

Научная статья

УДК 624.131.7

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-2-22-36

## ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ С ПЛИТНЫМ ФУНДАМЕНТОМ НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Власов Максим Алексеевич<sup>1\*</sup>, Герасимов Олег Васильевич<sup>2</sup>,  
Простов Сергей Михайлович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

<sup>2</sup>ООО «Нооцентр»

\* для корреспонденции: maxsdss@mail.ru



### Информация о статье

Поступила:

14 октября 2024 г.

Одобрена после  
рецензирования:

22 января 2025 г.

Принята к публикации:

30 апреля 2025 г.

Опубликована:

11 июня 2025 г.

### Ключевые слова:

компьютерное моделирование,  
горнотехническое  
сооружение, прогноз,  
напряжения, деформации,  
закрепление грунтов,  
интегральный показатель,  
точность расчета, крен

### Аннотация.

Рассмотрен аварийный участок сооружения установки противопожарной ляды строящейся вентиляционной установки угольной шахты. По результатам инженерно-геологических изысканий установлено, что основной причиной возникновения опасных деформаций фундаментов конструкций является наличие слабого несущего слоя основания из насыпного грунта и угля, что способствует повышению деформаций и перемещений, возникновению крена фундаментной плиты. На основе инженерно-геологических изысканий были разработаны две расчетные конечно-элементные схемы объемной модели, включающей прогноз напряженно-деформированного состояния (НДС) массива при естественном и закрепленном состояниях грунтового основания. Были проанализированы расчетные вертикальные сечения через каждые 15 градусов относительно центра опоры, на основе этого были определены наиболее опасные сечения, особенно характерны сечения (0, 45, 90, 135 градусов) с распределением напряжений и деформаций для обеих моделей грунтового основания. Для более точного прогнозирования устойчивости основания сооружения были определены интегральные показатели НДС для каждого угла поворота сечения при естественном грунтовом основании и при его закреплении. На основе результатов геомеханического прогноза было предложено использовать дополнительные инъекторы в зонах наиболее опасных сечений, что позволит повысить устойчивость фундамента, разработан план и схема расположения инъекторов, определены длины инъекторов, шаг и зоны закрепления основания. Сопоставление локальных и интегральных параметров НДС показало, что вертикальные нормальные напряжения после закрепления ослабленной зоны возросли по сравнению с естественным основанием, а значения горизонтальных деформаций массива основания уменьшились. Проведена оценка повышения точности расчета максимальных напряжений и деформаций за счет объемной постановки решаемой задачи, которое составило 6,22% и 41,69% соответственно.

**Для цитирования:** 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

Введение.

Для укрепления оснований горнотехнических сооружений существует целый ряд способов инъекционного закрепления (уплотнения) [1-8]. Одним из наиболее эффективных является метод напорной инъекции, который позволяет значительно улучшить характеристики грунта и обеспечить надежность конструкций. Напорная инъекция заключается в принудительном введении инъекционных растворов в грунт под высоким давлением, обеспечивающим частичный гидроразрыв, что способствует равномерному распределению закрепляющего

материала и заполнению пустот.

Процесс начинается с подготовки скважин, где размещаются инъекционные трубы (инъекторы). Затем в скважины подается специальный раствор, который может включать цементные смеси, полимеры или химические реагенты. Применение различных типов растворов позволяет адаптироваться к специфике грунта и условиям эксплуатации.

Эффективность метода напорной инъекции доказана в ходе многих проектов, где он использовался для обеспечения устойчивости

