

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 624.048: 624.131.7

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНЬЕКЦИОННОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ НАСЫПНОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ КОМПЛЕКСА НАКЛОННОЙ СЕПАРАЦИИ

GEOMECHANICAL JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF INJECTION FIXING OF THE BULK GROUND BASIS OF THE COMPLEX OF SLOPING SEPARATION

Соколов Михаил Валерьевич,
аспирант, e-mail: ea-sokolov42@mail.ru

Sokolov Mikhail V., postgraduate
Простов Сергей Михайлович,

доктор техн. наук, профессор, e-mail: psm.kem@mail.ru
Prostov Sergey M., Dr. Sc., Professor

Покатилов Андрей Владимирович,
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: pav.tsp@kuzstu.ru
Pokatilov Andrey V., C. Sc., Associate Professor

Кузбасский Государственный Технический Университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya st., Kemerovo, 650000, Russia.

Аннотация. Рассмотрено аварийное состояние комплекса наклонной сепарации (КНС), включающего обогатительную установку, дробилку, бункер и три галереи. По результатам инженерно-геологических изысканий и геофизических исследований установлено, что основной причиной опасных деформаций фундаментов конструкций является образование зон ослабленных грунтов основания вследствие оползня насыпного массива. Для обоснования параметров инъекционного укрепления грунтов проведено комплексное моделирование, включающее прогноз деформаций конструкций при естественном и укрепленном основаниях, анализ напряженно-деформированного состояния грунтов на наиболее опасном участке. Подтверждена эффективность принятой схемы инъекционного укрепления для ликвидации аварийного состояния объекта. Вместе с тем, установлены значительные расчетные горизонтальные деформации фундамента одной из опор галерей КНС, для предотвращения которых рекомендовано предусмотреть дополнительный ряд инъекционных скважин с глубиной ниже границы разуплотнения.

Abstract. The critical condition of the complex of sloping separation (CSS) including concentrating installation, a crusher, the bunker and three galleries is considered. By results of engineering-geological researches and geophysical surveys it is established that formation of zones of the weakened basis soils owing to a landslide of the bulk massif is the main reason for dangerous deformations of the bases of designs. For justification of parameters of injection strengthening of soils the complex model operation including the forecast of deformations of designs at the natural and strengthened bases, the analysis of an intense strained state of soils on the most dangerous site is carried out. Effectiveness of the accepted scheme of injection strengthening for elimination of the critical condition of an object is confirmed. At the same time, the considerable calculated horizontal deformations of the base of one of support of KNS gallery for which prevention it is recommended to provide a padding number of injection wells with a depth below razuplotneniye border are established.

Ключевые слова: прогноз, вертикальные оседания, напряжения, деформации, компьютерное моделирование, устойчивость, закрепление грунтов, горнотехнические сооружения.

Keywords: forecast, vertical sedimentations, tension, deformations, computer model operation, stability, fixing of soils, mining constructions.

Устойчивость грунтовых оснований и фундаментов горнотехнических сооружений является неотъемлемым условием бесперебойного и без-

опасного технологического процесса по добыче и транспортировке полезных ископаемых. В большинстве случаев горнотехнические сооружения,

такие как обогатительные установки, комплексы наклонной сепарации (КНС), заправочные пункты, возводятся на разрезах или в их близи с целью снижения затрат. В основаниях таких сооружений залегают техногенные грунты с разной степенью плотности и низкими деформационными свойствами [1]. Такие геологические условия способствуют развитию неравномерных вертикальных оседаний и в большинстве случаев являются причинами техногенных аварий.

Для повышения устойчивости оснований горнотехнических сооружений применяют методы инъекционного закрепления, из которых наиболее эффективными являются метод напорной инъекции [2], применяемый для песчаных грунтов, и метод электрохимического закрепления [3] – для пылевато-глинистых влагонасыщенных грунтов. В ряде работ приведены результаты геомеханического моделирования и исследования напряженно-деформированного состояния массивов горных пород для решения различных задач подземной, открытой и строительной геотехнологий [4–7]. В работах

[8–9] рассмотрены современные аналитические методы расчета упрочняющих элементов в составе грунтового массива. В настоящее время повышение эффективности и скорости расчетов достигнуто с применением программных комплексов для геотехнических расчетов, в частности реализующие метод конечных элементов [10].

Примером описанных выше горнотехнических сооружений является сезонная обогатительная установка с сепараторами и КНС в филиале ОАО УК «Кузбассразрезуголь» «Краснобродский угольный разрез».

По данным визуальных обследований и инже-

нерно-геологических изысканий, проведенных ООО «НоОЦентр», сооружение находится в аварийном состоянии, КНС имеет существенные неравномерные оседания опор галерей конвейеров.

Объект исследований включает в себя здание обогатительного корпуса, галерей №3, №5, №11, дробилку, дробильное отделение и приемный бункер (рис. 1). Все элементы галерей имеют типовые конструктивные решения, в том числе столбчатые железобетонные фундаменты основных типоразмеров ФМ-1, ФМ-2, ФМ-3, ФМ-4, ФМ-1* и ФМ-2*[11]. Фундамент обогатительного корпуса представлен в виде мелкозаглубленного плитного железобетонного фундамента, имеющего размеры в плане 22,0×22,0 м, фундаменты опор галерей имеют размеры 4,8×1,5 м.

Объект исследований располагается на территории в пределах одного геоморфологического элемента и характеризуется сложным рельефом, образовавшимся в результате угледобычи и имеющим полностью техногенный характер. Первоначальная холмисто-увалистая поверхность, местами сохранившаяся на отдельных участках, не затронутых промышленным освоением территории, в настоящее время почти сплошь состоит из элементов карьера, котлованов, отвалов пустых пород и отстойников отходов промышленного производства.

На рассматриваемой площадке литологический разрез на глубине от 8 до –20 м представлен современными техногенными насыпными грунтами в виде смеси дресвы, щебня, глыб, супесчаного и песчаного материала, плотно укатанными, а с глубины 1 м – насыпным суглинком с дресвой и щебнем. Обломки и мелкий заполнитель представлены осадочными горными породами типа

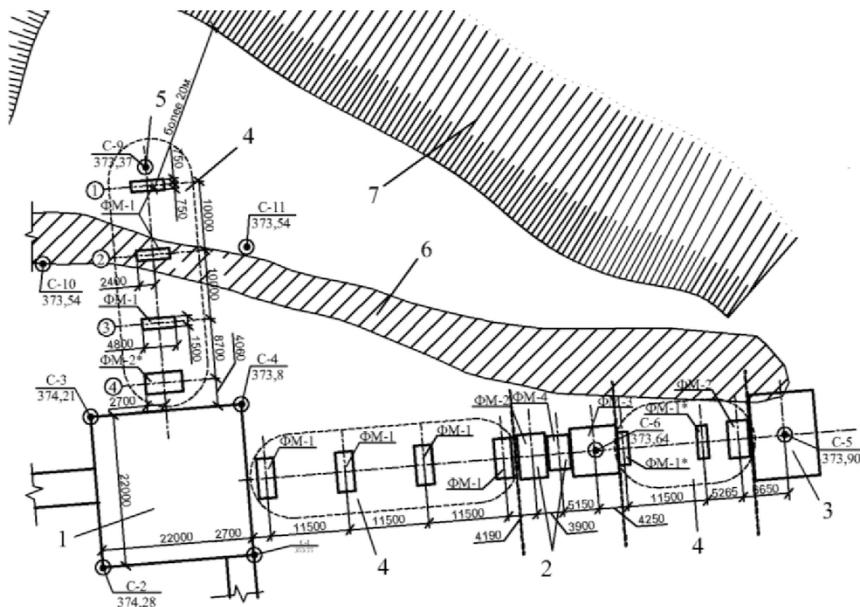


Рис. 1. Схема территории и план исследуемого объекта: 1 – обогатительный корпус; 2 – дробилка и дробильное отделение; 3 – приемный бункер; 4 – галереи № 11, 5, 9; 5 – геологические скважины; 6 – зона ослабления грунтов; 7 – откос насыпного основания

