанием в 3,5–8 раз.

Для цитирования: Власов М.А., Герасимов О.В., Простов С.М. Предотвращение опасных деформаций грунтового основания сооружения вентиляционной установки на основе объемной геомеханической модели // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 4 (170). С. 18–31. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-18-31, EDN: ИНОАСМ

Введение

Для укрепления оснований горнотехнических сооружений используют различные способы инъекционного закрепления (уплотнения),

которые позволяют улучшить устойчивость и повысить прочность грунта. В частности, сооружение подпорной стены из инъекторов представляет собой важный элемент, который

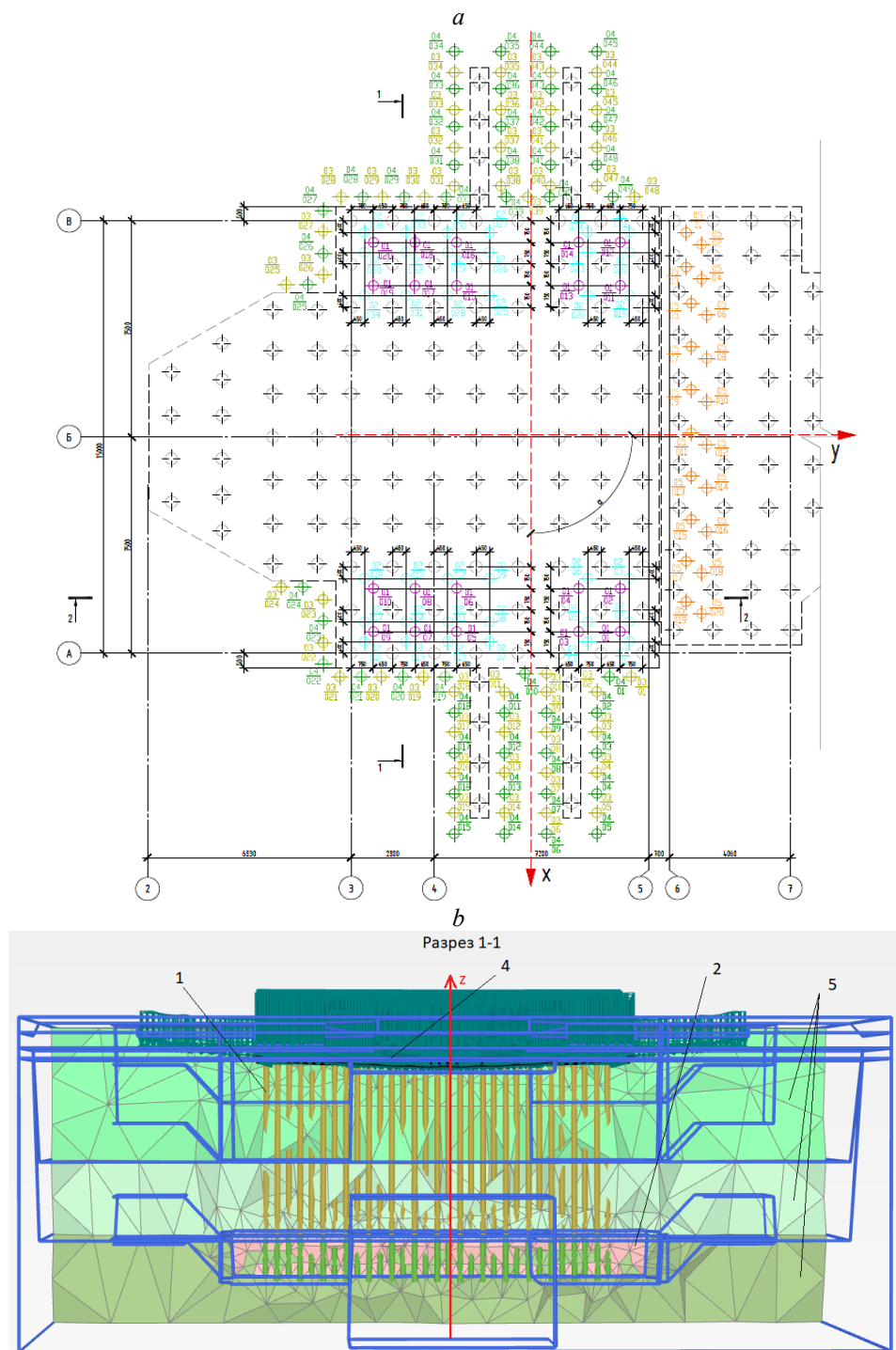
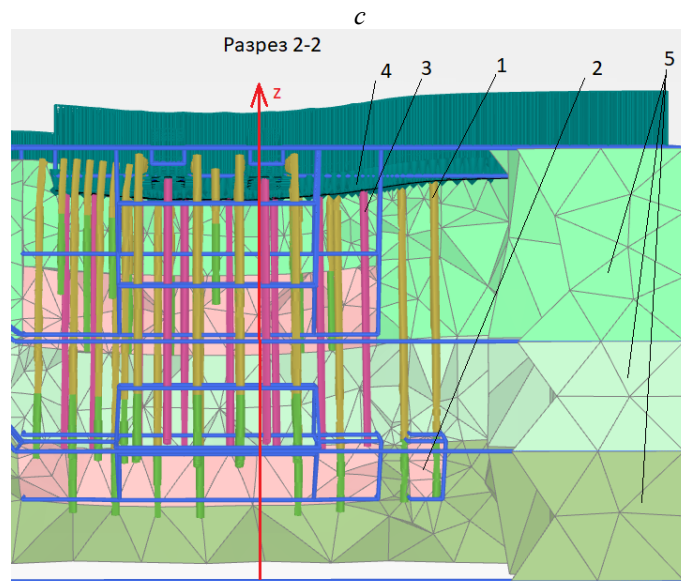


Рис. 1. План (а) и разрезы геомеханической модели в Plaxis 3D (b, c) при закреплении: а – план фундаментов; б – поперечный разрез вентилятора главного проветривания; с – продольный разрез; d – поперечный разрез ростверков; 1 – инъекторы; 2 – зоны закрепления; 3 – сваи; 4 – фундамент; 5 – инженерно-геологические слои; $\oplus$ – дополнительные вертикальные инъекторы ($l=10$ м); $\odot$ – вертикальные инъекторы ($l=4,2$ м); $\oplus$ – вертикальные инъекторы ($l=9,3$ м); $\oplus$ – вертикальные инъекторы ($l=4,9$ м); $\oplus$ – вертикальные инъекторы ($l=10$ м)

Fig. 1. Plan (a) and sections of the geomechanical model in Plaxis 3D (b, c) when fixing: a – foundation plan; b - transverse section of the main ventilation fan; c – longitudinal section; d – transverse section of the grillages; 1 – injectors; 2 – fixing zones; 3 – piles; 4 – foundation; 5 – engineering and geological layers; $\oplus$ – vertical injectors suplimentare ($l=10$ m); $\odot$ – vertical injectors ($l=4,2$ m); $\oplus$ – vertical injectors ($l=9,3$ m); $\oplus$ – vertical injectors ($l=4,9$ m); $\oplus$ – vertical injectors ($l=10$ m)



Продолжение рис. 1.
Continued in Fig. 1.