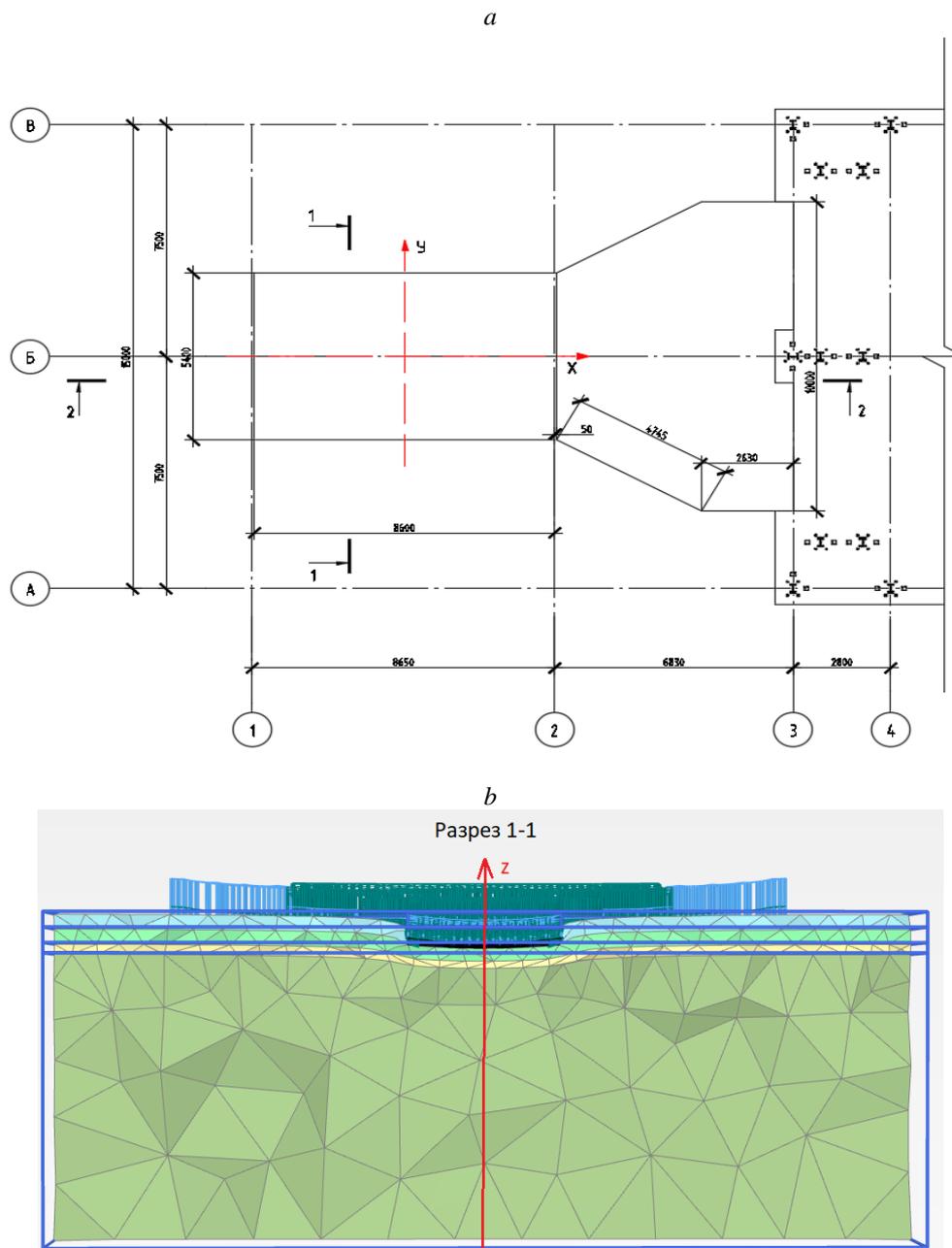


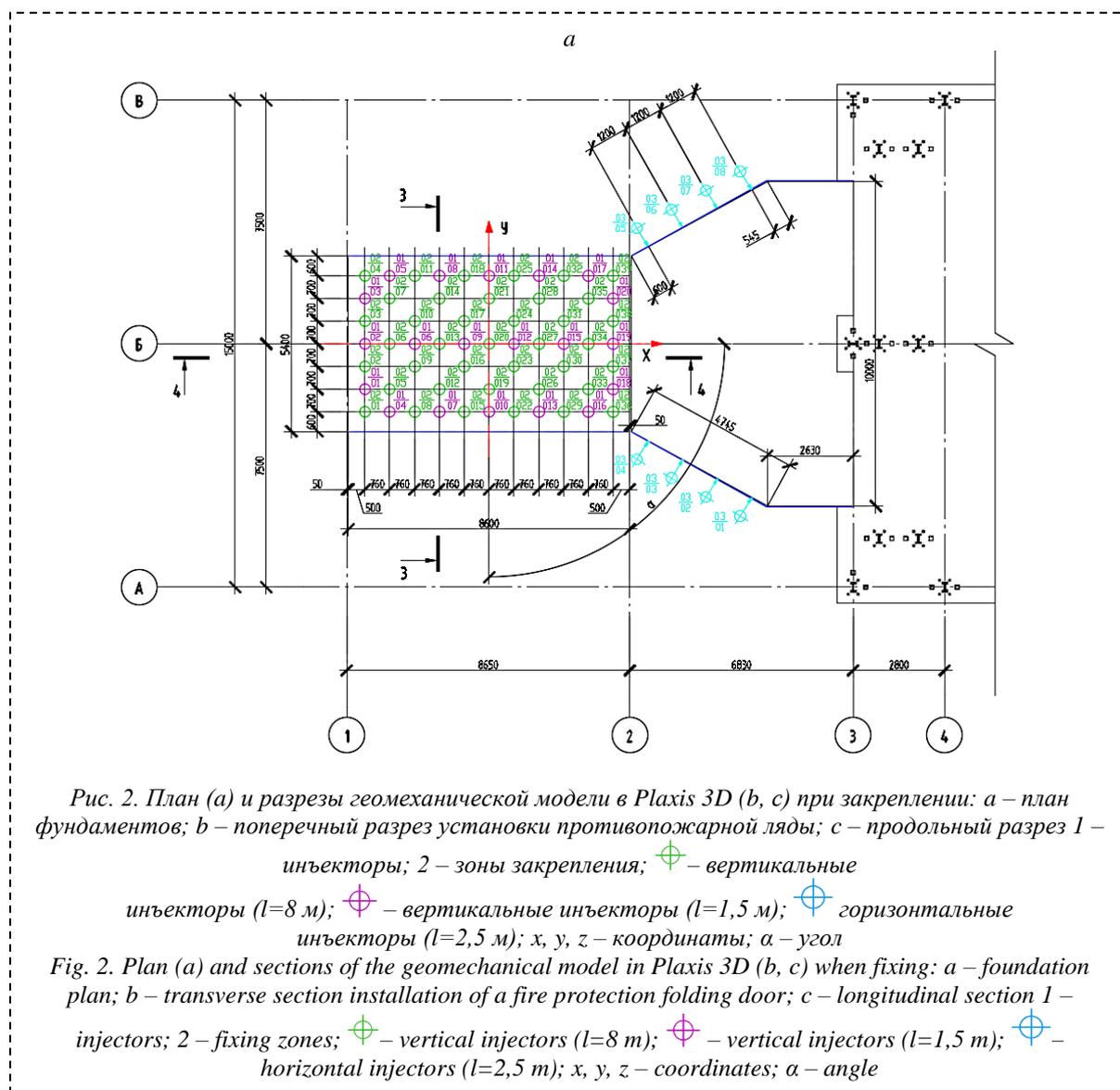
Рис. 1. План (а) и разрезы геомеханической модели в Plaxis 3D (b, c) в естественном грунтовом массиве: а – план фундаментов; b – поперечный разрез установки противопожарной ляды; c – продольный разрез

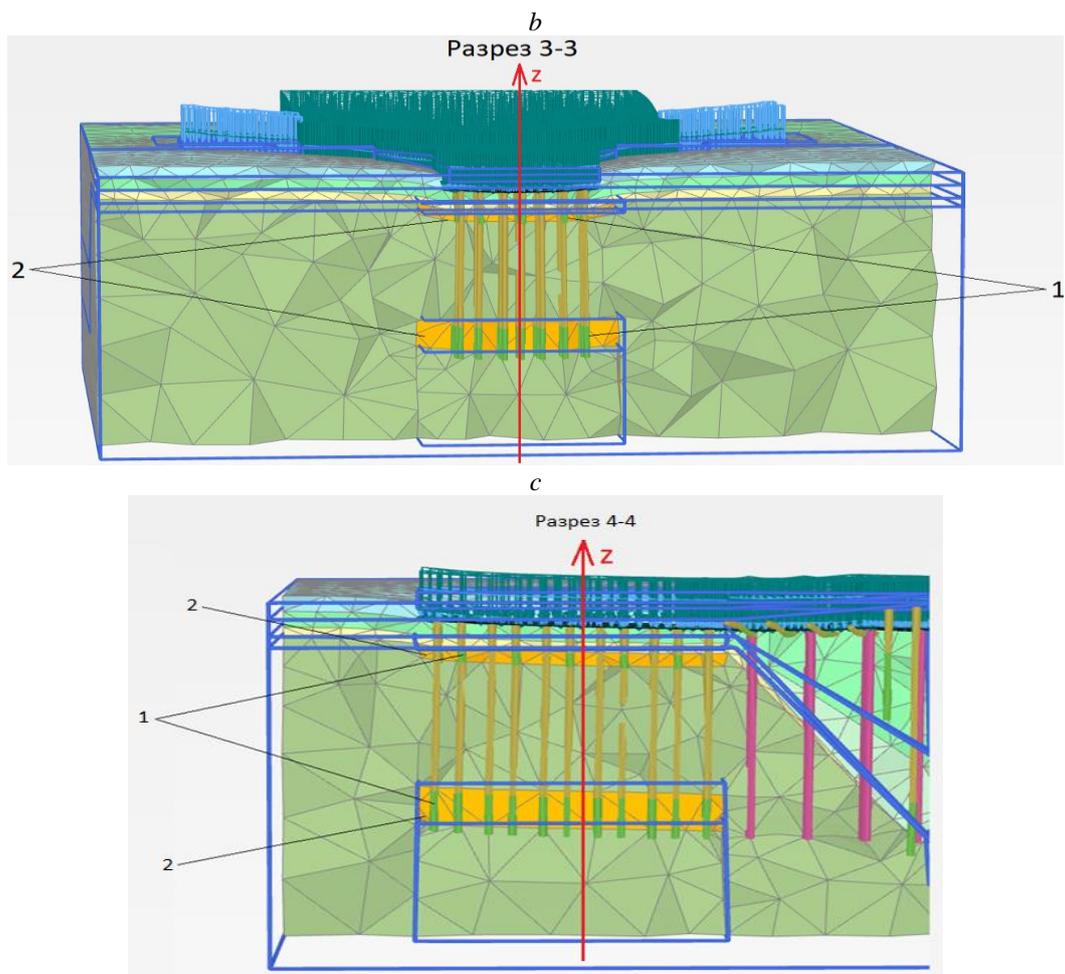
Fig. 1. Plan (a) and sections of the geomechanical model in Plaxis 3D (b, c) in a natural soil mass: a – foundation plan; b – transverse section installation of a fire protection folding door; c – longitudinal section

фундаментов зданий, мостов и других инженерных сооружений. Такой подход позволяет сокращать сроки строительных работ и снижать затраты на укрепление оснований, что

делает его незаменимым инструментом в современных геотехнических практиках.

Инъекционное закрепление грунтов





Продолжение рис. 2.  
Continued in fig. 2.

применяется для решения различных задач в строительстве и горном деле, в том числе: укрепление оснований зданий и сооружений, склонов и откосов; создание противодиффузионных завес; укрепление неустойчивых грунтов при прокладке тоннелей и шахт; строительство дорог и мостов; добыча полезных ископаемых. Практика показывает, что инъекционное закрепление грунтов – эффективный способ повышения устойчивости оснований горнотехнических сооружений [9-11].

Целью исследования является прогноз устойчивости укрепляемого грунтового основания горнотехнического сооружения – помещения противопожарной ляды установки главного проветривания строящейся шахты (название предприятия является конфиденциальной информацией).

#### Методы исследования.

Объект расположен в Кемеровской области – Кузбассе, в Прокопьевском муниципальном округе, исполнителем работ является «Шахтоуправление «Галдинское – Кыргайское». Согласно данным визуальных обследований, инженерно-геологических изысканий и геодезического мониторинга, данное сооружение

находится в аварийном состоянии: выявлены существенные неравномерные оседания фундаментной плиты установки противопожарной ляды, образование которых связано со слабым основанием; возникли деформации и крен фундамента [12].

Фундамент установки противопожарной ляды представлен плитным железобетонным фундаментом с размерами 5,4×8,6 м в плане и залегает до отметки -0,470 м (Рис. 1 а). На основе баз данных инженерно-геологических изысканий разработана объемная конечно-элементная модель объекта, основная схема которой представлена на Рис. 1 б, с.