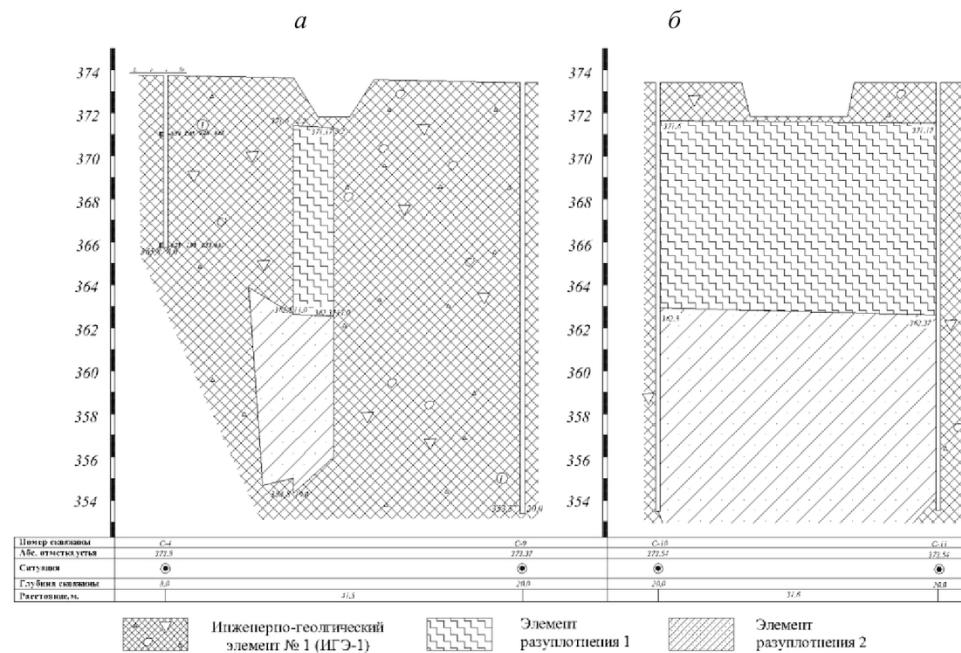


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез грунтового основания под опорой галереи в продольном (а) и поперечном (б) направлениях

Таблица 1. Физико-механические свойства грунтов

№ ИГЭ, аномальной зоны	Природная влажность W , д.е.	Влажность на границе текучести W_L , д.е.	Влажность на уровне раскатывания W_a , д.е.	Число пластичности I_p , д.е.	Показатель текучести I_L , д.е.	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Коэффициент пористости e , д.е.	Коэффициент водонасыщения S_r , д.е.	Модуль деформации E , МПа	Угол внутреннего трения φ , град.	Сцепление C , кПа
ИГЭ-1	0,12	0,3	0,18	0,12	0,575	2,7	2,05	1,84	0,48	0,59	38	23,7	74
Зона разуплотнения на отметке -2,5 м	-	-	-	-	-	-	1,9	-	0,7	-	17	25	25
Зона разуплотнения на отметке -8,0 м	-	-	-	-	-	-	1,8	-	0,8	-	12,5	25	15

песчаника выветрелого малой прочности. Суглиник содержит локальные линзы и гнезда дресвианого грунта с суглинистым твердым, плотным заполнителем до 35–45 %. Они имеют повсеместное распространение по всей площадке, залегают с поверхности однородным слоем максимальной вскрытой мощностью до 20 м. В соответствии с ГОСТ 20522-96 грунты определяются одним инженерно-геологическим элементом ИГЭ-1. Грунты ИГЭ-1 при естественной влажности относятся к группе практически непучинистых.

В гидрогеологическом отношении участок работ характеризуется наличием водоносного гори-

зонта грунтовых вод в выветрелых и разрушенных коренных породах (пластово-трещинные воды).

При проведении работ на поверхности площадки в северо-восточной части выявлены закрытые трещины обвального либо оползневого характера (трещины отрыва), свидетельствующие о частичном смещении грунтовых масс в сторону незакрепленного откоса грунтовой насыпи. В котловане под приемный бункер на относительной отметке -3,15 м (370,1 м) измерения показали пониженный модуль деформации $E = 18,1$ МПа. В котловане под дробильное отделение на отметке -5,00 м (368,2 м) модуль деформации составляет

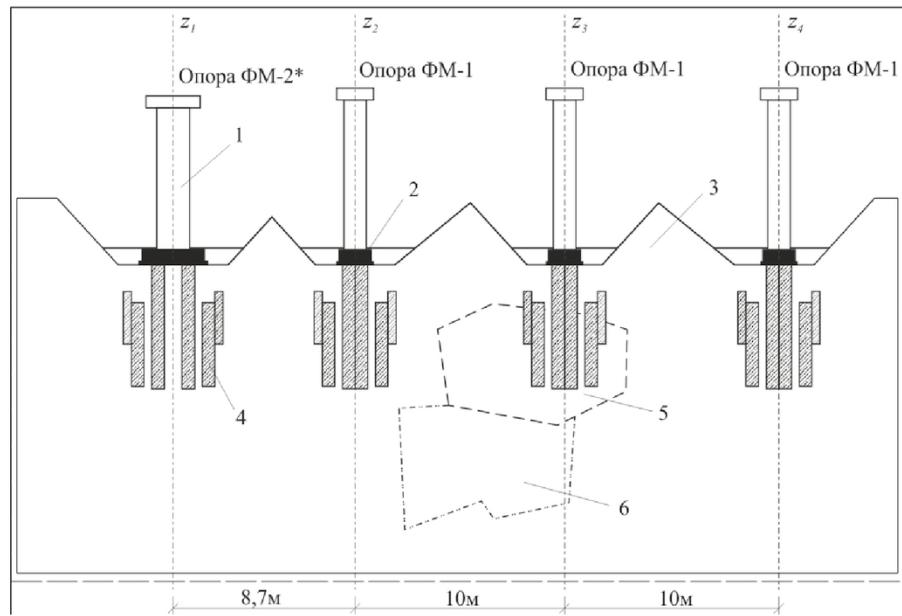


Рис. 3. Схема общей базовой модели галереи № 11:

1 – тело опоры; 2 – плитный фундамент; 3 – однородный грунтовый массив;
4 – зоны закрепления; 5 – зона разуплотнения № 1; 6 – зона разуплотнения № 2

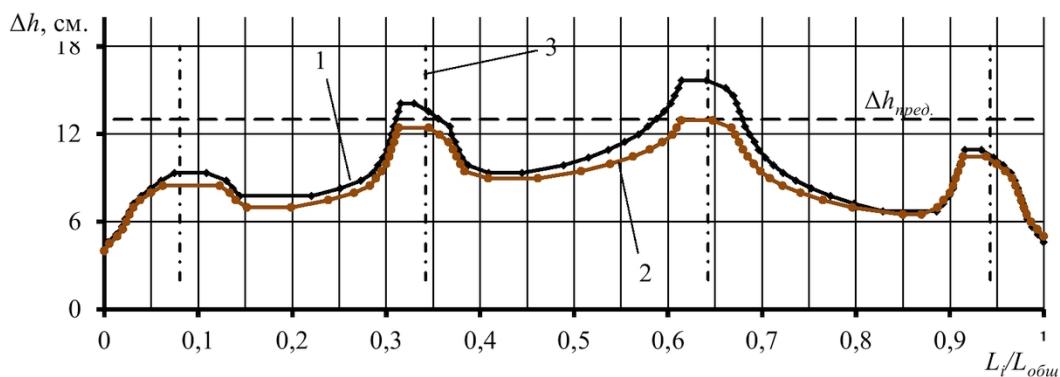


Рис. 4. Распределение вертикальных оседаний Δh вдоль оси:

1 – при естественном основании; 2 – при закреплении по утвержденной схеме;
3 – оси симметрии фундаментов

$E = 17,0$ МПа, что подтверждает положение выявленных и развивающихся зон разуплотнения, вызванных частичным смещением грунтовых масс в северо-восточном направлении. Так как часть приемного бункера и галереи №11 располагаются над зонами разуплотнения, были проведены дополнительные работы, направленные на выявление и оконтуривание этих зон методами геоэлектрического и радиолокационного контроля. По данным геофизического зондирования зоны разуплотненных грунтов встречаются по разрезу в зоне влияния оползневых процессов уже с отметки $-2,5$ м, с отметки $-8,0$ м, грунты имеют наихудшие строительные свойства [12].

В результате полного комплекса изысканий был построен инженерно-геологический разрез (рис. 2) с отмеченными зонами разуплотнения, а также определены физико-механические свойства элемента разреза и аномальных зон, пред-

ставленные в табл. 1.