может существенно снизить риск обрушения и деформации конструкций [1, 2].

Инъекционные технологии обеспечивают равномерное распределение нагрузок, что позволяет предотвратить локальные перегрузки в значительно ослабленных участках грунтовых оснований. Применение современных составов для инъекции, таких как различные полимеры и цементные смеси, способствует надежной герметизации и образованию прочных связей между частицами грунта. Это не только увеличивает коэффициент сцепления, но и улучшает водоотводные характеристики, что предотвращает накопление лишней влаги. Эффективность применения методов инъекционного закрепления демонстрирует не только аспект повышения прочности, но и его простоту и универсальность. Такие методы могут быть использованы как при строительстве новых сооружений, так и при ремонте существующих объектов, что делает их незаменимыми в горнотехнической практике [3].

Кроме того, инъекционное закрепление способствует повышению сроков службы сооружений, снижая затраты на капитальный ремонт и обслуживание. Важным преимуществом является возможность проведения работ в ограниченных пространствах и при сложных геологических условиях, что делает методы инъекционного закрепления особенно эффективными в городских районах и на сложных строительных площадках.

Введение новых технологий инъекционного закрепления, таких как использование высокоэффективных цементно-песчаных растворов со специальными добавками, открывает перспективы для повышения устойчивости и долговечности конструкций.

Современные методы инъекции позволяют обеспечить надежную фиксацию различных элементов, что особенно актуально в условиях динамически нагруженных сооружений [4-9].

Высокоэффективные цементно-песчаные растворы, обладающие низкой проницаемостью и высокой прочностью, способствуют созданию жесткой и устойчивой связи между грунтом и строительными элементами. Применение этих технологий позволяет значительно сократить время на выполнение работ и повысить прочностные и деформационные свойства заполняемых полостей. Благодаря использованию современных добавок, таких как полимеры и пластификаторы, возможно улучшение характеристик раствора, что в свою очередь обеспечивает его более равномерное распределение и лучшее сцепление с окружающей средой.

Такие методы особенно полезны при ремонте и укреплении существующих зданий, где традиционные способы могут оказаться неэффективными. Таким образом, инновационные подходы к инъекционному закреплению открывают новые горизонты в строительной отрасли, сочетая высокие технические характеристики с экономической целесообразностью [10-13].

Целью исследования является предотвращение опасных деформаций укрепляемого грунтового основания горнотехнического сооружения – помещения вентилятора главного проветривания угольной шахты на плитно-свайном фундаменте с устройством подпорной стены из инъекторов на основе объемной геомеханической модели.

Таблица 1. Значения координат геомеханических центров модели
Table 1. The values of the coordinates of the geomechanical centers of the model

Модель	$X_{сг},$ мм	$Y_{сг},$ мм	$X_{св},$ мм	$Y_{св},$ мм
$z = -1$	7740	6200	6470	7410
$z = -1$	8000	5570	7740	8660
$z = -9$	7740	5870	7770	6310
$z = -9$	8340	5720	7770	6090

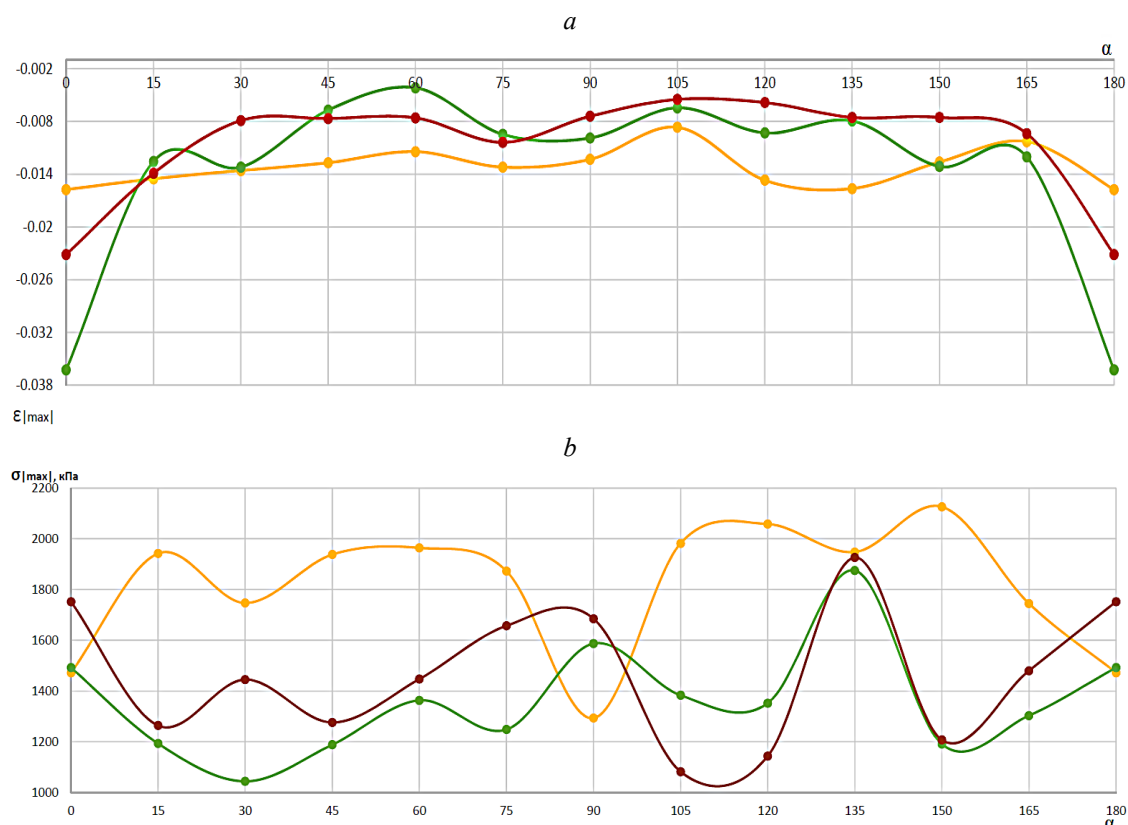


Рис. 2. Значения максимальных вертикальных деформаций (а) и напряжений (б) от угла поворота α сечения модели: — — естественное основание; — — закрепление; — — подпорная стена

Fig. 2. Values of the maximum vertical deformations (a) and voltages (b) from the angle of rotation α of the model section: — — natural base; — — pinning; — — retaining wall

Методы исследования.

Объект исследований расположен в Кемеровской области — Кузбассе, в Прокопьевском муниципальном округе, исполнитель работ — «Шахтоуправление «Талдинское — Кыргайское». Название угледобывающего предприятия является конфиденциальной информацией. Согласно данным, представленным в работах [14-16], произошло увеличение не только напряжений, но и деформаций, что свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового основания. Было

предложено дополнительно соорудить подпорную стену из инъекторов, чтобы уменьшить значения деформаций (рис. 1). Были добавлены дополнительные вертикальные инъекторы И-05 длиной 10 м, расположенные в шахматном порядке, в количестве 20 штук.

Реализация описанной ранее геомеханической модели, включающей результаты инженерно-геологических изысканий, позволила сформировать базы данных напряженно-деформированного состояния (НДС) основания сооружения в естественном и закрепленном состояниях [15].