С целью увеличения устойчивости сооружений, согласно базовым методикам, были разработаны планы и схемы закрепления грунтов методом напорной инъекции (Рис. 2). Для фундаментной плиты установки противопожарной ляды были предусмотрены вертикальные инъекторы длиной 8 и 1,5 м, расположенные в шахматном порядке. Вертикальные инъекторы длиной 1,5 м служили для снижения деформаций под подошвой фундамента, 8 м – для уменьшения горизонтальных перемещений. Горизонтальные

инъекторы длиной 2,5 м были предусмотрены для уменьшения деформаций под фундаментной плитой, возникающих из-за неоднородности грунтового основания и предотвращения разности осадки между плитами.

На основе приведенных данных и алгоритмов, описанных в работе [13], были

назначены основные параметры геомеханической модели для рассматриваемого случая: ширина в продольном направлении  $b_{m1} = 34,0$  м, а в поперечном –  $b_{m2} = 39,0$  м; высота модели  $h_m = 13,0$  м. Граничные условия в виде ограничений перемещений накладываются аналогично принятым в работах [14, 15]. Линией

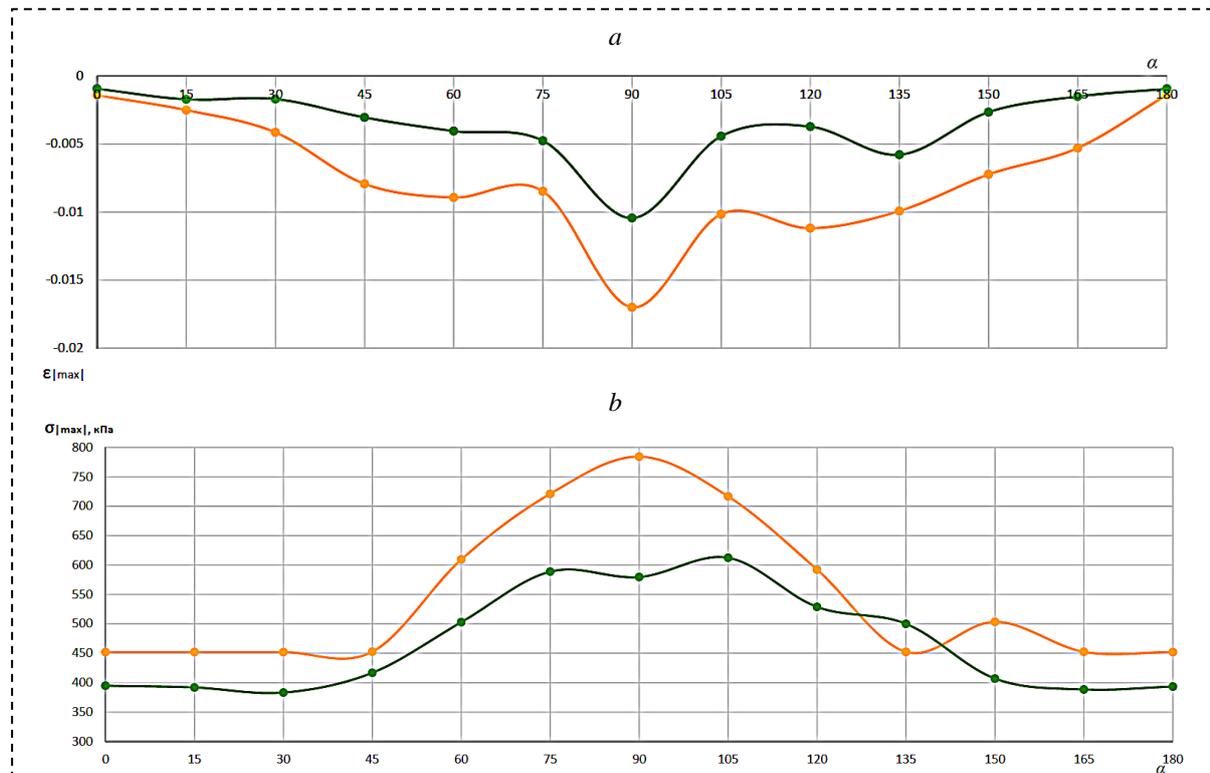


Рис. 3. Значения максимальных вертикальных деформаций (a) и напряжений (b) от угла поворота  $\alpha$  сечения модели: — — естественное основание; — — закрепление  
 Fig. 3. Values of the maximum vertical deformations (a) and voltages (b) from the angle of rotation  $\alpha$  of the model section: — — natural base; — — pinning

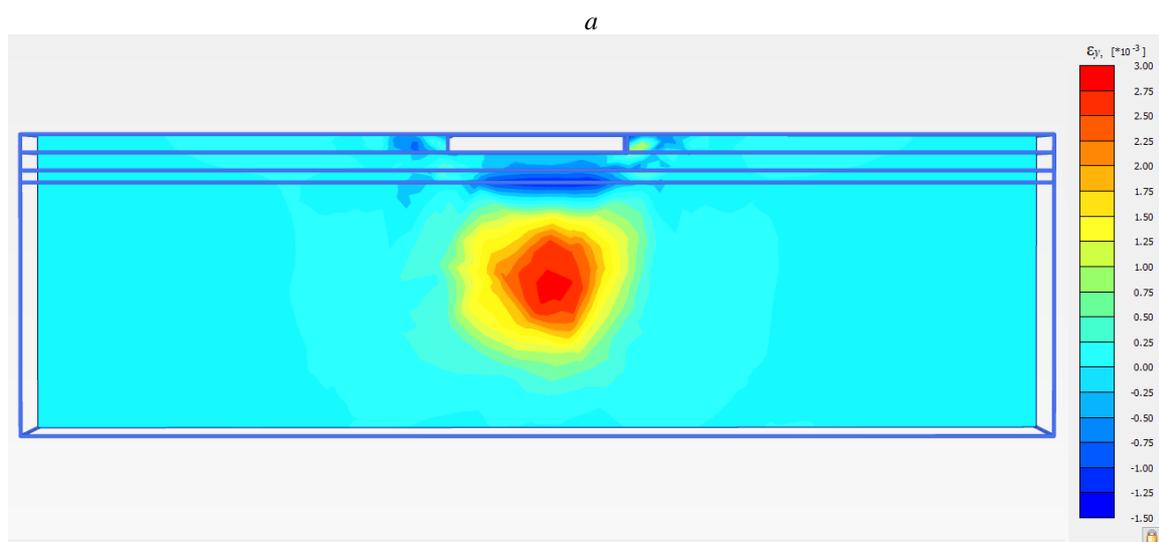
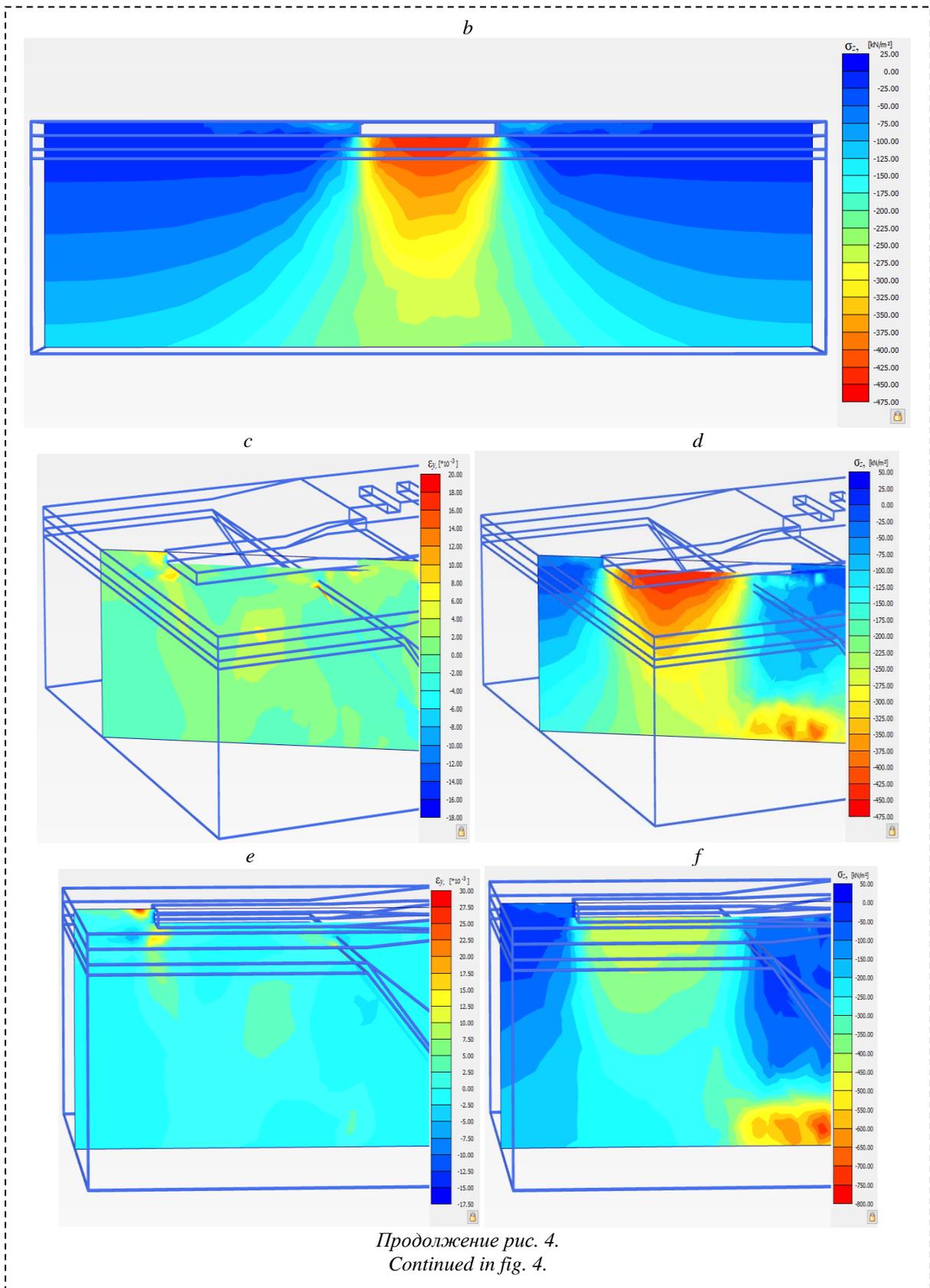