Анализ данных изысканий показал необходимость проведения мероприятий по повышению несущей способности грунтового основания в северо-восточной части методами напорной инъекции, в частности, под фундаментами приемного бункера и опор галереи № 11, расположенных непосредственно над зоной разуплотненных пород.

Прогнозирование напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых оснований сооружений осуществлено путем математического моделирования с применением метода конечных элементов и современных геотехнических программных комплексов, в частности, программного комплекса «Alterra» российского разработчика программ для геотехнических задач ООО «ИнжПроектСтрой».

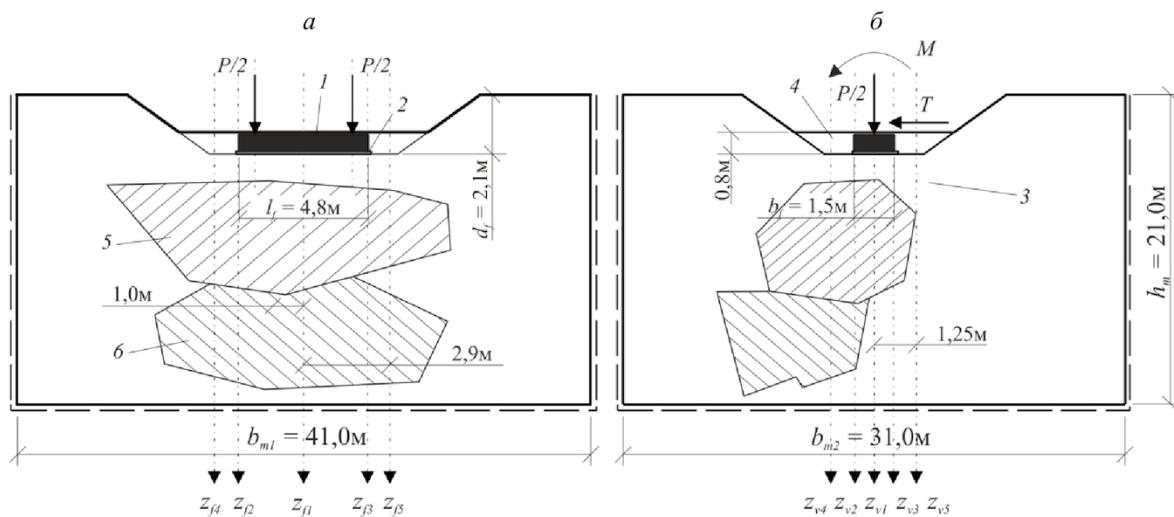


Рис. 5. Схема базовой модели опоры в продольном (а) и поперечном (б) направлениях:
1 – фундамент; 2 – подготовка; 3 – слой, эквивалентный ИГЭ-1; 4 – технологическая засыпка; 5 – зона разуплотнения №1; 6 – зона разуплотнения №2

Таблица 2. Физико-механические свойства элементов модели

№ п/п	Наименование элемента модели	Плотность материала (грунта) ρ , кг/м ³	Модуль деформации E , МПа	Коэффициент Пуассона v , д.е.	Угол внутреннего трения φ , град.	Сцепление C , кПа
1	Железобетонный плитный фундамент	2500	2000	0,15	–	–
2	Бетонная подготовка под фундамент	2400	1800	0,15	–	–
3	Обратная засыпка котлована	1950	20,0	0,25	20,0	–
4	Грунтовое основание	2050	38,0	0,29	23,7	73,6
5	Область разуплотнения №1	1900	17,0	0,36	25,0	25,0
6	Область разуплотнения №2	1800	12,5	0,37	25,0	15,0

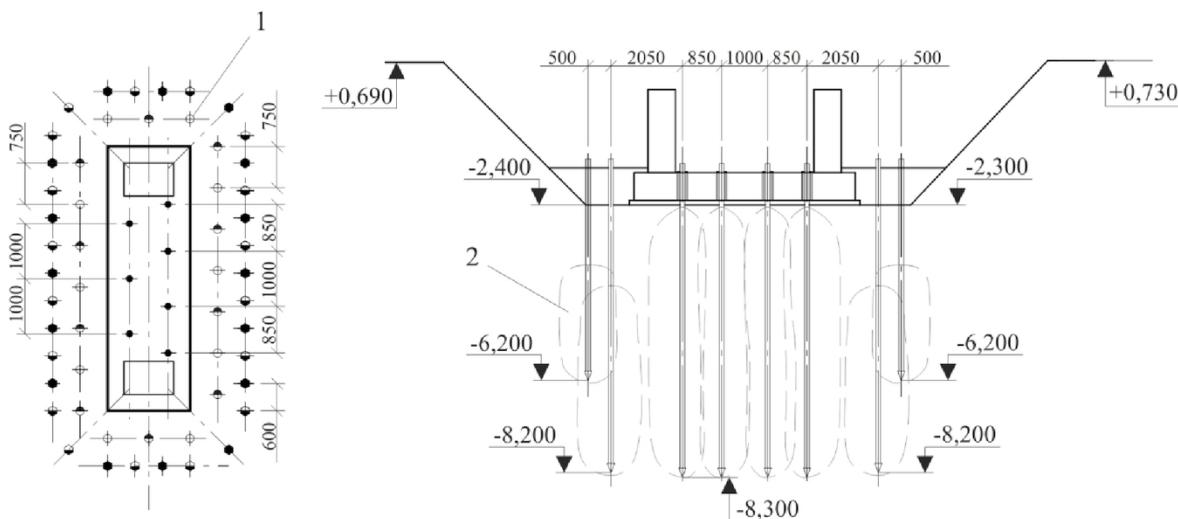


Рис. 6. План (а) и схема закрепления (б) грунтового основания:
1 – инъекторы; 2 – зоны закрепления

Первый этап моделирования грунтового основания галереи № 11 был направлен на прогнозирование вертикальных оседаний земной поверхности вдоль продольной оси комплекса при раз-

личных технологических параметрах закрепления и реальных грунтовых условиях, включая зоны разуплотнения. Схема базовой модели приведена на рис. 3.

В результате моделирования получены графики распределения вертикальных смещений Δh опор галереи от относительной координаты вдоль оси объекта $L_i / L_{общ}$ (рис. 4), где общая длина составляла $L_{общ} = 33,05$ м.

Из результатов расчетов следует, что преимущественно оседания Δh имеют максимальные значения на интервалах, расположенных над зонами разуплотнения: в диапазонах в $L_i / L_{общ} = 0,3 \dots 0,4$ и

$L_i / L_{общ} = 0,6 \dots 0,7$. Основываясь на предельно допустимой величине оседания $\Delta h_{пред} = 14$ см, согласно [13], предложенная схема закрепления позволяет достичь требуемой устойчивости сооружения.

Сравнительный анализ показал эффективность предлагаемого по проекту искусственного основания: снижение осадки в диапазоне $L_i / L_{общ} = 0,6 \dots 0,7$ составило более 17% по

