УДК 624.131.7:624.130

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УКРЕПЛЯЕМОГО ОДНОРОДНОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ

Простов Сергей Михайлович,
д.т.н., профессор, e-mail: psm.kem@mail.ru
Соколов Михаил Валерьевич,
аспирант, e-mail: ea-sokolov42@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 50000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя 28

Аннотация

Актуальность работы. *Активное применение методов закрепления грунтовых оснований зданий и сооружений горного и общестроительного профиля трубует научного обоснования параметров закрепления. Существующие методы их определения имеют ряд недостатков, которые возможно исключить исследованием геомеханического аспекта данной проблемы.*

Цель работы: *Анализ пространственно-временных изменений напряженно-деформированного состояния закрепленного грунтового массива и зон закрепления на примере ленточного фундамента при симметричной нагрузке на основе интегральных критериев.*

Методы исследования: *Для формирования базы данных результатов в виде изолиний напряжений, деформаций и перемещений использован метод компьютерного моделирования с применением программного комплекса для геотехнических расчетов «Alterra». Анализ результатов включал методы статистической обработки.*

Результаты: *Приведены зависимости параметров напряженно-деформированного состояния и перемещений от технологических характеристик, физико-механических свойств грунтов основания и зон закрепления. Получены качественные и количественные интегральные оценки влияния закрепления на геомеханическое состояние однородных грунтовых оснований сооружений.*

Ключевые слова: *закрепленное грунтовое основание, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, смещения.*

Уплотнение грунтов с целью повышения их прочностных и деформационных характеристик все активнее применяется при строительстве и реконструкции зданий и сооружений как горнодобывающей, так и строительной областей промышленности. Выбор методов закрепления грунтов осуществляется с учетом инженерно-геологических условий, структуры, состояния и физико-механических свойств грунтового основания. Для грунтовых оснований, сложенных гравелистыми и песчаными грунтами, наибольшее применение нашли инъекционные методы [1, 2], в частности, метод напорной инъекции цементных растворов [3], в песчано-глинистых грунтах используют химические растворы [4, 5], а в обводненных глинах, илах весьма перспективен метод электрохимического закрепления [4, 6]. Указанные технологии находятся на разных стадиях практического применения, вместе с тем, недостаточно изученным является геомеханический аспект данной проблемы. Исследование геомеханических процессов в грунтовых массивах искусственных оснований как среды с заданными физико-механическими свойствами и измененным напряженно-деформированным состоянием позволяет более подробно оценить влияние техногенной деятельности при применении различных методов закрепления. Проведенные натурные испытания зон закрепления [7] показали необходимость учета их напряженно-деформированного состояния при определении основных технологических параметров. Рассмотренные в работах [8, 9] принципы могут быть использованы в качестве геомеханических моделей зон закрепления в грунтовом массиве.

В рамках изучения данной проблемы рационально применять численные методы моделирования [10], широко используемые для решения геомеханических задач как подземной, так и открытой геотехнологии, ориентированных, как привило, на обеспечение устойчивости подземных выработок и надземных сооружений глубокого заложения [11, 12]. При численном моделировании требуются достоверные значения прочностных и деформационных характеристика грунтов и зон закрепления [13].

Общие методологические подходы к решению поставленной проблемы изложены в работах [14, 15]. Принятая расчетная модель реализована методом конечных элементов с использованием программного комплекса для геотехнических расчетов «Alterra» компании ООО «ИнжПроектСтрой».