Рис. 4. Распределение деформаций и напряжений в естественном грунтовом массиве: a, b – под углом  $\alpha = 0$  ( $180^\circ$ ); c, d –  $\alpha = 45^\circ$ ; e, f –  $\alpha = 90^\circ$ ; g, h –  $\alpha = 135^\circ$

Fig. 4. Distribution of deformations and voltages in a natural soil massif:  
 a, b – at an angle of  $\alpha = 0$  ( $180^\circ$ ); c, d –  $\alpha = 45^\circ$ ; e, f –  $\alpha = 90^\circ$ ; g, h –  $\alpha = 135^\circ$

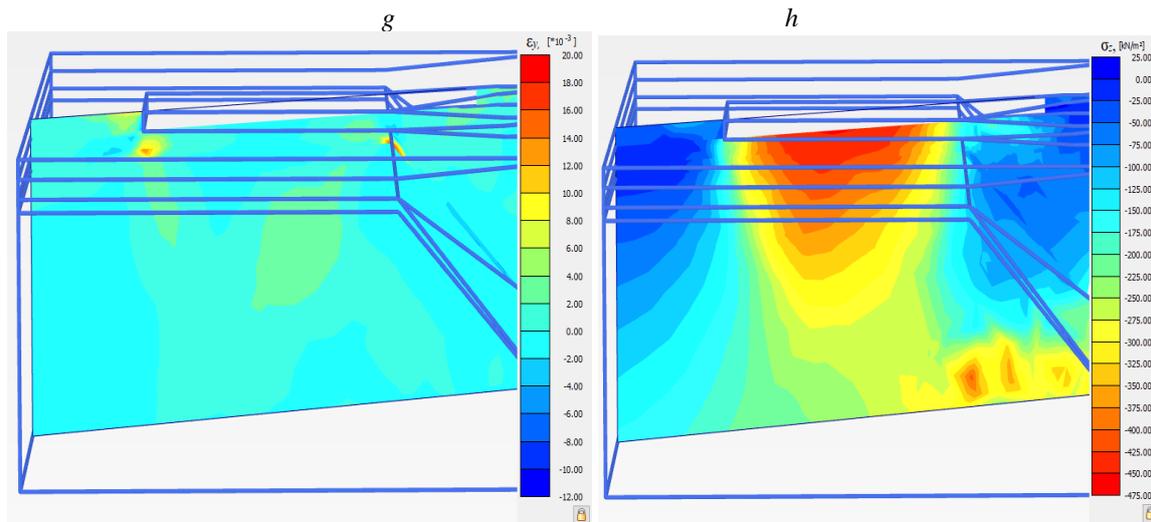


Продолжение рис. 4.  
Continued in fig. 4.

приложения нагрузки по высоте считается верхняя грань фундамента (обрез).

Ранее приведенные компьютерные расчеты позволили сформировать базы данных

напряженно-деформированного состояния (НДС) основания в естественном состоянии и перейти к определению наиболее опасных сечений в объемной геомеханической модели.



Продолжение рис. 4.  
Continued in fig. 4.