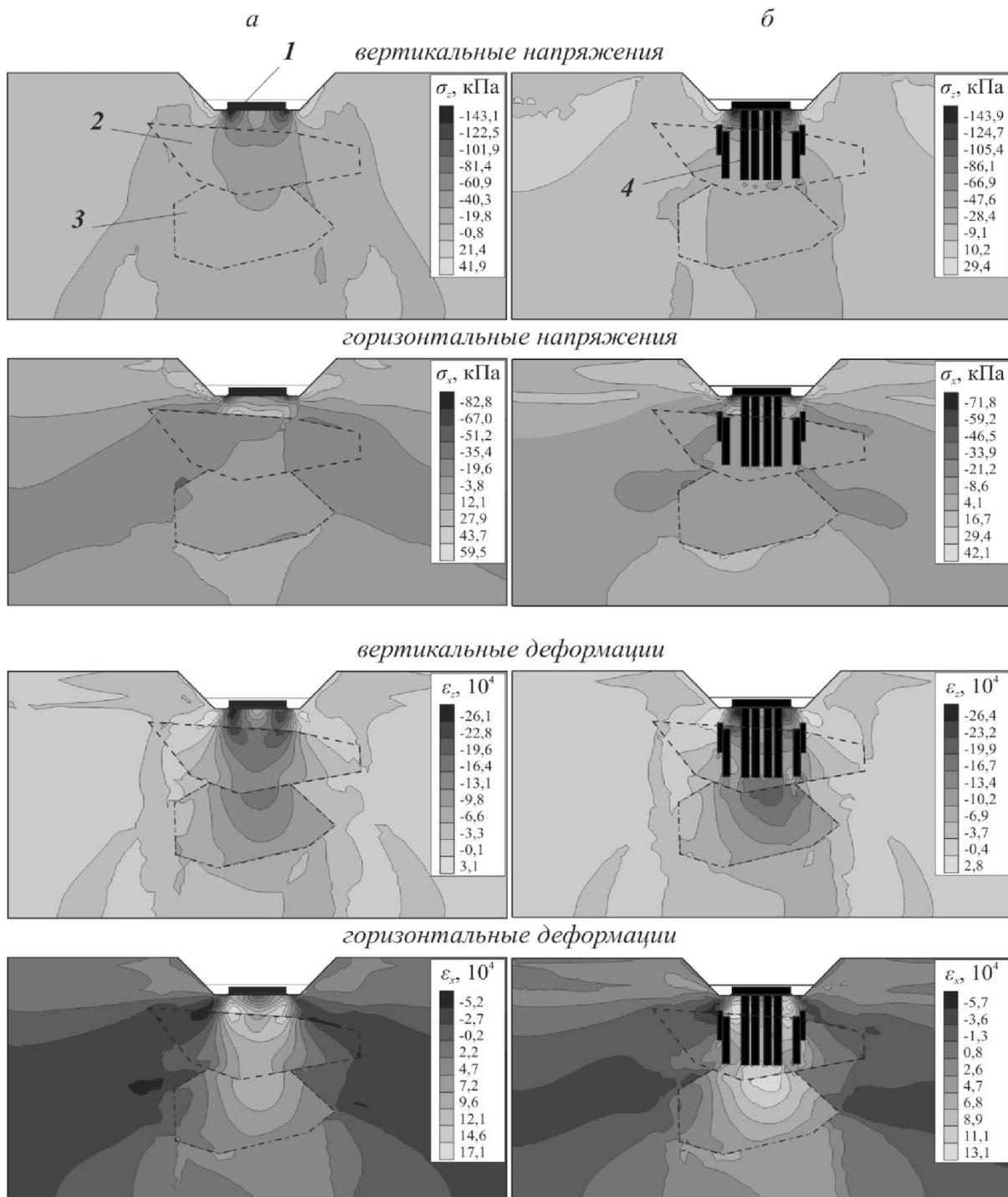


Рис. 7. Распределение напряжений и деформаций в естественном (а) и искусственном (б) грунтовом массиве в продольном направлении:
1 – фундамент; 2 – зона разуплотнения №1; 3 – зона разуплотнения №2;
4 – зоны закрепления

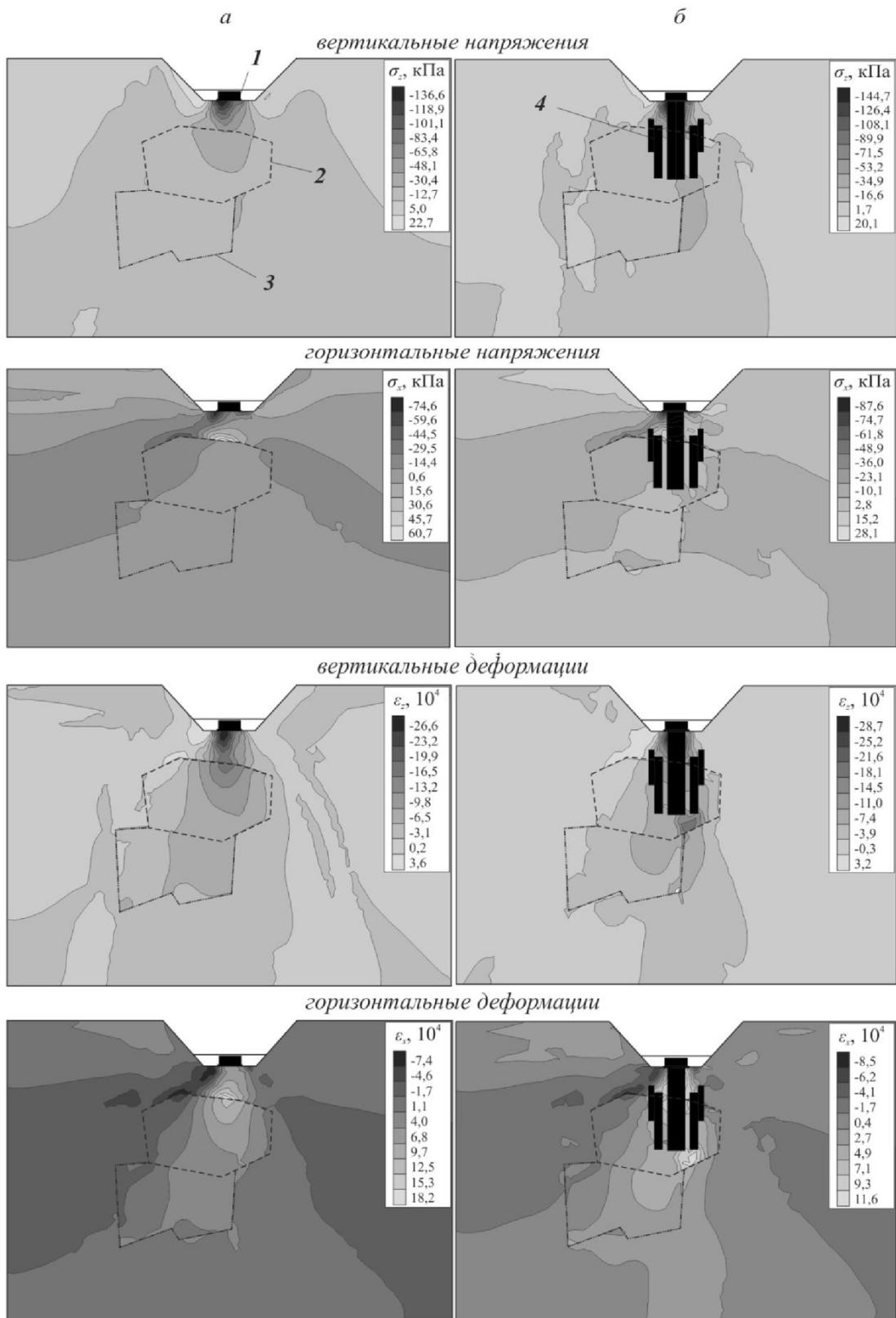


Рис. 8. Распределение напряжений и деформаций в естественном (а) и искусственном (б) грунтовом массиве в поперечном направлении:
 1 – фундамент; 2 – зона разуплотнения №1; 3 – зона разуплотнения №2;
 4 – зоны закрепления

отношению к первоначальным показателям, при среднем значении вдоль оси комплекса 11,2%.

Вместе с тем, поскольку на данном интервале оседания близки к предельно допустимым, целесооб-

разно детализировать исследования в этой части объекта.

Второй этап моделирования был направлен на формирование базы данных для анализа напря-

женно-деформированного состояния потенциаль но наиболее аварийной опоры галереи. Для оценки состояния грунтового основания в связи с осо бенностю приложения нагрузки к фундаменту,