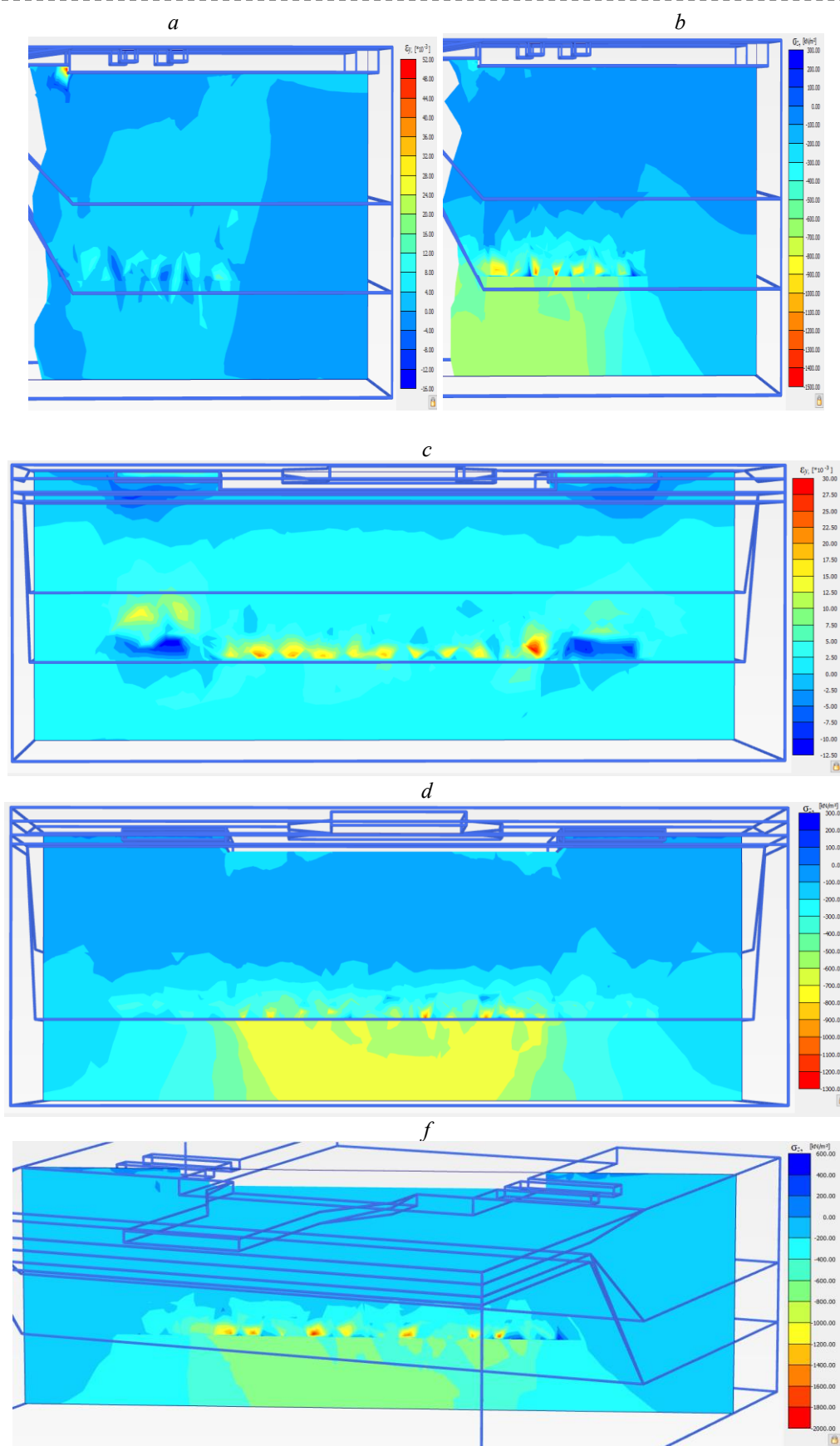


Рис. 3. Распределение деформаций и напряжений в естественном грунтовом массиве:

a, b – под углом $\alpha = 0$ (180°); c, d – $\alpha = 90^\circ$; e, f – $\alpha = 135^\circ$

Fig. 3. Distribution of deformations and voltages in a natural soil massif:

a, b – at an angle of $\alpha = 0$ (180°); c, d – $\alpha = 90^\circ$; e, f – $\alpha = 135^\circ$