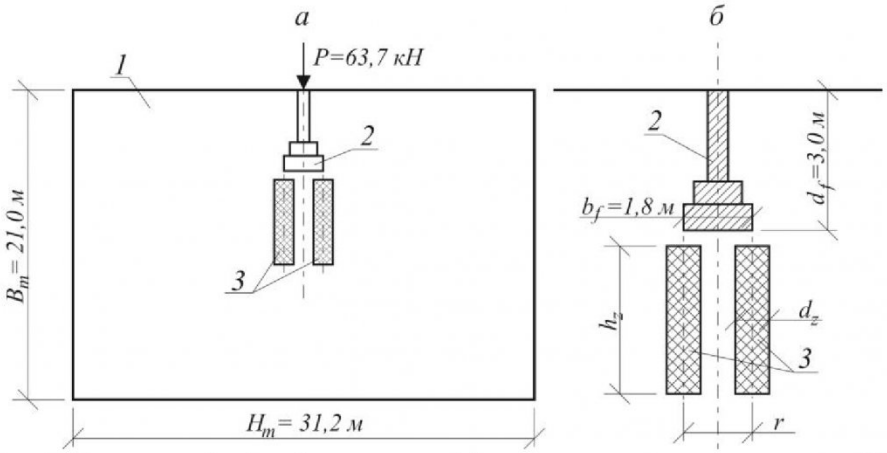

Рис. 1. Схемы исходной модели массива (а) и расположения зон укрепления (б):
1 – однородный массив; 2 – ленточный фундамент; 3 – зоны укрепления
Fig. 1. Schemes of the initial model (a) and location of the zones of strengthening (b):
1 – homogeneous subgrade; 2 – strip foundation; 3 – area of strengthening

Результатом проведенных компьютерных исследований является накопленная и непрерывно дополняемая база данных о напряженно-деформированном состоянии грунтовых оснований различного геологического строения в широком диапазоне технологических параметров строительства фундаментов сооружений и укрепительных работ. Основные направления практического использования полученной базы данных состоят в следующем [16]:

– установление закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массива в основании сооружений в наиболее характерных сечениях;

– установление зависимостей основных технологических и конструктивных параметров фундаментов от изменяемых параметров модели;

– рекомендации по конкретным технологическим и конструктивным параметрам фундаментов при проектировании строительных и ремонтных работ.

Ниже приведены результаты исследований для ленточного фундамента на однородном укрепляемом грунтовом основании. Расчетная модель (рис. 1, *а*) представляет собой однородный грунтовый массив заданных размеров и свойств (модуль деформации E = 5МПа, коэффициент поперечных деформаций $\nu = 0{,}36$) под ленточный железобетонный двухступенчатый фундамент, нагруженный сосредоточенной силой P = 63,7кН с шириной подошвы b_f = 1,8м. В качестве примера закрепления массива рассмотрено вертикальное симметричное расположенные зон, согласно схеме (рис. 1, *б*).

Объектом анализа являются результаты моделирования в виде изолиний напряжений, деформаций и перемещений, включающие в себя следующие диапазоны параметров:

– высота зоны закрепления h_z = 1…5м;

– диаметр зоны закрепления d_z = 0,3…0,9м;

– относительная жесткость E_z/E = 1…5;

– расстояние между зонами закрепления $r = 1{,}5d_z\ldots(2d_z+b_f)$.

Характерные результаты моделирования приведены в работе [16].

Для интегральной оценки изменения деформационных свойств массива в качестве количественного критерия принята величина вертикального смещения (осадки) фундамента Δ_z, так как данный критерий является основным при расчете фундаментов согласно СП 23.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» и приводится как эталонный в рекомендациях по применению методов закрепления.

Основные результаты обработки величин вертикальных смещений Δ_z по данным компьютерного моделирования приведены на рис. 2.

Анализ зависимостей $\Delta_z(r/b_f;E_z/E)$ показывает, что величина Δ_z монотонно уменьшается с увеличением относительной ширины и высоты зоны закрепления и улучшением деформационных свойств грунтов. Этот вывод качественно согласуется с физическими представлениями о деформировании грунтового основания и косвенно подтверждает достоверность результатов моделирования.

Введем в рассмотрение интегральные параметры закрепленной зоны: площадь поперечного сечения $A_z = \pi d_z^2/4$ и объем $V = \pi h_z d_z^2/4$. Данные параметры и величина E_z/E являются основными при выполнении проектов по закреплению оснований сооружении.

Анализ зависимостей $\Delta_z(r/b_f)$ при переменных значениях V и E_z/E позывает, что расположение зон с максимальным перекрытием их площади поперечного сечения A_z площадью подошвы фундамента A_f позволяет достигать наибольшего эффекта. При отношении $A_z/A_f < 0{,}1$ и низких физико-механических свойствах зон закрепления ($E_z/E < 3$), а также при действии поперечных нагрузок и изгибающих моментов данные зоны

рекомендуется располагать в краевых областях максимального давления под подошвой фундамента.