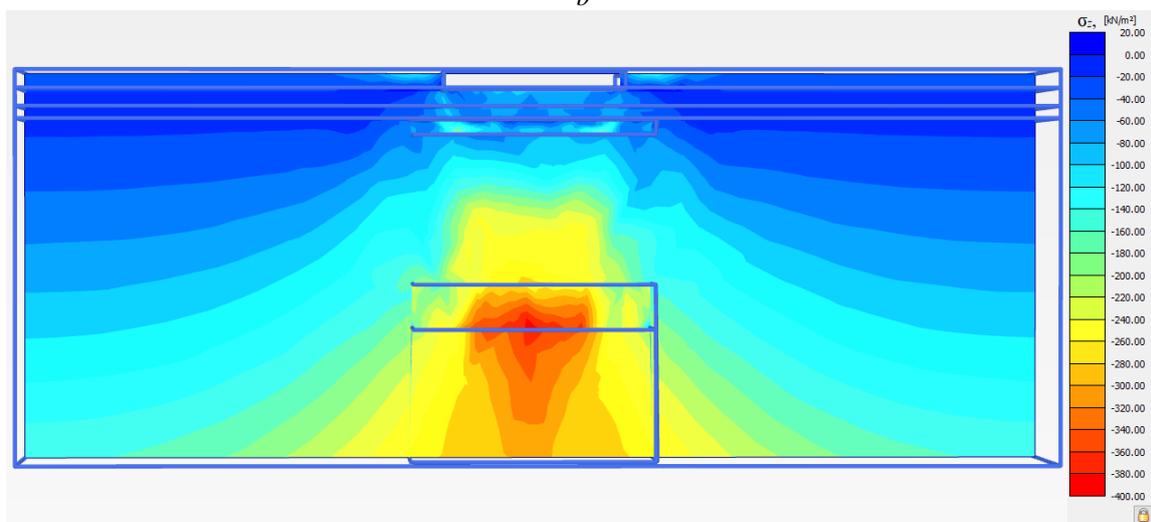
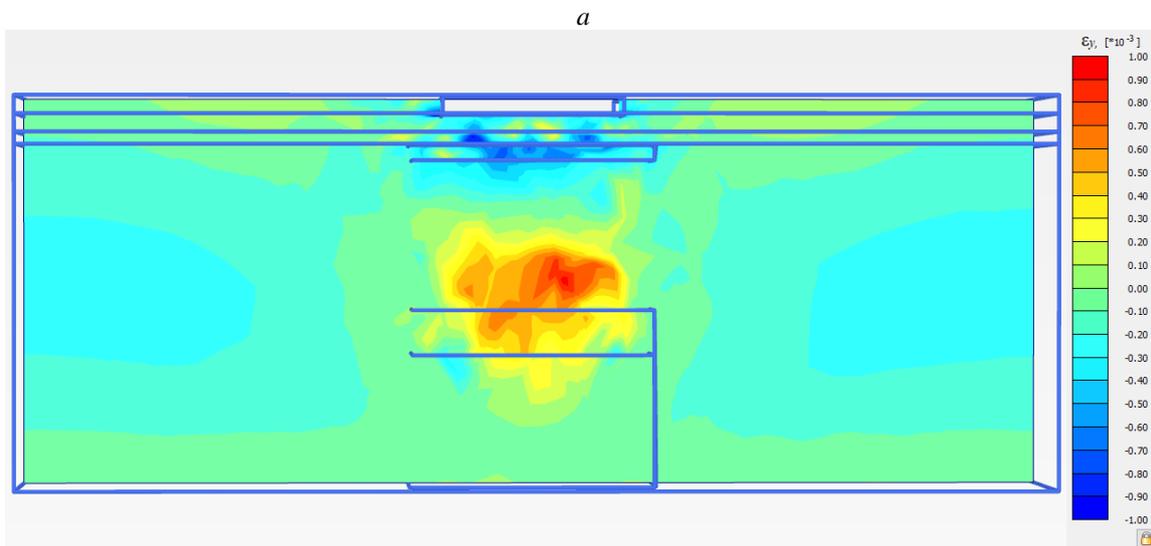
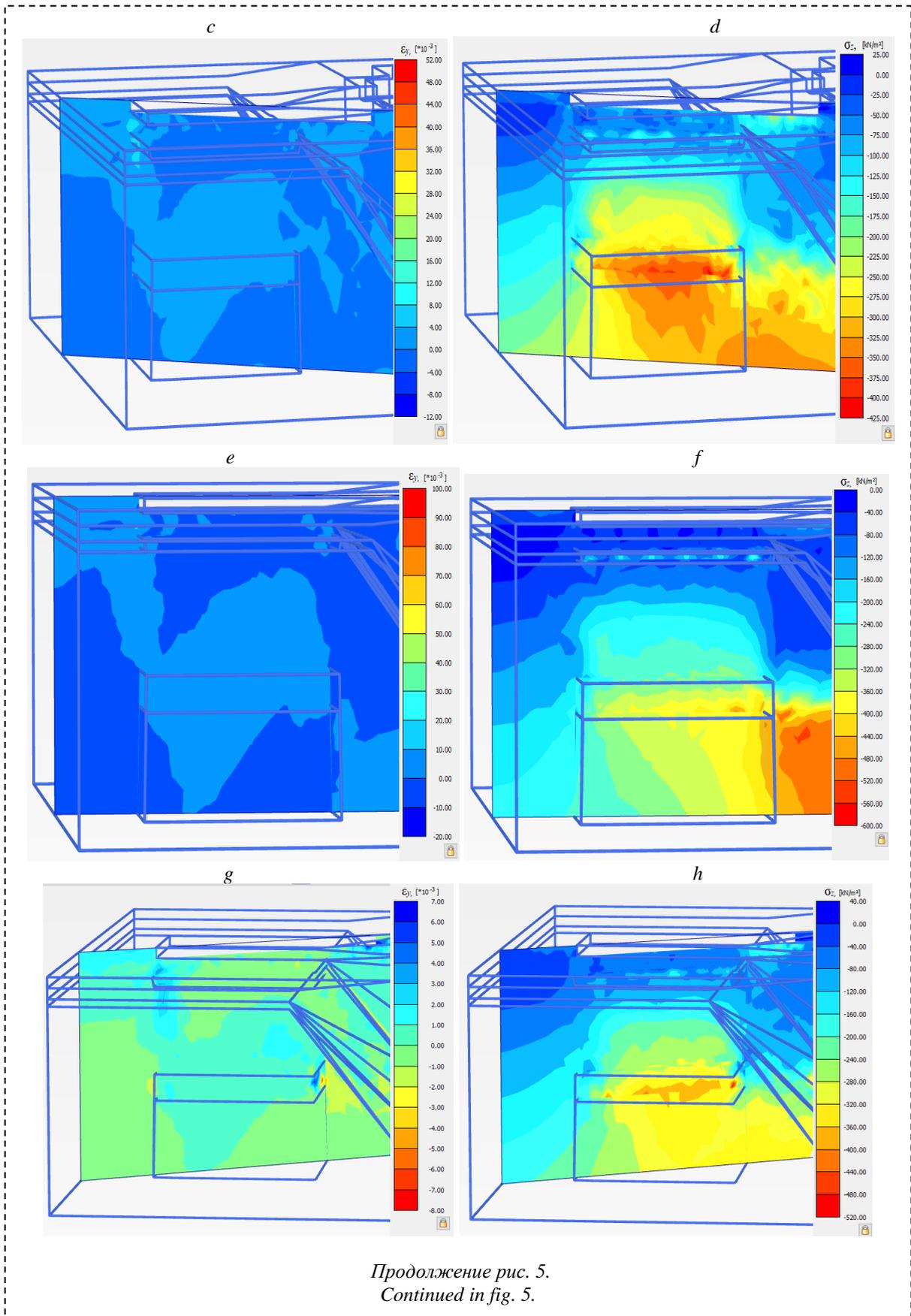


Рис. 5. Распределение деформаций и напряжений в закрепленном грунтовом массиве:  $a, b$  – под углом  $\alpha = 0$  ( $180^\circ$ );  $c, d$  –  $\alpha = 45^\circ$ ;  $e, f$  –  $\alpha = 90^\circ$ ;  $g, h$  –  $\alpha = 135^\circ$   
Fig. 5. Distribution of deformations and voltages in a pinning soil mass:  
 $a, b$  – at an angle of  $\alpha = 0$  ( $180^\circ$ );  $c, d$  –  $\alpha = 45^\circ$ ;  $e, f$  –  $\alpha = 90^\circ$ ;  $g, h$  –  $\alpha = 135^\circ$



Продолжение рис. 5.  
Continued in fig. 5.

**Результаты.**

После выявления наиболее опасных участков объемной модели основания на установленном

интервале, в пределах которых наблюдаются максимальные значения деформаций и напряжений (Рис. 3), в качестве ключевых

параметров были выбраны горизонтальные деформации  $\varepsilon_y$  и вертикальные напряжения  $\sigma_z$ , которые в наибольшей степени отражают геодинамические процессы в опорной зоне

3. Деформации  $\varepsilon_y$  в массиве распределяются неравномерно. Влияние зон закрепления прослеживается в виде перераспределения деформаций из зон подошвы фундамента,

Таблица 1. Значения интегральных показателей  
Table 1. Values of integral indicators

Модель		$\Sigma\sigma_i S_i$ , кПа·м <sup>2</sup>	$\Sigma S_i$ , м <sup>2</sup>	$I\sigma_i$ , кПа	$\Sigma\varepsilon_i S_i \cdot 10^{-3}$ , м <sup>2</sup>	$\Sigma S_i$ , м <sup>2</sup>	$I\varepsilon_i$ , 10 <sup>3</sup>
$\alpha = 0^\circ$ (180°) (рис. 4, 5 (a, b))	$t_0$	2052,173	10,188	201,43	-7,031	10,188	-0,69
	$t_1$	2242,828		220,144	-0,388		-0,038
$\alpha = 45^\circ$ (рис. 4, 5 (c, d))	$t_0$	1109,086	5,476	202,535	-19,327	5,476	-3,529
	$t_1$	1165,335		212,807	-15,634		-2,855
$\alpha = 90^\circ$ (рис. 4, 5 (e, f))	$t_0$	1724,545	6,604	261,136	-21,611	6,604	-3,272
	$t_1$	1848,646		279,928	-18,965		-2,871
$\alpha = 135^\circ$ (рис. 4, 5 (g, h))	$t_0$	1205,168	5,516	218,485	-9,912	5,516	-1,797
	$t_1$	1259,04		228,252	3,205		0,581

основания. Проанализировав полученные графики (см. Рис. 3 a, b), было решено провести расчетные сечения под углами  $\alpha = 0$  (180), 45, 90 и 135 градусов, соответствующими максимальным значениям модулей  $\varepsilon_{max}$  и  $\sigma_{max}$ . Это позволит более точно определить опасные зоны основания.

В результате данного этапа моделирования были построены расчетные сечения фундаментной плиты установки противопожарной ляды под углами  $\alpha = 0$  (180), 45, 90 и 135 градусов в виде полей изолиний НДС грунтового массива для естественного и закрепленного оснований (Рис. 4, 5).

Сравнение полей изолиний  $\varepsilon_y$  и  $\sigma_z$  на Рис. 4 и 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°),  $45^\circ$  и  $135^\circ$  в естественном основании концентрация напряжений  $\sigma_z$  происходит преимущественно под подошвой фундамента. Причем при  $\alpha = 0$ ,  $45^\circ$  и  $135^\circ$  повышенные напряжения возникают в зоне неоднородности грунта. После закрепления перераспределение напряжений  $\sigma_z$  происходит в направлении зоны закрепления грунтового основания. В местах неоднородности грунтового основания концентрация напряжений возрастает.

2. При  $\alpha = 90^\circ$  рост напряжений происходит в зоне неоднородности грунтового основания, под подошвой фундамента концентрация напряжений  $\sigma_z$  минимальна. После закрепления основная концентрация напряжений возникает в зоне закрепления и неоднородности грунтового основания.