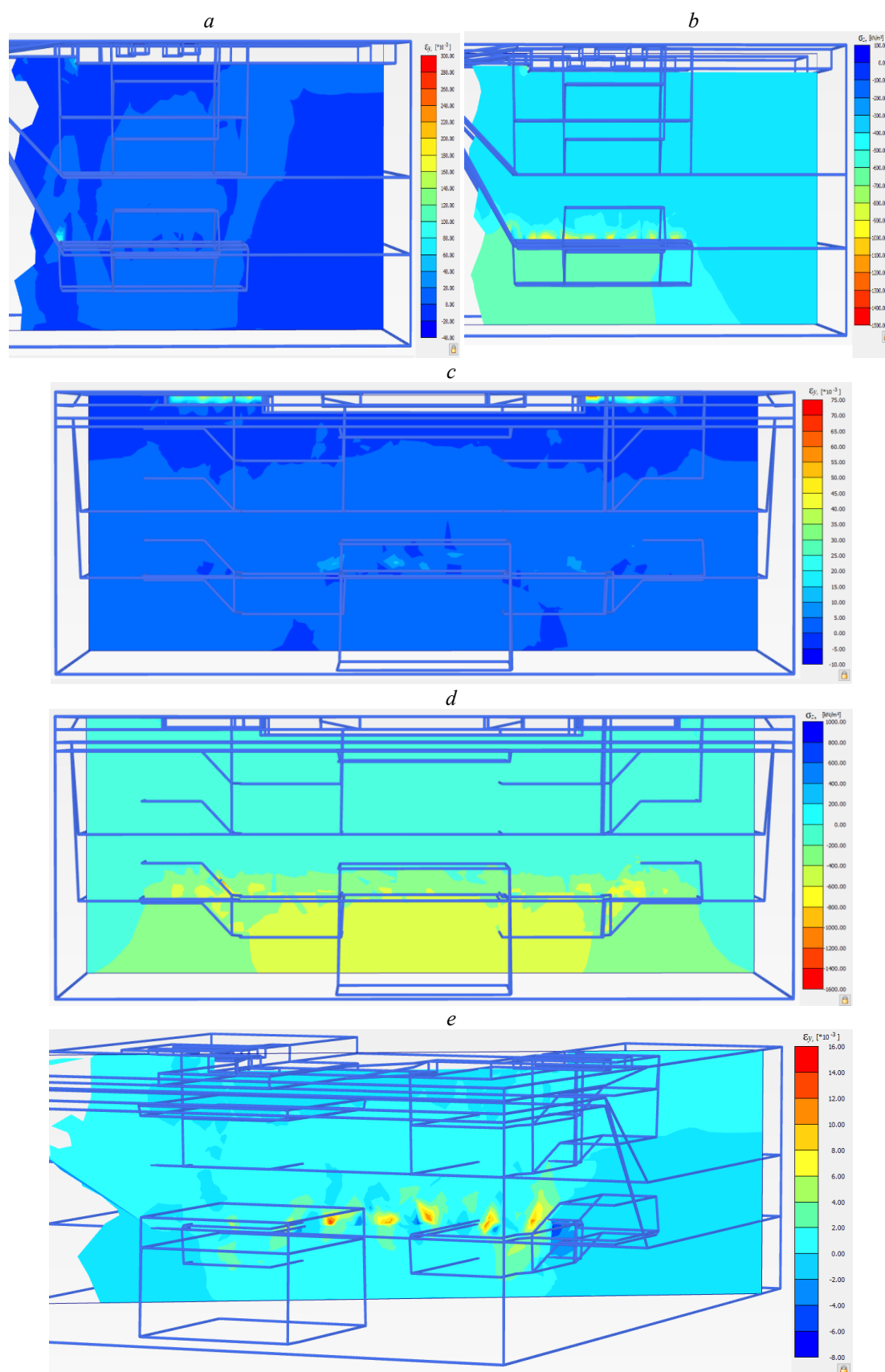


Рис. 4. Распределение деформаций и напряжений в закрепленном грунтовой массе:

a, b – под углом $\alpha = 0$ (180°); c, d – $\alpha = 90^\circ$; e, f – $\alpha = 135^\circ$

Fig. 4. Distribution of deformations and voltages in a pinned soil mass:

a, b – at an angle of $\alpha = 0$ (180°); c, d – $\alpha = 90^\circ$; e, f – $\alpha = 135^\circ$