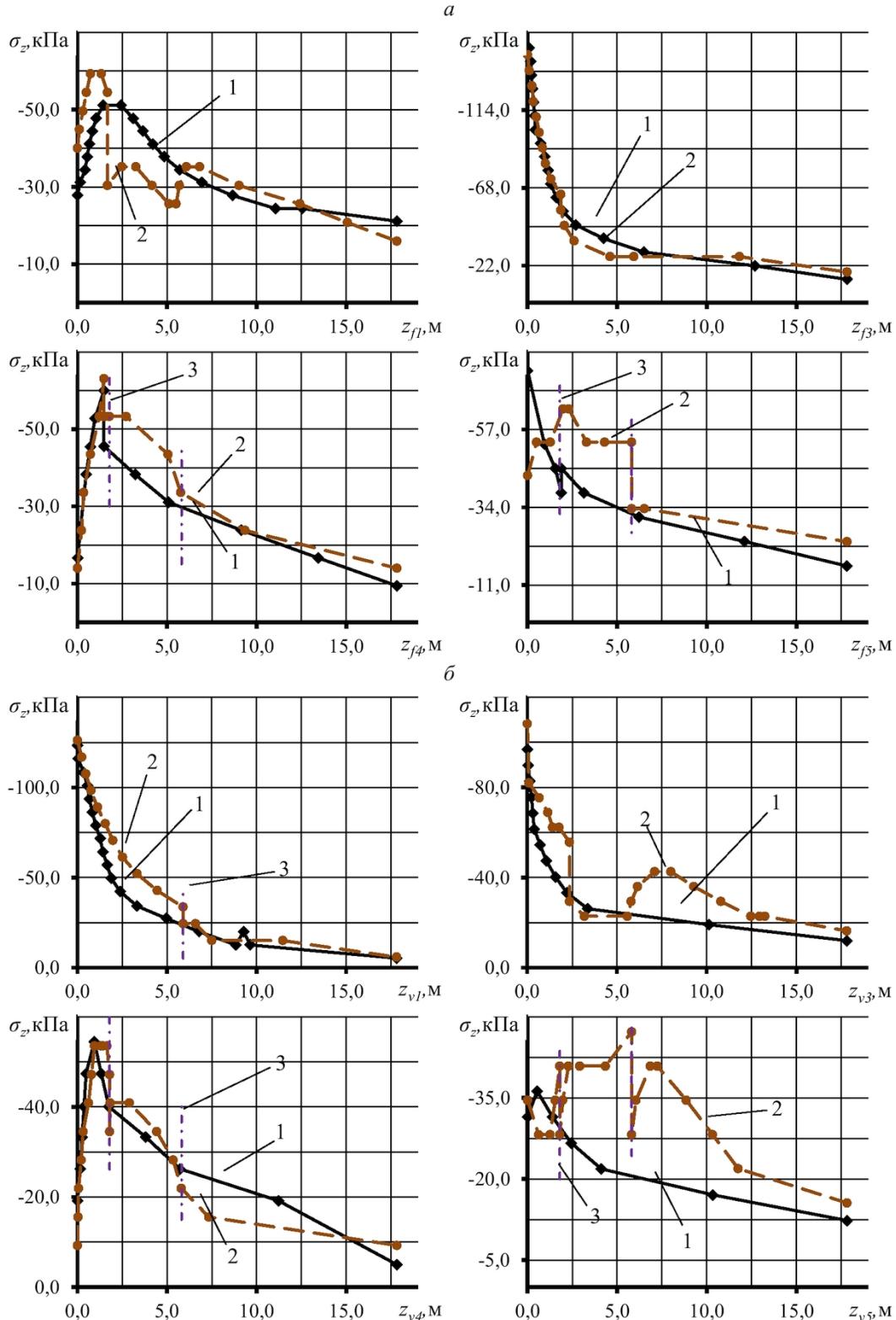


Рис. 9. Зависимости вертикальных напряжений σ_z от глубины модели z_i

в продольном (а) и поперечном (б) направлениях:

1 – естественный массив; 2 – закрепленный массив; 3 – границы зоны закрепления

моделирование производилось в продольном и поперечном сечениях. Схемы базовых моделей грунтового основания опоры представлены на рис. 5.

Моделирование основания осуществлялось от отметки обреза фундамента с заданием эквивалентных сил вертикального давления P , горизонтальной нагрузки T и изгибающего момента от деформации опоры в поперечном направлении M . Фундаменты типа ФМ-1 представляют собой плиту шириной $b_f = 1,5$ м, длиной $l_f = 4,8$ м и высотой $h_f = 0,6$ м, выполненную из тяжелого монолитного железобетона (плотность $\rho_f = 2500$ кг/м³, модуль упругости $E_f = \text{МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,15$). Глубина заложения фундамента от наиболее низкой отметки поверхности земли составляла $d_f = 3,090$ м. В основании фундамента имеется бетонная подготовка высотой $h = 0,1$ м. Фундаменты находятся в открытых котлованах с засыпкой крупнобломочными техногенными отложениями мощностью 0,8 м.

В геологическом плане (рис. 2) строение грунтового основания однородное, при наличии зон разуплотнения непосредственно под фундаментом типа ФМ-1 на различных глубинах. Для решения задачи разного рода зоны разуплотнения были усреднены и разделены на две выявленные характерные области. Физико-механические свойства элементов модели представлены в табл. 2. Переход от отметок поверхности земли вдоль борта котлована составляет не более 0,15 м и в расчетах не учитывался.

На основе приведенных данных и алгоритмов, описанных в работе [14], были назначены основные параметры модели для рассматриваемого случая: ширина в продольном направлении $b_{m1} = 41,0$ м, а в поперечном – $b_{m2} = 31,0$ м (с учетом размеров котлована и фундамента); высота модели $h_m = 21,0$ м. Границные условия в виде ограничений перемещений накладываются аналогично моделям, принятых в работах [15, 16]. Для модели в продольном сечении нагрузка P задавалась двумя силами величиной $P/2$ со смещением $l = 0,6$ м по обе стороны от боковых граней фундамента, моделируя положение элементов опоры. В поперечном сечении нагрузки P , T и M задаются вдоль оси симметрии фундамента. В обоих случаях точкой приложения нагрузки по высоте считается верхняя грань фундамента (обрез).

Для решения проблемы повышения устойчивости сооружения в соответствии с принятыми в ООО «НооЦентр» методикой проектирования и технологией выполнения укрепительных работ, и теоретических основах, изложенных в работе [17], был разработан план и схемы закрепления грунтов методом напорной инъекции, представленные на рис. 6. Данные технологические параметры отвечают требованиям по монтажу и ведению работ а расположение инъекторов обеспечивает рациональные экономические показатели.

Результаты второго этапа моделирования отражены в виде полей изолиний напряженно-деформированного состояния грунтового массива отдельной опоры в продольном и поперечном направлении, представленные на рис. 7 и 8.

В продольном направлении (рис. 7) распределение напряжений вследствие влияния зон разуплотнения происходит несимметрично с наличием существенных искажений на границах этих зон. Зона концентрации напряжений сохраняется в области под фундаментом, без значительных смещений, описанных в работе [16, 18], а введение в расчет зон закрепления значительно снижает уровень напряжений и площадь области концентрации. Деформации в массиве распределяются неравномерно, преимущественно в границах зон разуплотнения, горизонтальные растягивающие напряжения концентрируются в области под фундаментом. Влияние зон закрепления прослеживается в виде перераспределения деформаций из зоны разуплотнения № 1 в зону разуплотнения №2 и грунтовый массив, значительно снижая величину вертикальных оседаний.

В поперечном сечении (рис. 8) напряжения распределяются преимущественно в левой опорной части массива из-за асимметричной нагрузки и расположения зон разуплотнения в массиве относительно фундамента.

Закрепление повышает асимметрию, загружая преимущественно зону разуплотнения № 2 (на глубине $z_2 = 8$ м), однако значительно снижает горизонтальные напряжения под фундаментом, препятствуя тем самым горизонтальным смещениям. Вертикальные деформации в естественном основании распределены с нарушением симметрии и концентрируются под фундаментом, а при искусственном основании – концентрируются в зонах разуплотнения, снижая общую деформацию массива. Горизонтальные деформации распределяются аналогично напряжениям и свидетельствуют о значительном растягивающем эффекте под фундаментом, однако зоны закрепления препятствуют их развитию и удерживают в границах зон разуплотнения, без затрагивания основного массива.

Результаты анализа распределения вертикальных напряжений вдоль основных осей $z_1 \dots z_5$ представлены на рис. 9 и 10.

В продольном сечении при удалении от оси симметрии фундамента z_{11} наблюдается снижение вертикальных напряжений σ_{zf} в интервале координаты $z_{f1} = 3,0 \dots 6,0$ м, а по осям z_{f4} и z_5 отмечено, что напряжения σ_{zf} в зонах закрепления выше, чем в естественном массиве (рис. 9, а).

В поперечном направлении (рис. 9, б) отмечаются аналогичные закономерности, за исключением возрастанием напряжений σ_{zv} на интервале $z_{v3} = 0,0 \dots 1,8$ и $z_{v3} = 5,8 \dots 15,0$ м, связанном с большей степенью нагружения зоны разуплотнения №2 при искусственном основании. Аналогич-

ная ситуация отмечена при $z_{v5} = 5,8 \dots 15,0$ м.

Закономерности изменения горизонтальных

напряжений σ_x представлены на рис. 10.