возвращая грунтовое основание к исходному естественному состоянию и значительно снижая величину вертикальных оседаний.

4. Горизонтальные деформации  $\varepsilon_y$  при  $\alpha = 0^\circ$  (180°) распределены под фундаментами, после закрепления максимальные деформации находятся в зонах закрепления.

5. При  $\alpha = 45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$  после закрепления происходит снижение деформаций  $\varepsilon_y$ .

Полученные результаты подтверждают выводы о сложных геомеханических процессах формирования НДС породных и грунтовых массивов неоднородного строения, приведенных в работах [16-21].

На основе базы данных НДС грунтового основания в естественном (в момент  $t_0$ ) и закрепленном ( $t_1$ ) состояниях целесообразно провести расчет интегральных показателей, которые позволят количественно оценить устойчивость грунтового основания сооружения. Интегральные показатели для плоского поля изолиний напряжений  $\sigma$  и деформаций  $\varepsilon$  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  $\varphi$ , а высоту принимают равной глубине изменяемой толщи ( $h_m = 13,0$  м).

Результаты расчетов интегральных показателей  $I\sigma$  и  $I\varepsilon$  для моментов  $t_0$  и  $t_1$  и сечений с разными углами поворота  $\alpha$  представлены в Таблице 1.

В графическом виде конечные результаты Таблицы 1 представлены на Рис. 6, причем значения деформаций при закреплении для сечения 135° увеличиваются и меняют знак на противоположный.

Результаты расчетов показывают, что графики интегральных показателей  $I\sigma_t$  и  $I\epsilon_t$  отражают геомеханические процессы в укрепляемом и естественном грунтовом основании следующим образом: в случае естественного основания нормальные вертикальные напряжения в опорной зоне имеют пониженный уровень, в то время как горизонтальные деформации относительно высокие. При укреплении основания наблюдается рост напряжений и снижение деформаций.

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

Для приближенной количественной оценки повышения точности геомеханического прогноза

можно воспользоваться результатами расчета, приведенными на Рис. 3.

Определим показатель повышения точности расчета:

- для напряжений

$$\delta_\sigma = \left( \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cp}} - 1 \right) \times 100\% = 6,22\%;$$

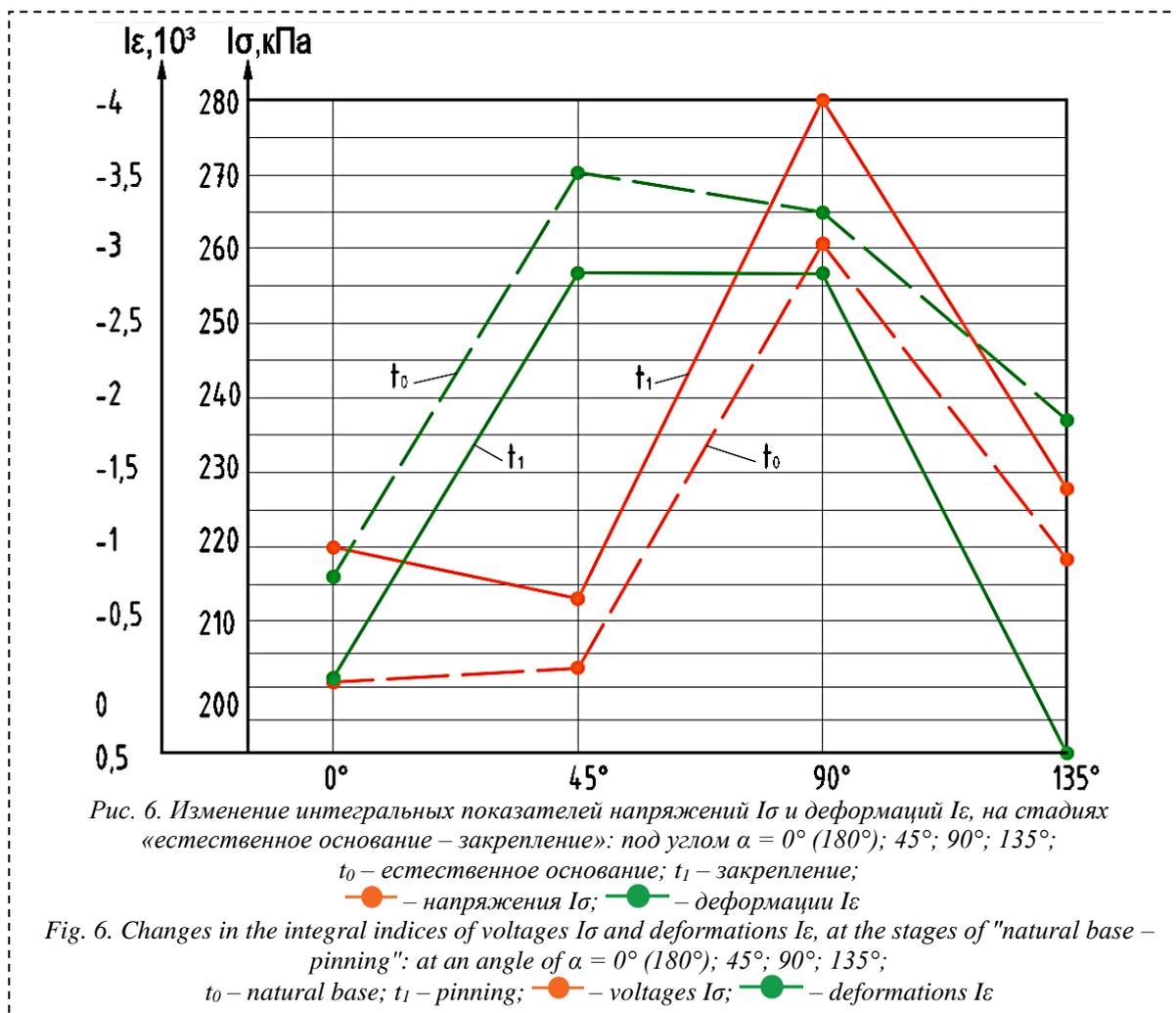
- для деформаций

$$\delta_\epsilon = \left( \frac{\epsilon_{max}}{\epsilon_{cp}} - 1 \right) \times 100\% = 41,69\%;$$

где  $\sigma_{max}$ ,  $\epsilon_{max}$  – максимальные (по модулю) значения  $\sigma$  и  $\epsilon$  на Рис. 3;  $\sigma_{cp}$ ,  $\epsilon_{cp}$  – средние значения  $\sigma$  и  $\epsilon$  для естественного состояния основания.

Для достижения максимального эффекта повышения устойчивости рассматриваемого объекта была предусмотрена установка дополнительных иньекторов в зонах наиболее

опасных сечений закрепляемого участка массива  $\alpha = 45^\circ, 135^\circ$  при его неравномерной нагрузке. Дополнительные зоны установлены в местах неоднородности грунтового основания, из-за