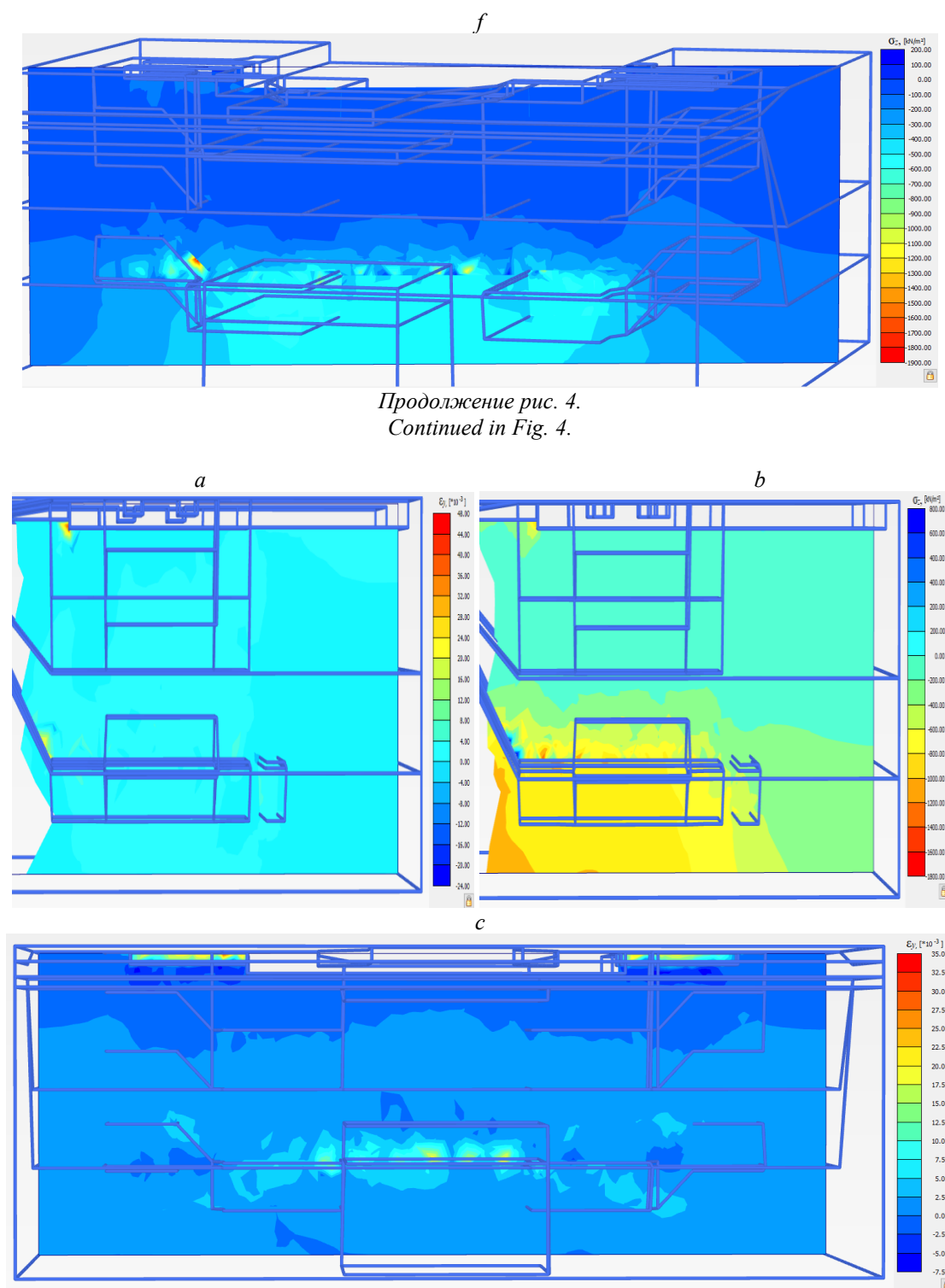


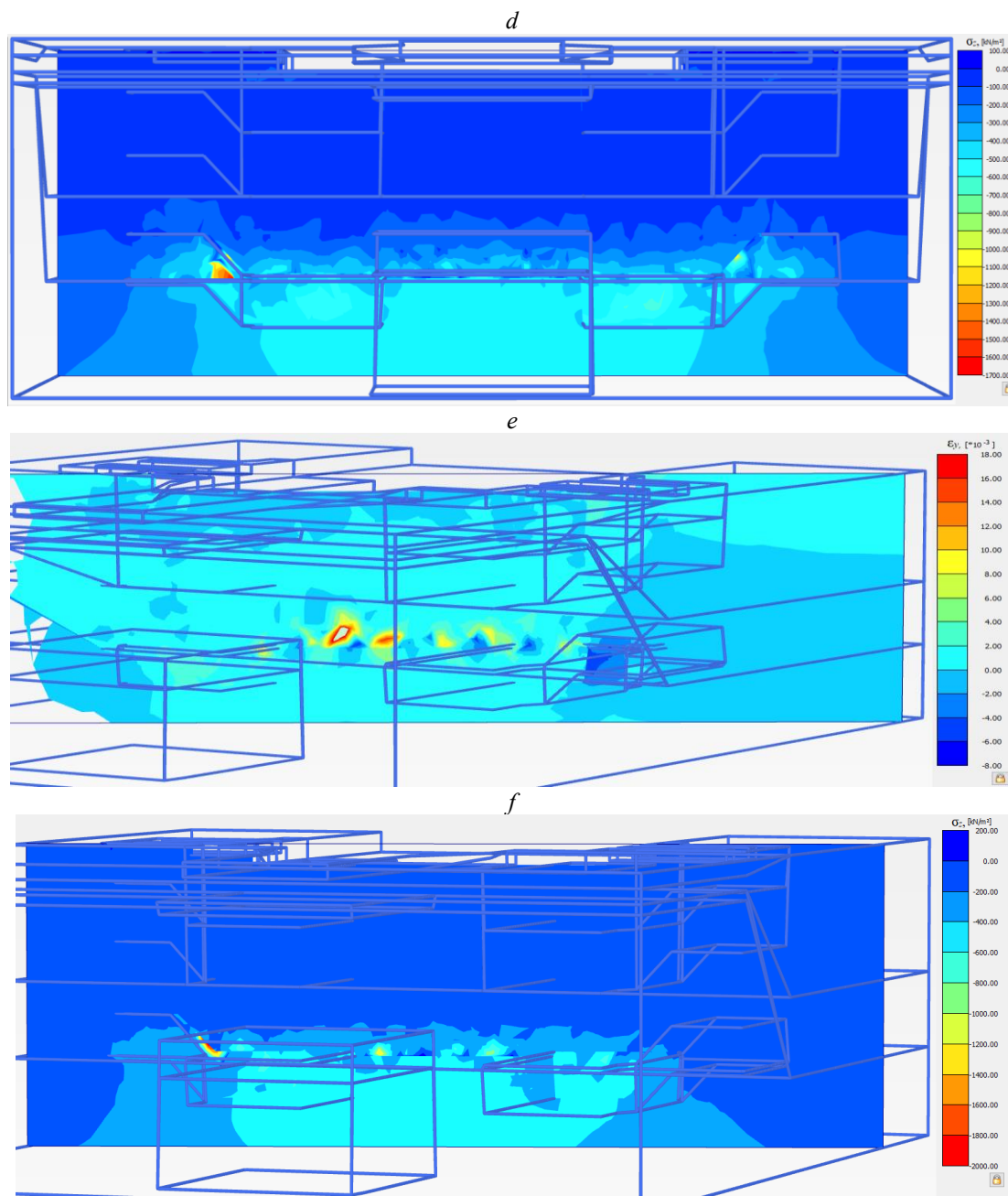
Рис. 5. Распределение деформаций и напряжений в закрепленном грунтовом массиве с подпорной стеной: а, б – под углом $\alpha = 0$ (180°); в, г – $\alpha = 90^\circ$; е, ф – $\alpha = 135^\circ$
 Fig. 5. Distribution of deformations and stresses in a fixed soil mass with a retaining wall: а, б – at an angle of $\alpha = 0$ (180°); в, г – $\alpha = 90^\circ$; е, ф – $\alpha = 135^\circ$

Результаты

Геомеханический прогноз выполнялся в несколько этапов.

На первом этапе с использованием сервиса программного комплекса *Plaxis 3D* были дополнительно проанализированы поля

изолиний напряжений σ_z и деформаций ϵ_x наиболее опасных горизонтальных сечений модели ($z=-1$ м и $z=-9$ м). Поскольку фундаментная плита не имела центра геомеханической симметрии, впервые было



Продолжение рис. 5.
Continued in Fig. 5.

предложено определить геомеханический центр модели. С этой целью для каждого из горизонтальных сечений определили координаты геомеханических центров по формулам

$$X_{c\sigma} = \frac{\sum \sigma_i X_{ci}}{\sum \sigma_i}; Y_{c\sigma} = \frac{\sum \sigma_i Y_{ci}}{\sum \sigma_i};$$

$$X_{c\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i X_{ci}}{\sum \varepsilon_i}; Y_{c\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i Y_{ci}}{\sum \varepsilon_i};$$

где σ_i , ε_i – значения σ и ε полей изолиний на рис. 4, 5; X_{ci} , Y_{ci} – центр тяжести для каждого поля изолиний на Рис. 4, 5 [16].

Результаты представлены в Таблице 1.

Координаты усредненного геомеханического центра модели основания сооружения определяли как среднее из восьми приведенных в Таблице 1 начальных координат: ср. $X_c=7697$ мм; ср. $Y_c=6480$ мм.

Затем были выявлены наиболее опасные вертикальные сечения объемной модели основания на установленном интервале, в пределах которых наблюдались максимальные значения деформаций и напряжений через усредненный геомеханический центр модели. В качестве ключевых параметров были выбраны горизонтальные деформации ε_y и вертикальные напряжения σ_z , которые, как было установлено

Таблица 2. Значения интегральных показателей

Table 2. Values of integral indicators

Модель		$\Sigma \sigma_i S_i$, кПа·м ²	ΣS_i , м ²	$I\sigma_i$, кПа	$\Sigma \varepsilon_i S_i \cdot 10^3$, м ²	ΣS_i , м ²	$I\varepsilon_i$, 10 ³
$\alpha = 0^\circ$ (180°) (рис. 3, 4, 5 (a, b))	t_0	3259,31	18	181,07	-52,372	18	-2,91
	t_1	7124,8		395,82	-330,586		-18,365
	t_2	8386,5		465,916	-31,384		-1,743
$\alpha = 90^\circ$ (рис. 3, 4, 5 (c, d))	t_0	8371,98	35,555	235,465	-128,275	35,555	-3,607
	t_1	10514		295,71	-279,357		-7,857
	t_2	11152,27		313,662	-33,31		-0,936
$\alpha = 135^\circ$ (рис. 3, 4, 5 (e, f))	t_0	4103,56	38,951	105,351	-91,244	35,914	-2,54
	t_1	8210,2		210,782	-43,373		-1,207
	t_2	10521,98		270,133	-11,156		-0,31