Исходя из полученных данных, наиболее эффективными являются модели, параметры которых находятся в следующих диапазонах:

- при d_z = 0,3 м: r/b_f = 0,9…1,0; h_z = 1…4 м;
- при d_z = 0,6 м: r/b_f = 0,8…1,1; h_z = 1…5 м;
- при d_z = 0,9 м: r/b_f = 0,7…1,2; h_z = 1…5 м;

Для оценки эффективности закрепления использован дополнительный приведенный интегральный параметр модели – величина отрицательного приращения Δ, характеризующего изменение деформаций грунтового основания под действием управляющего воздействия, и его относительное значение δ:

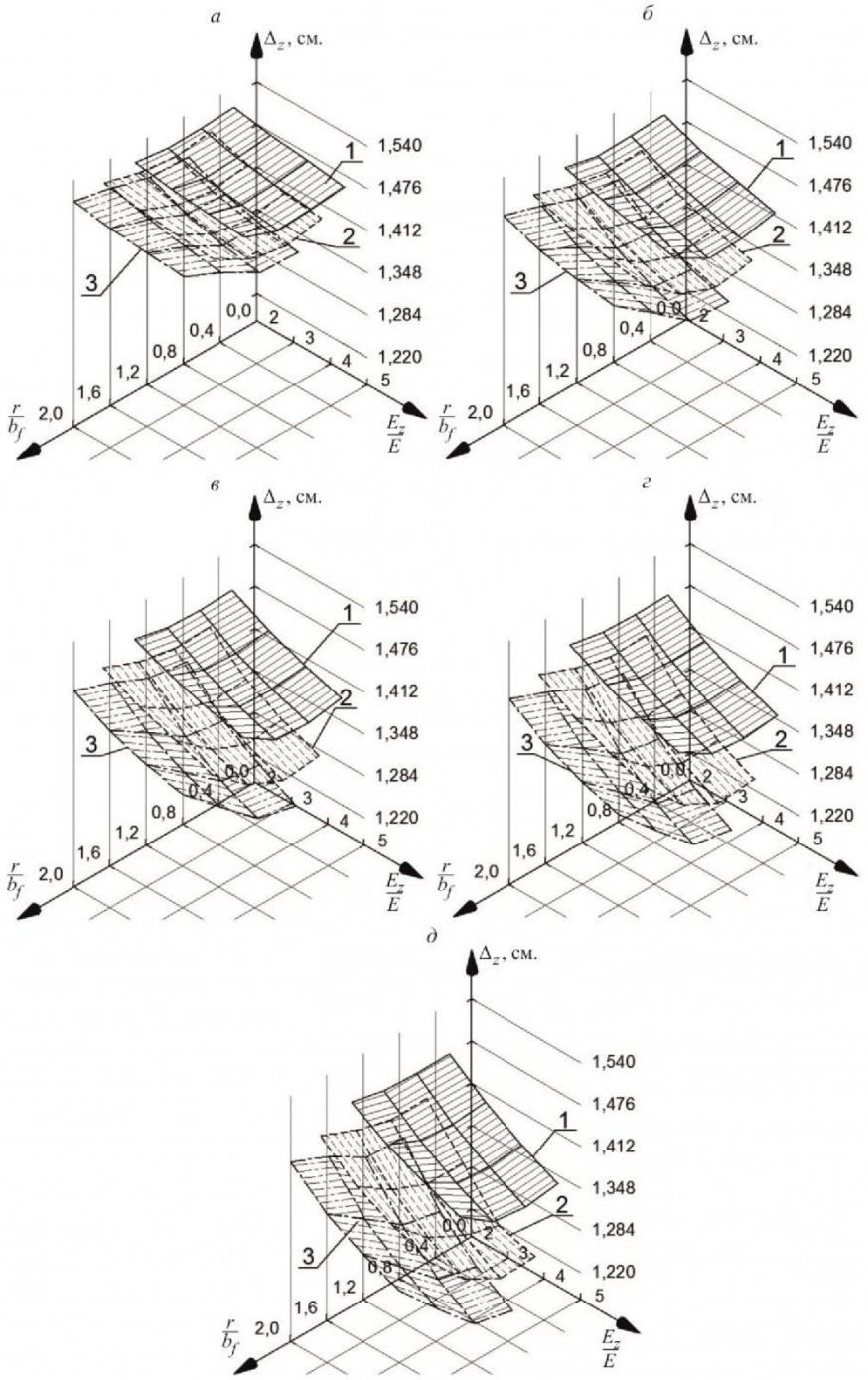

Рис. 2. Зависимости Δ_z от отношений r/b_f и E_z/E при значениях h_z = 1 м (а), h_z = 2 м (б), h_z = 3м (в), h_z = 4 м (г), h_z = 5 м (д), и d_z, равных: 1 – d_z = 0,3 м; 2 – d_z = 0,6 м; 3 – d_z = 0,9 м