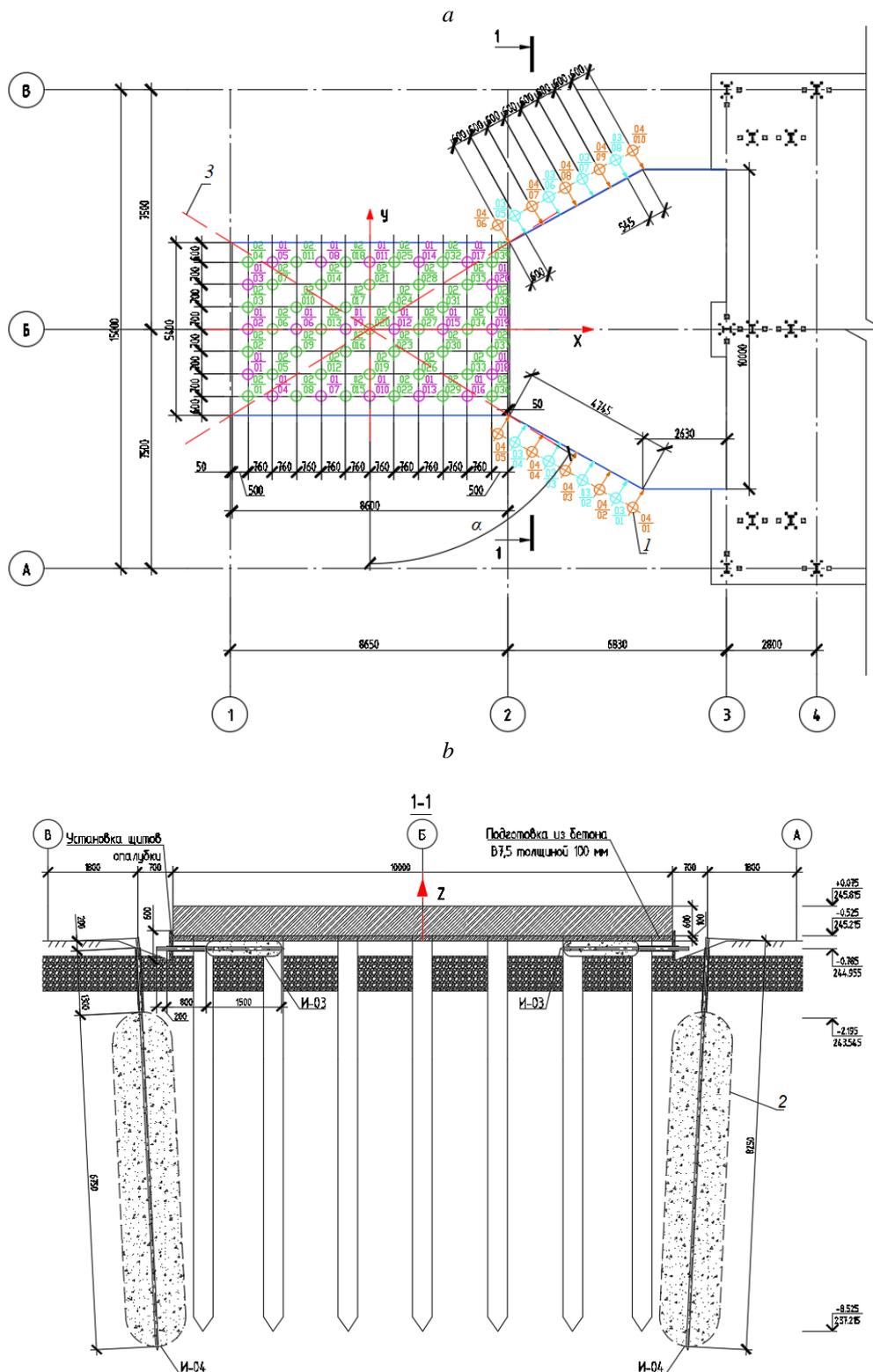


Рис. 7. План (а) и схема закрепления (б) грунтового основания: 1 – дополнительные инъекторы; 2 – зоны закрепления; 3 – наиболее опасные сечения;  $\alpha$  – угол поворота расчетного сечения;  $\oplus$  – вертикальные инъекторы ( $l=1,5$  м);  $\oplus$  – вертикальные инъекторы ( $l=8$  м);  $\oplus$  – горизонтальные инъекторы ( $l=2,5$  м);  $\oplus$  – вертикальные инъекторы ( $l=8,25$  м);

Fig. 7. The plan (a) and the scheme of pinning (b) the soil base: 1 – additional injectors; 2 – fixing zones; 3 – the most dangerous sections;  $\alpha$  – the angle of rotation of the design section;  $\oplus$  – vertical injectors ( $l=1,5$  m);  $\oplus$  – vertical injectors ( $l=8$  m);  $\oplus$  – horizontal injectors ( $l=2,5$  m);  $\oplus$  – horizontal injectors ( $l=8,25$  m)

чего происходит перераспределение деформаций (Рис. 7). Такое изменение схемы закрепления грунтов основания позволяет уменьшить вертикальные и горизонтальные деформации, а также снизить осадки фундамента, его наклон и поперечные деформации самих зон закрепления.

#### **Выводы.**

1. Результаты компьютерного моделирования продемонстрировали эффективность метода напорной инъекции в песчано-глинистые грунты для управления свойствами грунтовых оснований и устойчивостью конструкции. Методы математического и компьютерного моделирования позволили достаточно детально спрогнозировать полученные эффекты консолидации и выявить наиболее проблемные участки грунтового массива.

2. 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 5–9%, интегральные значения деформаций уменьшаются на 14–31%.

3. Наиболее опасные вертикальные сечения соответствуют угловым координатам  $\alpha = 45^\circ$ ,  $135^\circ$ , для которых значения деформаций и напряжений максимальны. Установка дополнительных инъекторов в данных сечениях обеспечит наращивание положительного эффекта.

4. Благодаря корректировке схемы закрепления обеспечивается предотвращение крена фундаментной плиты.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хмяляйнен В. А. Развитие инъекционных способов уплотнения массивов горных пород в Кузбассе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 5. С. 25–31.
2. Муртазаев С-А. Ю., Нахаев М. Р., Харченко И. Я. Инъекционное закрепление лессовых грунтов г. Грозный особо тонкодисперсными веществами типа «Микродур» // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2014. №4 (35). С. 123–129.
3. Збицкая В. В., Псюк В. В. Обоснование применения буроинъекционной технологии при упрочнении грунтов оснований эксплуатируемых строительных объектов // Сборник научных трудов ДонГТИ. 2022. № 28 (71). С. 113–118.
4. Голованов А.М., Пашков В.И., Рево Г.А., Пашков Д.В., Нерчинский О.В., Туренко Р.И. Опыт закрепления структурно-неустойчивых грунтов цементацией // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 59–66.
5. Шакиров И. Ф., Вилкова А. О. Исследование грунтов, укрепленных инъекцией тонкодисперсных цементов // Chronos: естественные и технические науки. 2020. №5 (33). С. 15–17.
6. Шакиров И. Ф., Гарифуллин Д. Р. Исследование несущей способности и деформаций песчаных грунтов, укрепленных напорной цементацией // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 200–205.
7. Харченко А. И., Хозин В. Г., Харченко И. Я., Пискунов А. А. Применение геопалимерных вяжущих для уплотнения и упрочнения грунтов в геотехническом строительстве // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4 (23). С.133–139.
8. Wintercorn H. F., Pamukcu S. Soil Stabilization and Grouting // Foundation Engineering Handbook (2nd edn). H.-Y.Fang – ed. N.-Y.: Van Nostrend Reinhold, 1991. Pp. 317–378.
9. Баженова О. Ю., Алексеев В. А. Определение соответствия пригодности смесей на основе микроцементов в технологии цементации по методу инъекционной пропитки // Инновации и инвестиции. 2022. № 12. С. 152–155.
10. 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.
11. Dolzhikov P., Prokopov A., Prokopova M., Hamidullina N. Investigations of the regularity of the formation of a dip over the mine // MATEC Web of Conferences. 2018. 196. 3008.
12. Власов М. А., Герасимов О. В., Простов С. М. Особенности геологического строения грунтового основания установки главного проветривания строящейся шахты // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 3. С. 4–13.
13. Власов М. А., Простов С. М. Прогноз устойчивости грунтового основания карьерной обогатительной установки на основе объемной геомеханической модели // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4. С. 5–22.
14. Tsvetkov A. B., Pavlova L. D., Fryanov V. N. Numerical simulation of geomechanical state of coal massif in the vicinity of underground workings in the superimposed seams // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. 84. Pp. 1–6.
15. Друзь Р. А., Кобытов А. С., Протасова А. В., Жгилев А. П. Анализ результатов геомеханического моделирования сдвижения поверхности угольного разреза // Известия ТулГУ. Науки о земле. 2023. №3. С. 415–425.
16. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Y. 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. 2001.
17. Барышников В. Д., Барышников Д. В. Контроль сдвижений и деформаций породного

массива в окрестности горных выработок // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 394–403.

18. Кулибаба С. Б., Федоров Е. В. Перераспределение максимальных вертикальных деформаций горного массива в процессе его подработки // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. №1. С. 303–316.

19. Сеница И. В., Ермолович Е. А., Яцыняк С. Д. Прогноз влияния очистных работ на напряженно-деформированное состояние массива в

районе воздухоподающего ствола // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2023. №2. С. 418–431.

20. Казикаев Д. М., Сергеев С. В. Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. Москва: Изд-во «Горная книга», 2011. 244 с.

21. Казикаев Д. М., Сергеев С. В. Особенности деформирования крепи стволов и сопряжений в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 3. С. 26–32.