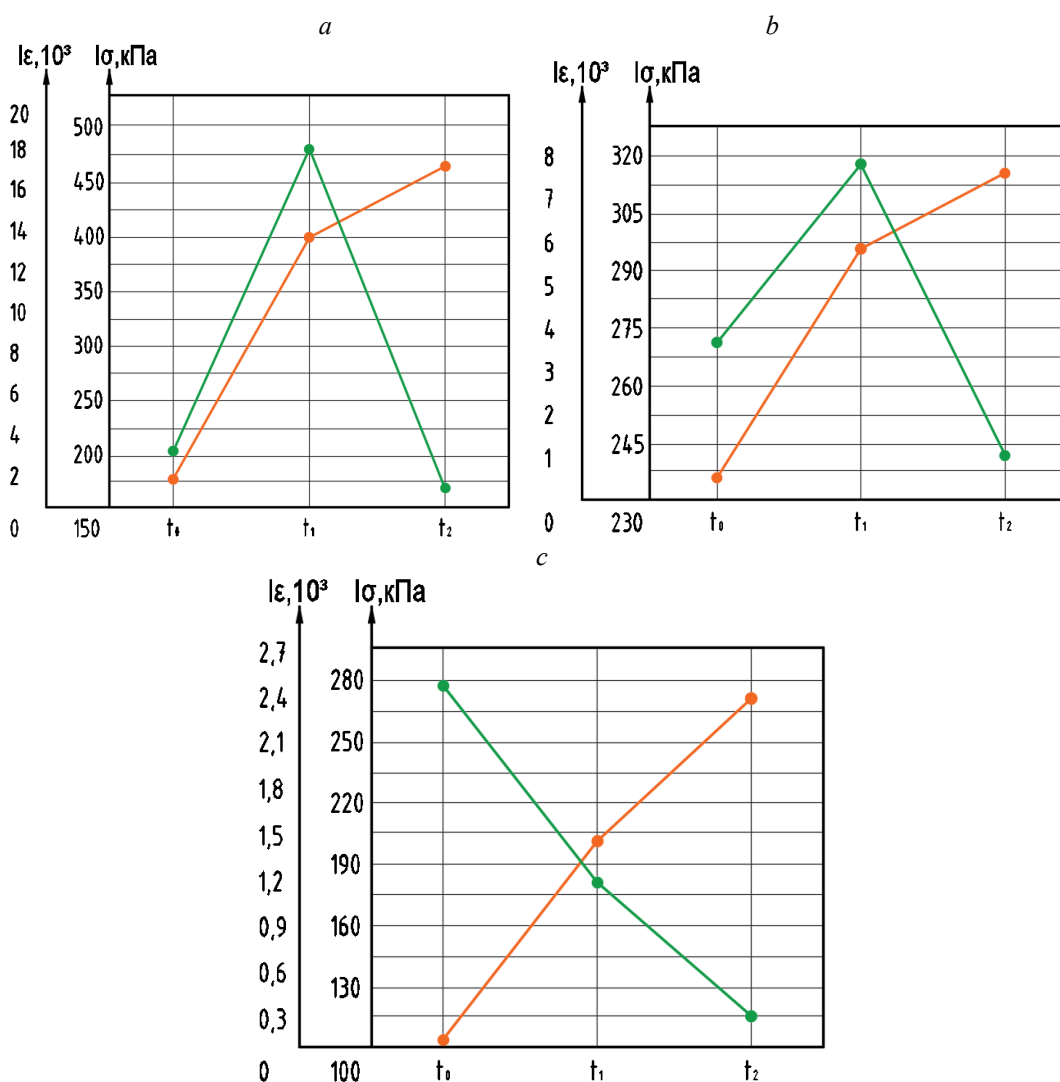


Рис. 6. Изменение интегральных показателей напряжений $I\sigma$ и деформаций $I\varepsilon$, на стадиях «естественное основание – закрепление – с подпорной стеной»: а – под углом $\alpha = 0^\circ$ (180°); б – $\alpha = 90^\circ$; в – $\alpha = 135^\circ$; t_0 – естественное основание; t_1 – закрепление; t_2 – подпорная стена;

— напряжения $I\sigma$; — деформации $I\varepsilon$

Fig. 6. Changes in the integral indices of voltages $I\sigma$ and deformations $I\varepsilon$, at the stages of «natural base – pinning – with a retaining wall»: а – at an angle of $\alpha = 0^\circ$ (180°);

б – $\alpha = 90^\circ$; в – $\alpha = 135^\circ$; t_0 – natural base; t_1 – pinning; t_2 – retaining wall; — voltages $I\sigma$;

— deformations $I\varepsilon$

ранее, в наибольшей степени отражают геодинамические процессы в опорной зоне основания. Проанализировав полученные графики (см. Рис. 2 *a, b*), было решено провести расчетные сечения под углами $\alpha = 0$ (180), 90 и 135 градусов, соответствующими максимальным значениям модулей ε_{max} и σ_{max} . Это позволит более точно определить опасные зоны основания.

В результате второго этапа моделирования были построены расчетные поля напряжений и деформаций грунтового основания фундаментной плиты вентилятора главного проветривания под углами $\alpha = 0$ (180), 90 и 135 градусов в виде полей изолиний НДС грунтового массива для естественного, закрепленного оснований и с подпорной стеной (Рис. 3-5).

Сравнение полей изолиний ε_y и σ_z на Рис. 3-5 дало возможность выявить следующие качественные результаты геомеханических процессов и перераспределения НДС грунтового основания в ходе инъекционного закрепления массива.

1. При $\alpha = 0^\circ$ (180°), 90° и 135° при естественном основании концентрация напряжений σ_z происходит преимущественно под сваями фундамента и ниже плиты на 3-4 м. После закрепления перераспределение напряжений σ_z преимущественно под сваями фундамента и ниже плиты на 3-4 м распространяется за пределы фундаментной плиты. После добавления подпорной стены значения напряжений возрастают, но концентрация напряжений сохраняется так же, как и при первом закреплении, при этом в местах неоднородности грунтового основания концентрация напряжений возрастает.

2. Горизонтальные деформации ε_x в массиве распределяются симметрично относительно оси x . Наибольшие (по модулю) деформации при $\alpha = 0^\circ$ (180°) возникают под сваями. После закрепления значения напряжений и деформаций возрастают, а после добавления подпорной стенки значения деформаций заметно уменьшаются.

3. При $\alpha = 90^\circ$ деформации ε_y распределены под сваями, после закрепления максимальные деформации концентрируются в зонах выдавливания грунтового основания, а под сваями рассеиваются. После добавления подпорной стенки значения деформаций уменьшаются.

4. При $\alpha = 135^\circ$ концентрация деформаций ε_y для всех трех моделей происходит под сваями, в остальном динамика перераспределения деформаций повторяется.

Полученные результаты подтверждают выводы о сложных геомеханических процессах формирования НДС породных и грунтовых

массивов неоднородного строения, приведенные в работах [17-20].

На основе базы данных НДС грунтового основания в естественном (в момент t_0), закрепленном (t_1) и с добавлением подпорной стены (t_2) состояниях целесообразно на третьем этапе провести расчет интегральных показателей, которые позволят количественно оценить устойчивость грунтового основания сооружения. Интегральные показатели для плоского поля изолиний напряжений σ и деформаций ε рассчитываются аналогично формулам, предложенным в работе [13].

Расчет интегральных показателей следует проводить в пределах опорной зоны, которая имеет форму трапеции, верхнее основание которой равно ширине фундамента, боковые стороны наклонены к вертикали под углом, равным углу внутреннего трения ϕ , а высоту принимают равной глубине изменяемой толщи ($h_m = 13,0$ м).

Результаты расчетов интегральных показателей I_σ и I_ε для моментов t_0 , t_1 и t_2 и сечений с разными углами поворота α представлены в Таблице 2.

В графическом виде конечные результаты Таблицы 2 представлены на Рис. 6.

Из результатов расчетов следует, что графики интегральных показателей I_{σ_i} и I_{ε_i} следующим образом отражают геомеханические процессы «естественное основание – закрепление – с подпорной стеной»: в случае естественного основания нормальные вертикальные напряжения σ_z в опорной зоне уменьшаются, в то время как горизонтальные деформации ε_x увеличиваются. При укреплении основания наблюдается рост напряжений и увеличения деформаций. После добавления подпорной стены значения напряжений также возрастают, но уровень деформаций значительно ниже, чем при естественном основании: при $\alpha = 0^\circ$ (180°) в 3,5 раза; при $\alpha = 90^\circ$ в 3,7 раза; при $\alpha = 135^\circ$ в 8 раз.