Fig. 2. Dependencies vertical displacement Δ_z from the relationships r/bf and E_z/E for the values of h_z = 1 m (a), h_z = 2 m (b), h_z = 3 m (c), h_z = 4 m (d), h_z = 5 m (f) and d_z, being equal: 1 – d_z = 0,3 m; 2 – d_z = 0,6 m; 3 – d_z = 0,9 m

$$\Delta = \Delta_z - \Delta_{zy}; \qquad \delta = \frac{\Delta}{\Delta_z} \cdot 100\%,$$

где Δ_z – вертикальное смещение при отсутствии зон закрепления (Δ_z = 1,54 см), Δ_{zy} – вертикальное смещение при закреплении грунтов основания.

Зависимости величин Δ_z и Δ от параметров модели приведены на рис. 3.

Из приведенных графиков следует, что уменьшение деформаций основания происходит нелинейно с возрастанием объема закрепляемой части грунта. В частности, наибольший эффект наблюдается при наибольшей относительной жесткости зоны укрепления $E_z/E = 5$ и размере зоны $d_z = 0{,}9$ м.

Зависимости δ от площади продольного сечения зон закрепления $S_z = 2d_zh_z$ приведены на рис. 4, из которых следует, что применение закрепления при $E_z/E < 2$ является экономически менее выгодным, так как в диапазоне значений $S_z = 4\ldots9$ м^2 и при наибольших значениях параметров h_z и d_z критерий δ не превышает 10%. В качестве критерия для оценки эффективности принята величина $\delta > 10\%$, так как применение методов закрепления при $\delta < 10\%$ считается экономически невыгодным. Эффективное применение закрепления при $E_z/E = 3\ldots5$ также ограничено диапазонами S_z, но при этом большему значению S_z будут соответствовать меньшие величины параметров h_z и d_z.

Рациональный диапазон относительной жесткости составляет $E_z/E = 3\ldots5$, так как в этом диапазоне $\delta > 15\%$ при указанных выше диапазонах параметров h_z, d_z и отсутствуют технологические проблемы по достижению требуемых параметров.

Второй этап обработки результатов был направлен на оценку изменения напряженного состояния закрепляемого грунтового основания и зон закрепления. Получены расчетные зависимости вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений от координаты модели z вдоль оси симметрии фундамента, приведенные на рис. 5.