© 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

### FORECAST OF STABILITY OF THE SOIL BASE OF A MINING FACILITY WITH A SLAB FOUNDATION BASED ON A VOLUMETRIC GEOMECHANICAL MODEL

Maksim A. Vlasov<sup>1\*</sup>, Oleg V. Gerasimov<sup>2</sup>,  
Sergey M. Prostov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

<sup>2</sup> ООО «Нооцентр»

\* for correspondence: maxsdss@mail.ru



#### Article info

Received:

14 October 2024

Accepted for publication:

22 January 2025

#### Abstract.

An emergency section of the construction of a fire protection folding door of a coal mine ventilation unit under construction is considered. According to the results of engineering and geological surveys, it was found that the main cause of dangerous deformations of the foundations of structures is the presence of a weak bearing layer of the base of bulk soil and coal, which contributes to increased deformations and displacements, the occurrence of a roll of the foundation plate. Based on engineering and geological surveys, two calculated finite element schemes of a volumetric model were developed, including a forecast of the stress-strain state (VAT) of the massif under natural and fixed conditions of the soil base. The calculated vertical sections

Accepted:  
30 April 2025

Published:  
11 June 2025

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

were analyzed every 15 degrees relative to the center of the support, based on this, the most dangerous sections were determined, especially the sections (0, 45, 90, 135 degrees) with stress and strain distribution for both models of the soil foundation are characteristic. For a more accurate prediction of the stability of the base of the structure, integral VAT indicators were determined for each angle of rotation of the section with a natural soil foundation and when it is fixed. Based on the results of the geomechanical forecast, it was proposed to use additional injections in the zones of the most dangerous sections, which will increase the stability of the foundation, a plan and layout of the injectors were developed, the lengths of the injectors, the pitch and the zones of fixing the base. A comparison of the local and integral parameters of the VAT showed that the vertical normal stresses after fixing the weakened zone increased compared to the natural base, and the values of horizontal deformations of the base mass decreased. An assessment was made of improving the accuracy of calculating maximum stresses and deformations due to the volumetric formulation of the problem being solved, which amounted to 6.22% and 41.69%, respectively.

**For citation:** 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

#### REFERENCES

- Hyamyalyajnen V.A. Razvitie in'ekcionnyh sposobov uplotneniya massivov gornyh porod v Kuzbasse [Development of injection methods for compaction of rock massifs in Kuzbass]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]*. 2015; 5:25–31.
- Murtazaev S.A.Yu., Nahaev M.R., Harchenko I.Ya. In'ekcionnoe zakreplenie lessovyh gruntov g. Groznyj osobo tonkodispersnymi veshchestvami tipa «mikrodur» [Injecting fastening loess soils Grozny fine particulate matter such as «mikrodur»]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences]*. 2014; 35(4):123–129.
- Zbickaya V.V., Psyuk V.V. Obosnovanie primeneniya buroin'ekcionnoj tekhnologii pri uprochnenii gruntov osnovanij ekspluatiruemyh stroitel'nyh ob'ektov [Justification of the use of boron injection technology in strengthening the soils of the bases of operated construction facilities]. *Sbornik nauchnyh trudov DonGTI [Collection of scientific papers of Dongtu]*. 2022; 71(28):113–118.
- Golovanov A.M., Pashkov V.I., Revo G.A., Pashkov D.V., Nerchinskiy O.V., Turenko R.I. Opyt zakrepleniya strukturno-neustoychivykh gruntov tsementatsiej [Case Study of Structural-Unstable Soils Stabilization Using Grouting]. *Vestnik MGSU [Bulletin of the MGSU]*. 2013; 8:59–66.
- Shakirov I.F., Vilkova A.O. Issledovanie gruntov, ukreplennyh in'ekciej tonko-dispersnyh 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.
- Shakirov I. F., Garifullin D. R. Issledovanie nesushchej sposobnosti i deformatsij peschanyh gruntov, ukreplennyh napornoj cementaciej [The research of bearing capacity and deformation of sandy ground, reinforced by pressure cementation]. *Izvestiya KGASU [KGASU News]*. 2015; 34(4):200–205.
- Kharchenko A.I., Khozin V.G., Kharchenko I.Ya., Piskunov A.A. Primenenie geopolimernyh vyazhushchih dlya uplotneniya i uprochneniya gruntov v geotekhnicheskome stroitel'stve [Application of geodimensional binders for compacting and hardening soils in geoengineering]. *Ekspert: teoriya i praktika [Expert: theory and practice]*. 2023; 23(4):133–139.
- Wintercorn H.F., Pamukcu S. Soil Stabilization and Grouting. *Foundation Engineering Handbook (2nd edn)*. H.-Y.Fang – ed. N.-Y. : Van Nostrend Reinhold; 1991. Pp. 317–378.
- Bazhenova O.Yu., Alekseev V.A. Opredelenie sootvetstviya prigodnosti smesej na osnove mikro cementov v tekhnologii cementacii po metodu in'ekcionnoj propitki [Determination of the suitability of mixtures based on micro-cements in cementation technology by injection impregnation method]. *Innovacii i investicii [Innovation and investment]*. 2022; 12:152–155.
- Bogomolova O.A., Bogomolov A.N., Bogomolov S.A. Sposob opredeleniya prochnostnyh 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.
- Dolzhikov P., Prokopov A., Prokopova M., Hamidullina N. Investigations of the regularity of the formation of a dip over the mine. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 196:3008.
- Vlasov M.A., Gerasimov O.V., Prostov S.M. Osobennosti geologicheskogo stroeniya gruntovogo

osnovaniya ustanovki glavnogo provetrivaniya stroyashcheysya shahty [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*]. 2024; 3:4–13.

13. Vlasov M.A., Prostov S.M. Prognoz ustojchivosti gruntovogo osnovaniya kar'ernoj obogatitel'noj ustanovki na osnove ob'emnoj geomekhanicheskoy modeli [Forecast of stability of the soil base of a quarry concentrator based on volumetric geomechanical mode]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [*Bulletin of the Kuzbass State Technical University*]. 2024; 4:5–22.

14. Tsvetkov A.B., Pavlova L.D., Fryanov V.N. Numerical simulation of geomechanical state of coal massif in the vicinity of underground workings in the superimposed seams. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017; 84:1–6.

15. Druz' R.A., Korytov A.S., Protasova A.V., Zhgilev A.P. Analiz rezul'tatov geomekhanicheskogo modelirovaniya sdvizheniya poverhnosti ugol'nogo razreza [Analysis of the results of geomechanical modeling of the displacement of the surface of a coal quarry]. *Izvestiya TulGU. Nauki o zemle. [News of TulSU. Earth sciences]*. 2023; 3:415–425.

16. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Y. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don. *MATEC Web of Conferences*. 2017. No. 106. Pp. 2001.

17. Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V. Kontrol' sdvizhenij i deformacij porodnogo massiva v okrestnosti gornyh vyrabotok [Control of displacements and deformations of rock mass in the vicinity of mine workings]. *Izvestiya TulGU. Nauki o zemle. [News of TulSU. Earth sciences]*. 2023; 3:394–403.

18. Kulibaba S.B., Fedorov E.V. Pereraspredelenie maksimal'nyh vertikal'nyh deformacij gornogo massiva v processe ego podrabotki [Redistribution of the maximum vertical deformations of the mountain range in the process of its mining]. *Izvestiya TulGU. Nauki o zemle. [News of TulSU. Earth sciences]*. 2022; 1:303–316.

19. Sinica I.V., Ermolovich E.A., YAcynyak S.D. Prognoz vliyaniya ochistnyh rabot na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie massiva v rajone vozduhopodayushchego stvola [Forecast of the impact of cleaning operations on the stress-strain state of the massif in the area of the air supply shaft]. *Izvestiya TulGU. Nauki o zemle [News of TulSU. Earth sciences]*. 2023; 2:18–431.

20. Kazikaev D M., Sergeev S.V. Diagnostika i monitoring napryazhennogo sostoyaniya krepki vertikal'nyh stvolov [Diagnostics and monitoring of the stress state of the support of vertical trunks]. Moscow: Publishing house "Mountain Book"; 2011. 244 p.

21. Kazikaev D.M., Sergeev S.V. Osobennosti deformirovaniya krepki stvolov i sopryazhenij v slozhnyh gorno-geologicheskikh usloviyah [Features of deformation of trunk supports and joints in difficult mining and geological conditions]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' [Mining information and analytical bulletin]*. 2013; 3:26–32.

© 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**, PhD in Technical Sciences, general manager, OOO «Noocentr», (650056, Russia, Kemerovo, Voroshilov St, 30), e-mail: gerasimov@noocentr.com

**Sergey M. Prostov**, Grand PhD in Technical Sciences, 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.*