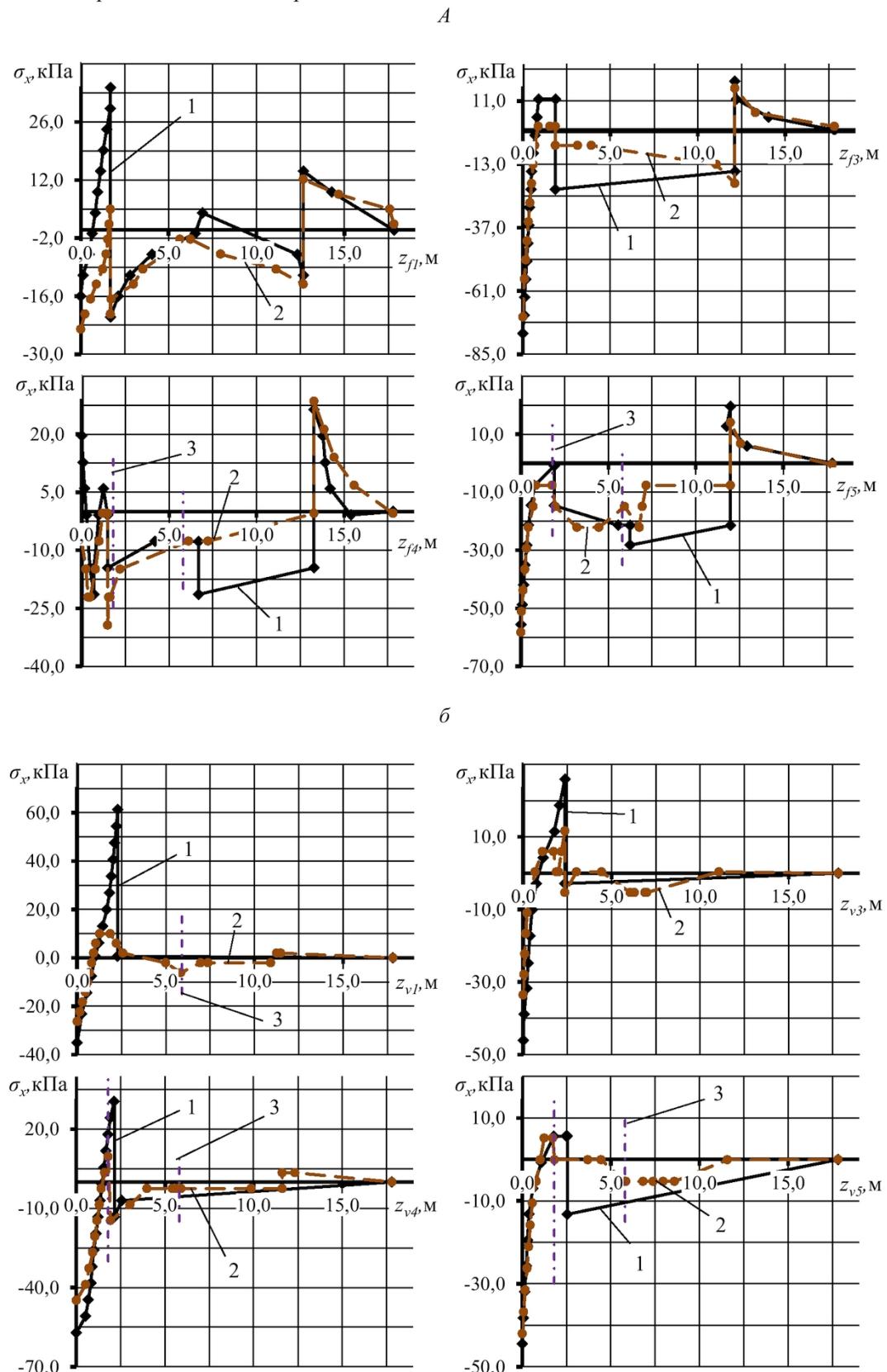


Рис. 10. Зависимости горизонтальных напряжений σ_x от глубины модели z_i
в продольном (а) и поперечном (б) направлениях:

1 – естественный массив; 2 – закрепленный массив; 3 – границы зоны закрепления

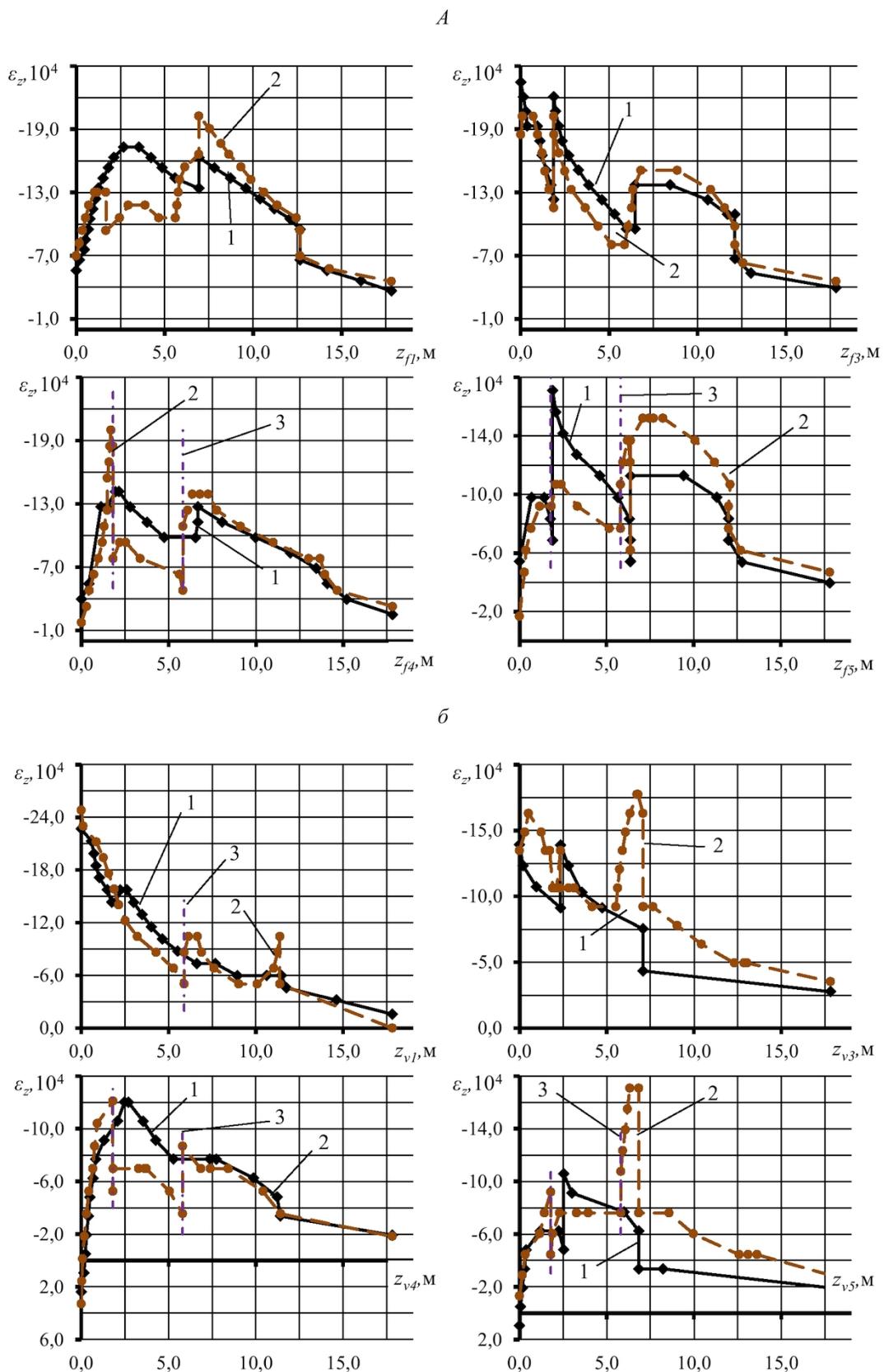


Рис. 11. Зависимости вертикальных деформаций ε_z от глубины модели z_i

в продольном (а) и поперечном (б) направлениях:

1 – естественный массив; 2 – закрепленный массив; 3 – границы зоны закрепления

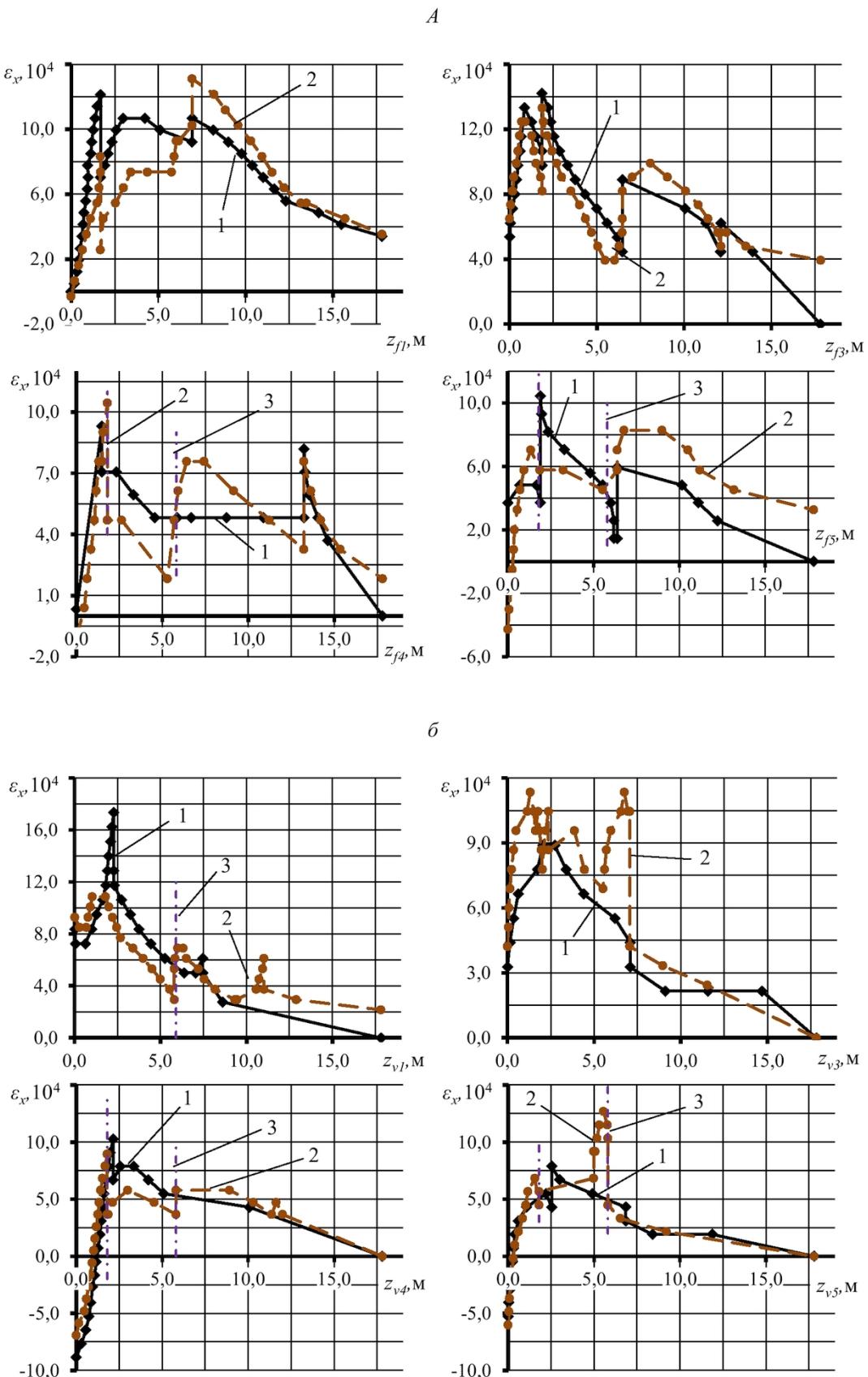


Рис. 12. Зависимости горизонтальные деформации ε_x от глубины модели z_i
 в продольном (а) и поперечном (б) направлениях:

1 – естественный массив; 2 – закрепленный массив; 3 – границы зоны закрепления

Из полученных зависимостей следует, что создание зон закрепления не изменяет существенно характер распределения горизонтальных напряжений в естественном массиве, за исключением снижения значений напряжений σ_{xf} на интервале $z_{f1} = 0,0 \dots 1,8$ м, в частных случаях в интервалах $z_{f2} = 3,0 \dots 12,0$ м, $z_{f3} = 3,0 \dots 12,0$ м и $z_{f4} = 7,0 \dots 12,0$ м (рис. 10, а). В поперечном направлении (рис. 10, б) горизонтальные напряжения концентрируются под подошвой фундамента и спадают практически до нуля при значениях $z_i > 3,0$ м.

Закономерности распределения вертикальных деформаций представлены на рис. 11.

Распределение вертикальных деформаций ε_z имеет схожий характер как в естественном, так и в искусственном массивах. В диапазонах $z_{f1} = 2,0 \dots 6,0$ м, $z_{f2} = 1,7 \dots 6,4$ м и $z_{f3} = 2,0 \dots 6,5$ м отмечено снижение деформаций ε_{zf} (рис. 11, а). В пределах зон закрепления деформации ε_{zf} значительно ниже, чем в естественном массиве. Вдоль осей z_{f3} и z_{f5} в диапазоне значений 6,0...12,0 м отмечено возрастание деформаций ε_{zf} в пределах зоны разуплотнения № 2. Аналогичные закономерности прослеживаются в поперечном сечении (рис. 11, б), однако отмечены концентрации максимальных деформаций ε_{zv} в диапазонах $z_{v3} = 5,0 \dots 7,0$ м и $z_{v5} = 5,8 \dots 6,9$ м и перераспределение деформаций в грунтовый массив в диапазоне $z_{vi} = 12,0 \dots 17,0$ м.

Основные закономерности изменения горизонтальных деформаций представлены на рис. 12.

Распределение горизонтальных деформаций ε_x в обоих сечениях происходит в основном монотонно с образованием отдельных локальных «всплесков», преимущественно на границах с зонами разуплотнения. В продольном сечении отмечаются некоторое снижение деформаций ε_{xf} в искусственном массиве в диапазоне $z_{f1} = 1,8 \dots 3,0$ м, а также их заметное повышение на интервалах $z_{f1} = 7,0 \dots 10,0$ м, $z_{f3} = 6,5 \dots 11,0$ м, на участках ниже зон закрепления $z_{f4} = 6,0 \dots 11,5$ м $z_{f5} = 6,5 \dots 17,0$ м. При расчетах искусственного грунтового основания следует учитывать, что в

продольном направлении зона разуплотнения подвержена значительным горизонтальным деформациям.

В поперечном профиле (рис. 12, б) имеются схожие закономерности, вместе с тем зафиксированы следующие аномалии: образование дополнительной разности деформаций ε_{xv} при $z_{v1} > 11,3$ м; изменение характера распределения и повышение значений деформаций ε_{xv} на интервале $z_{v3} = 0,0 \dots 7,2$ м; локальные повышение деформации в пределах зоны закрепления на интервале $z_{v5} = 5,0 \dots 5,9$ м. Таким образом, зоны закрепления, расположенные по направлению действия горизонтальной нагрузки могут иметь значительные поперечные деформации.

В результате компьютерного моделирования и анализа результатов было доказана эффективность применения методов напорной инъекции для управления свойствами слабых грунтов и устойчивостью сооружений. Методы математического и компьютерного моделирования позволили с достаточной детальностью спрогнозировать полученный эффект от закрепления и выявить наиболее проблемные области грунтового массива. В частности при наличии дополнительной горизонтальной нагрузки (копры, наклонные и горизонтальные конвейерные галереи) и зон разуплотнения следует увеличивать количество и глубину инъекционных скважин для предотвращения повышенных вертикальных и горизонтальных деформаций.