Основное преимущество объемного геомеханического моделирования заключается в возможности определения наиболее опасного сечения (сектора) основания, нуждающегося в дополнительном укреплении, что недоступно при плоских моделях.

Выводы.

1. Для оснований сооружений с ярко выраженной асимметрией полей изолиний НДС необходимо трехэтапное геомеханическое моделирование, включающее:

- определение усредненного геомеханического центра модели для наиболее опасного интервала глубин горизонтальных сечений;
- установление наиболее опасных вертикальных сечений по максимальным значениям σ и ε в горизонтальных сечениях;

- расчет и анализ интегральных показателей $I\sigma$ и $I\epsilon$.

2. Благодаря подпорной стенке и корректировке схемы закрепления обеспечивается снижение опасных деформаций. По сравнению с двухмерными моделями трехмерная дает возможность проверить любое плоское расчетное сечение и определить наиболее опасные из них.

3. Для рассмотренного объекта получено, что интегральные значения нормальных вертикальных напряжений при закреплении грунтового основания по отношению к естественному грунту увеличиваются на 26–118%, интегральные значения деформаций возрастают на 117–531%. Интегральные значения нормальных вертикальных напряжений с дополнительной подпорной стенкой по отношению к закрепленному грунту увеличиваются на 6–29%, интегральные значения деформаций уменьшаются по сравнению с естественным основанием в 3,5–8 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Должиков П. Н., Псюк М. Ю. Исследование параметров призмы обрушения высоких подпорных стен из зацементированных грунтов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. № 2. С. 134–141.
2. Должиков П. Н., Кипко А. Э., Кириак К. К. Геомеханическое обоснование устройства подпорных стен методом напорной цементации насыпных грунтов // ДонГТУ. 2013. № 41. С. 181–189.
3. Богомолова О. А., Богомолов А. Н., Богомолов С. А. Способ определения прочностных свойств закрепленного грунта основания шахты // Construction and Geotechnics. 2022. № 3 (13). С. 40–49.
4. Bartolomey L. A., Bogomolova O. A., Geydt V. D., Heydt A. V. Computer simulation of the limiting state of the base of the slab foundation, taking into account the rigidity of the above-foundation structure // Construction and Geotechnics. 2023. № 3 (14). Pp. 92–106.
5. Olyansky Y., Shekochihina E., Kalinovskiy S. Forecast of magnitude post-subsidence compaction at the building on slow-subsidence of loess soils // E3S Web of Conferences. 2019. № 97. 04001.
6. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106. 02001.
7. Соколов Н. С., Меркулев А. В. Усиление грунтов основания и усиления конструкции полов здания торгового комплекса // Sciences of Europe. 2021. № 80. С. 3–6.
8. Голованов А. М. [и др.] Опыт закрепления структурно-неустойчивых грунтов цементацией // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 59–66.
9. Шакиров И. Ф., Вилкова А. О. Исследование грунтов, укрепленных инъекцией тонкодисперсных цементов // "Chronos" Естественные и технические науки. 2020. № 5(33). С. 15–17.
10. Простов С. М., Соколов М. В. Анализ напряженно-деформированного состояния укрепляемого однородного грунтового основания на основе интегральных критериев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 6(112). С. 52–62.
11. Koloshina G., Prokopova M., Tkacheva K. Mathematical modeling of the stress-strain state of a soil during the construction of the underground part of unique buildings // Engineering and Digital Education. 2022. № 2647. 60025.
12. Шакиров И. Ф., Гарифуллин Д. Р. Исследование несущей способности и деформаций песчаных грунтов, укрепленных напорной цементацией // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 200–205.
13. Приходченко О. Е., Таржиманов М. А., Таржиманов Э. А., Сычев И. В. Опыт применения метода цементации при закреплении мягкопластичных грунтов в г. Ростове-на-Дону // Научное обозрение. 2014. № 9(3). С. 746–750.
14. Власов М.А., Герасимов О.В., Простов С.М. Особенности геологического строения грунтового основания установки главного проветривания строящейся шахты // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 2 (168). С. 5–21. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-5-21, EDN: AOMMIL № 3. С. 4–13.
15. Власов М.А., Герасимов О.В., Простов С.М. Прогноз устойчивости грунтового основания горнотехнического сооружения с плитным фундаментом на основе объемной геомеханической модели // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 2 (168). С. 22–36. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-22-36, EDN: BCSAYR.
16. Власов М.А., Герасимов О.В., Простов С.М. Прогноз устойчивости грунтового основания горнотехнического сооружения со свайным фундаментом на основе объемной геомеханической модели // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 3 (169). С. 18–31. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-18-31, EDN: UHRCCC
17. Петрухин В. П., Шулятьев О. А., Ибрагимов М. Н., Мозгачева О.А. Способ изменения напряженно-деформированного состояния грунтов основания // Вестник НИЦ Строительство. 2014. № 10. С. 99–109.
18. Сиразиев Л. Ф., Богданов Р. Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния двухслойного грунтового основания плитного фундамента при жестком подстилающем слое // Известия КГАСУ. 2012. № (19). С. 67–73.

19. Габибов Ф. Г., Габибов Ф. Г., Алиева. Л. А. Определение напряженного состояния и прогноз просадки просадочного грунтового основания круглого фундамента // Строительство и архитектура. 2016. № 3. С. 100–102.

20. Terceros Arce M, M. Terceros Arce, M. A. Terceros Herrera. The Use of an Expander Body with Full Displacement Piles in Medium-Dense Sandy Soils Mario // GeoChina. 2016. 142–151.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Власов Максим Алексеевич, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: maxsdss@mail.ru

Герасимов Олег Васильевич, канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Нооцентр», (650056, Россия, г. Кемерово, ул. Ворошилова, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com

Простов Сергей Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: psm.kem@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Власов Максим Алексеевич – обзор литературы по теме исследования, разработка закрепления и компьютерной модели, сбор и анализ данных, написание текста.

Герасимов Олег Васильевич – постановка задачи и организация проведения инженерно-геологических изысканий.

Простов Сергей Михайлович – научный менеджмент, анализ данных, формулировка цели и выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

PREVENTION OF DANGEROUS DEFORMATIONS OF THE SOIL BASE OF THE VENTILATION INSTALLATION BASED ON A VOLUMETRIC GEOMECHANICAL MODEL

Maksim A. Vlasov^{1*}, Oleg V. Gerasimov²,
Sergey M. Prostov¹

¹ T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² ООО «Нооцентр»

* for correspondence: maxsdss@mail.ru



Article info

Received:

12 December 2024

Accepted for publication:

22 April 2025

Accepted:

30 June 2025

Published:

28 August 2025

Abstract.