На основе данных моделирования доказана эффективность разработанной ООО «НооЦентр» схемы закрепления, однако с целью достижения наибольшего эффекта рекомендуется располагать дополнительно зоны закрепления в наиболее загруженной части массива при асимметричной нагрузке, погруженные в грунт на глубину зоны разуплотнения № 2. Такой подход позволит перераспределить вертикальные и горизонтальные деформации в более прочный грунтовый массив и снизить осадки фундамента, его крен и поперечные деформации самих зон закрепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лучкин, М. А. Исследование свойств глинистых грунтов для геомеханического моделирования оснований / М. А. Лучкин, В. М. Улицкий // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2006.– №6.– С.7–9.
2. Ибрагимов, М. И. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов / М. И. Ибрагимов, В. В. Семкин.– Москва: Изд-во АСВ, 2012.– 256с.
3. Странченко, С. Г. Исследование параметров химического и электрохимического закрепления грунтов / С. Г. Странченко, П. Н. Должиков, А. А. Шубин.– Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009.– 198с.
4. Курленя, М. В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М. В. Курленя, В. М. Серяков, А. А. Еременко.– Новосибирск: Наука, 2005.– 264с.
5. Черданцев, Н. В. Моделирование геомеханического состояния анизотропного по прочности неоднородного массива горных пород / Н. В. Черданцев, В. Т. Преслер // Вестник КузГТУ.– 2011.– №4.– С.16–22.

6. Ермакова, И. А. Численное моделирование геомеханического состояния отвала на водонасыщенном основании / И. А. Ермакова, С. П. Бахаева, А. В. Дягилева // Вестник КузГТУ.– 2014.– №4.– С.11–15.
7. Лобанова, Т. В. Геомеханическое обоснование эксплуатации охраняемых объектов на земной поверхности Казского месторождения // Современные тенденции развития техники и технологий.– 2016.– №4–4.– С.65–71.
8. Безволов, С. Г. Общая методика расчета напряженно-деформированного состояния массива грунта с упрочняющими или ослабляющими элементами // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2008.– №3.– С.16–24.
9. Берлинов, М. В. Примеры расчета оснований и фундаментов / М. В. Берлинов, Б. А. Ягупов.– Москва, 1986.–173с.
10. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике.– Москва: Недра, 1987.– 221с.
11. Серия 1.820.9-1 Выпуск 1. Фундаменты железобетонные столбчатые. Рабочие чертежи.– Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1982.– 262с.
12. Никулин, Н. Ю. Комплексный геолого-геофизических мониторинг состояния и свойств грунтового основания горнотехнических сооружений / Н. Ю. Никулин, С. М. Простов, О. В. Герасимов // Вестник КузГТУ.– 2012.– №3.– С.3–8.
13. СП 22.13330.2011. Основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01.-83* / Мин. России.– Москва: ОАО «ЦПП», 2011.– 297 с.
14. Sergei M. Prostov, Mikhail V. Sokolov. Simulation of stress-strain state of the rein-forced soil foundation for structures. Taishan Academic Forum - Project on Mine Disaster Pre-vention and Control, October 17-20, Qingdao, China. 2014. pp.350–355.
15. Простов, С. М. Анализ напряженно-деформированного состояния укрепляемых грунтовых оснований на основе интегральных критериев / С. М. Простов, М. В. Соколов // Вестник КузГТУ.– 2015.– №6.– С.52–61.
16. Sergei M. Prostov, Mikhail V. Sokolov and Andrey V. Pokatilov. The Influence Of In-jecting Strengthening For Uniform Subgrade Soils Of Strip Foundations On Their Stress-Strain State. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10. Number 25. 2015. pp.45297–45306. <http://www.rippublication.com/Volume/ijaerv10n24.htm>
17. Простов, С. М. Комплексный мониторинг процессов упрочнения грунтов / С. М. Простов, О. В. Герасимов, Н. Ю. Никулин.– Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015.– 344с.
18. Соколов, М. В. Анализ влияния горизонтальной нагрузки на напряженно-деформированное состояние искусственных грунтовых оснований сооружений // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал.– Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова.– Новокузнецк.– 2016.– №2.– С.128–136.

REFERENCES

1. Luchkin, M. A. Issledovanie svoystv glinistykh gruntov dlya geomekhanicheskogo modelirovaniya osnovaniy / M. A. Luchkin, V. M. Ulitskiy // Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [The bases, foundations and soil mechanics]. 2006. №6. pp.7–9.
2. Ibragimov, M. I. Zakreplenie gruntov in"ektsiy tsementnykh rastvorov / M. I. Ibragimov, V. V. Semkin. Moskva: Izd-vo ASV [Publishing house construction universities], 2012. 256 p.
3. Stradanchenko, S. G. Issledovanie parametrov khimicheskogo i elektrokhimicheskogo zakrepleniya gruntov / S. G. Stradanchenko, P. N. Dolzhikov, A. A. Shubin. Novocherkassk: YuRG TU (NPI), 2009. 198 p.
4. Kurlenya, M. V. Tekhnogennye geomekhanicheskie polya napryazheniy / M. V. Kurlenya, V. M. Seryakov, A. A. Eremenko.– Novosibirsk: Nauka, 2005.– 264 p.
5. Cherdantsev, N. V. Modelirovanie geomekhanicheskogo sostoyaniya anizotropnogo po prochnosti ne-odnorodnogo massiva gornykh porod / N. V. Cherdantsev, V. T. Presler / Vestnik KuzGTU. 2011. №4. pp.16–22.
6. Ermakova, I. A. Chislennoe modelirovaniye geomekhanicheskogo sostoyaniya otvala na vodonasyshchennom osnovanii / I. A. Ermakova, S. P. Bakhaeva, A. V. Dyagileva // VestnikKuzGTU. 2014. №4. pp.11–15.
7. Lobanova, T. V. Geomechanicheskoe obosnovanie ekspluatatsii okhranyaemykh ob"ektov na zemnoy poverkhnosti Kazskogo mestorozhdeniya / Sovremennye tendentsii razvitiya tekhniki i tekhnologiy [Modern trends in engineering and technology]. 2016. №4–4. pp.65–71.
8. Bezvolev, S. G. Obshchaya metodika rascheta napryazhenny-deformirovannogo sostoyaniya massiva grunta s uprochnyayushchimi ili oslablyayushchimi elementami / Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [The bases, foundations and soil mechanics]. 2008. №3. S.16–24.

9. Berlinov, M. V. Primery rascheta osnovaniy i fundamentov / M. V. Berlinov, B. A. Yagupov. Moskva: Stroyizdat, 1986.173 p.
10. Fadeev, A.B. Metod konechnykh elementov v geomekhanike. Moskva: Nedra, 1987. 221 p.
11. Seriya 1.820.9-1 Vypusk 1. Fundamenty zhelezobetonnye stolbchatye. Rabochie chertezhi. Moskva: TsITP Gosstroya SSSR, 1982. 262 p.
12. Nikulin, N. Yu. Kompleksnyy geologo-geofizicheskikh monitoring sostoyaniya i svoystv gruntovogo osnovaniya gornotekhnicheskikh sooruzheniy / N. Yu. Nikulin, S. M. Prostov, O. V. Gerasimov / Vestnik KuzGTU. 2012. №3. pp.3–8.
13. SP 22.13330.2011. Osnovaniya i fundamente. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01.-83* / Min. Rossii. Moskva: OAO «TsPP», 2011. 297 p.
14. Sergei M. Prostov, Mikhail V. Sokolov. Simulation of stress-strain state of the rein-forced soil foundation for structures. Taishan Academic Forum - Project on Mine Disaster Pre-vention and Control, October 17-20, Qingdao, China. 2014. pp.350–355.
15. Prostov, S. M. Analiz napryazheno-deformirovannogo sostoyaniya ukrepyaemykh gruntovykh osnovaniy na osnove integral'nykh kriteriev / S. M. Prostov, M. V. Sokolov / Vestnik KuzGTU. 2015. №6. pp.52–61.
16. Sergei M. Prostov, Mikhail V. Sokolov and Andrey V. Pokatilov. The Influence Of In-jecting Strengthening For Uniform Subgrade Soils Of Strip Foundations On Their Stress-Strain State. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10. Number 25. 2015. pp.45297–45306. <http://www.rippublication.com/Volume/ijaerv10n24.htm>
17. Prostov, S. M. Kompleksnyy monitoring protsessov uprochneniya gruntov / S. M. Prostov, O. V. Gerasimov, N. Yu. Nikulin.– Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2015. 344s.
18. Sokolov, M. V. Analiz vliyaniya gorizonta'lnoy nagruzki na napryazheno-deformirovannoe sostoyanie iskusstvennykh gruntovykh osnovaniy sooruzheniy / Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov [High technologies development and utilization of mineral resources]: nauch. zhurnal.– Sib. gos. industr. un-t; pod obshchey red. V.N. Fryanova.– Novokuznetsk. 2016. №2. pp.128–136.

Поступило в редакцию 21.02.2017

Received 21.02.2017