The object of the study is the building of a shaft ventilation unit under construction. The purpose of the work is to prevent dangerous deformations of the reinforced soil base of a mining facility - the premises of the main ventilation fan of a coal mine on a slab-pile foundation with a retaining wall made of injectors based on a volumetric geomechanical model. For the foundations of structures with pronounced asymmetry of the fields of the VAT isolines, three-stage geomechanical modeling is necessary, including: determination of the average geomechanical center of the model for the most dangerous depth range of horizontal sections; establishment of the most dangerous vertical sections every 15 degrees relative to the geomechanical center of the model according to the maximum values stresses σ and deformations ε in horizontal sections with natural fixed ground bases and with the addition of a retaining wall of injectors; calculation and analysis of integral indicators $I\sigma$ and $I\varepsilon$. Thanks to the retaining wall and the adjustment

Keywords: computer modeling; mining engineering; forecast; stresses; deformations; soil fixation; integral indicator; calculation accuracy.

of the fastening scheme, dangerous horizontal deformations are reduced. Compared with two-dimensional models, three-dimensional models make it possible to check any flat design section and determine the most dangerous of them. For the considered object, it was found that the integral values of normal vertical stresses during the fixation of the soil base with respect to the natural soil increase by 26-118%, the integral values of deformations increase by 117-531%. The integral values of normal vertical stresses with an additional support wall in relation to the fixed soil increase by 6-29%, the integral values of deformations will decrease by 3,5-8 times compared with the natural soil base.

For citation: Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Prostov S.M. Prevention of dangerous deformations of the soil base of the ventilation installation based on a volumetric geomechanical model. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 4(170):18-31. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-18-31, EDN: IHOACM

REFERENCES

1. Dolzhikov P.N., Psyuk M.Yu. Issledovanie parametrov prizmy obrusheniya vysokih podpornykh sten iz zain"ektirovannykh gruntov [Investigation of the parameters of the prism of the collapse of high retaining walls from injected soils]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle [Izvestiya TulSU. Earth Sciences]*. 2016;2:134–141.
2. Dolzhikov P.N., Kipko A.E., Kiriya K.K. Geomekhanicheskoe obosnovanie ustrojstva podpornykh sten metodom napornoj cementacii nasypnykh gruntov [Geomechanical substantiation of the device of retaining walls by the method of pressure cementation of bulk soils]. *DonGTU [DonGTU]*. 2013; 41:181–189.
3. Bogomolova O.A., Bogomolov A.N., Bogomolov S.A. Sposob opredeleniya prochnostnykh svoystv zakreplennogo grunta osnovaniya shahty [Method for determining the strength properties of the fixed soil of the mine base]. *Construction and Geotechnics*. 2022; 13(3):40–49.
4. Bartolomey L.A., Bogomolova O.A., Geydt V.D., Heydt A.V. Computer simulation of the limiting state of the base of the slab foundation, taking into account the rigidity of the above-foundation structure. *Construction and Geotechnics*. 2023; 14(3):92–106.
5. Olyansky Y., Shekochihina E., Kalinovsky S. Forecast of magnitude post-subsidence compaction at the building on slow-subsidence of loess soils. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:04001.
6. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 106:02001.
7. Sokolov N.S., Merkulov A.V. Usilenie gruntov osnovaniya i usileniya konstrukcii polov zdaniya trgovogo kompleksa [Reinforcement of the foundation soils and reinforcement of the floor structure of the shopping complex building]. *Sciences of Europe*. 2021; 80:3–6.
8. Pashkov V.I., Revo G.A., Pashkov D.V., Nerchinskij O.V., Turenko R.I. Opyt zakrepleniya strukturno-neustojchivyykh gruntov cementaciej / [Case study of stabilization of structural-unstable soils using grouting]. *Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]*. 2013; 8:59–66.
9. Shakirov I.F., Vilkova A.O. Issledovanie gruntov, ukreplennykh in"ekciej tonkodispersnykh cementov [Investigation of soils reinforced by injection of fine cements]. *"Chronos" estestvennye i tekhnicheskie nauki ["Chronos" natural and technical sciences]*. 2020; 33:5:15–17.
10. Prostov S.M., Sokolov M.V. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ukreplyaemogo odnorodnogo gruntovogo osnovaniya na osnove integral'nykh kriteriev [Analysis of the stress-strain state of a reinforced homogeneous soil base based on integral criteria]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]*. 2015; 112(6):52–62.
11. Koloshina G., Prokopova M., Tkacheva K. Mathematical modeling of the stress-strain state of a soil during the construction of the underground part of unique buildings. *Engineering and Digital Education*. 2022; 2647:60025.
12. Shakirov I.F., Garifullin D.R. Issledovanie nesushchej sposobnosti i deformatsiy peschanykh gruntov, ukreplennykh napornoj cementaciej [Investigation of the bearing capacity and deformation of sandy soils reinforced with pressure cementation]. *Izvestiya KGASU [KGASU News]*. 2015; 34(4):200–205.
13. Prihodchenko O.E., Tarzhimanov M.A., Tarzhimanov E.A., Sychev I.V. Opyt primeneniya metoda cementacii pri zakreplenii myagko-plastichnykh gruntov v g. Rostove-na-Donu [Experience of using the cementation method for fixing soft-plastic soils in Rostov-on-Don]. *Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]*. 2015; 3(9):746–750.
14. Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Prostov S.M. Features of the geological structure of the soil base of the installation of the main ventilation of the mine under construction. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 2(168):5-21. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-5-21, EDN: AOMMIL

15. Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Prostov S.M. Forecast of stability of the soil base of a mining facility with a slab foundation based on a volumetric geomechanical model. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 2(168):22-36. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-22-36, EDN: BCSAYR

16. Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Prostov S.M. Forecast of stability of the soil base of a mining facility with a pile foundation based on a volumetric geomechanical model. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 3(169):18-31. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-18-31, EDN: UHRCCC

17. Petruhin V.P., Shulyat'ev O.A., Ibragimov M.N., Mozgacheva O.A. Sposob izmeneniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gruntov osnovaniya [Method of changing the stress-strain state of the

foundation soils]. *Vestnik NIC Stroitel'stvo* [Bulletin of the NIC Construction]. 2014; 10:99–109.

18. Siraziev L.F., Bogdanov R.R. Eksperimental'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dvuhslonjogo gruntovogo osnovaniya plitnogo fundamenta pri zhestkom podstilayushchem sloe [Experimental researches of deflected mode of double layered soil basis of slab foundation with rigid underlay]. *Izvestiya KGASU* [KGASU News]. 2012; 19(1):67–73.

19. Gabibov F.G., Gabibov F.G., Alieva. L.A. Opredelenie napryazhennogo sostoyaniya i prognoz prosadki prosadochnogo gruntovogo osnovaniya kruglogo fundamenta [Determination of the stress state and forecast of subsidence of the subsidence of the soil base of the round foundation]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Construction and architecture]. 2016; 3:100–102.

20. Terceros Arce M, M. Terceros Arce, M. A. Terceros Herrera. The Use of an Expander Body with Full Displacement Piles in Medium-Dense Sandy Soils Mario. *GeoChina*. 2016. Pp. 142–151.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Maksim A. Vlasov, postgraduate, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: maxsdss@mail.ru

Oleg V. Gerasimov, C. Sc. in Engineering, general manager, ООО «Noocentr», (650056, Russia, Kemerovo, Voroshilov St, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com

Sergey M. Prostov, Dr. Sc. in Engineering, Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: psm.kem@mail.ru

Contribution of the authors:

Maksim A. Vlasov – a review of the literature on the research topic, the development of a fixing and computer model, data collection and analysis, writing a text.

Oleg V. Gerasimov – setting the task and organizing engineering and geological surveys.

Sergey M. Prostov – scientific management, data analysis, formulation of goals and conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