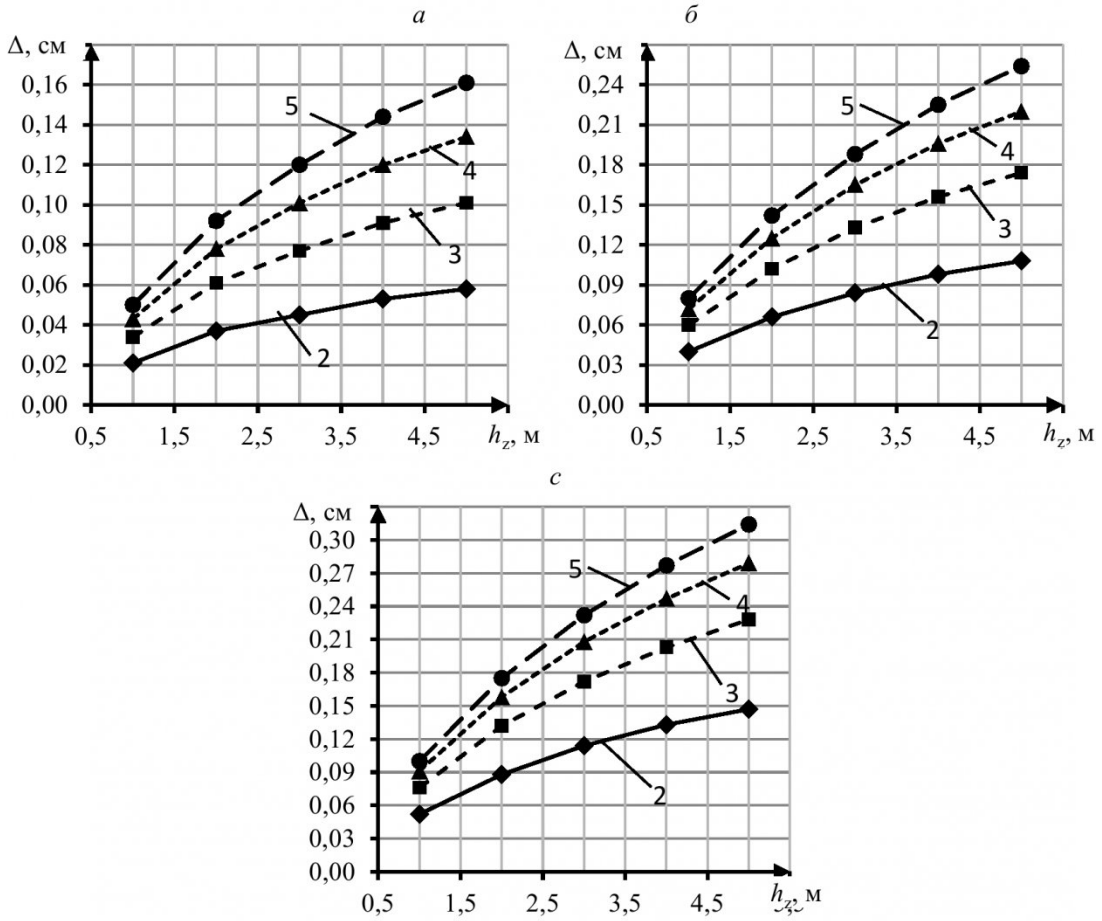

Рис. 3. Зависимости отрицательных приращений вертикальных смещений Δ от h_z при d_z = 0,3 м (а), d_z = 0,6 м (б), d_z = 0,9 м (с) и отношении E_z/E, равном: 1 – E_z/E = 1; 2 – E_z/E = 2; 3 – E_z/E = 3; 4 – E_z/E = 4; 5 – E_z/E = 5

Fig. 3. Negative increments vertical displacements Δ from the h_z at d_z = 0,3 m (a), d_z = 0,6 m (b), d_z = 0,9 m (c) and relationships E_z/E, is: 1 – E_z/E = 1; 2 – E_z/E = 2; 3 – E_z/E = 3; 4 – E_z/E = 4; 5 – E_z/E = 5

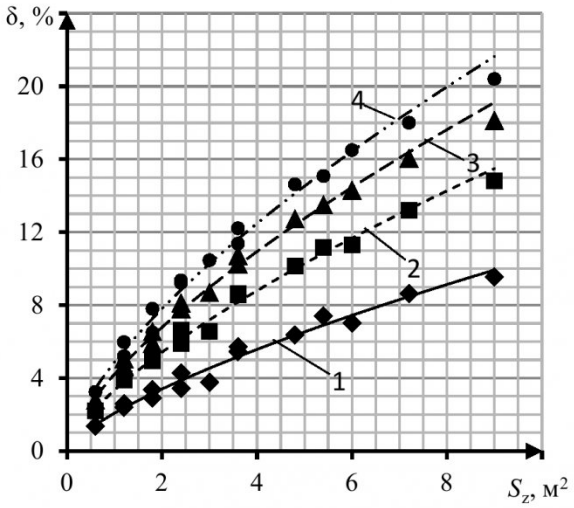

Рис. 4. Зависимости δ от продольной площади зон закрепления S_z при отношении E_z/E, равном: 1 – E_z/E = 2; 2 – E_z/E = 3; 3 – E_z/E = 4; 4 – E_z/E = 5

Fig. 4. Dependencies increments relative displacements δ from the longitudinal area of consolidation zones S_z at relationship E_z/E, is: 1 – E_z/E = 2; 2 – E_z/E = 3; 3 – E_z/E = 4; 4 – E_z/E = 5

Результаты моделирования показывают, что имеют место следующие характерные изменения напряженного состояния массива: образование локальных зон повышеных напряжений под опорной площадью зон закрепления; образование зон распределения напряжения, имеющих линейный характер; концентрация горизонтальных и вертикальных (в некоторых случаях) напряжений под подошвой фундамента.

Анализ графиков $\sigma_z(z)$ показывает, что величина σ_z уменьшается пропорционально продольной площади S_z и относительной жесткости E_z/E зон закрепления (рис. 5). При этом имеют место три возможных случая изменения σ_z:

- при расположении зон закрепления, имеющих малые размеры и низкие физико-механические свойства, на значительном удалении друг от друга (рис. 5, *а*) происходит возрастание напряжений σ_z, связанное с уменьшением площади распределения σ_z за счет влияния границ в виде зон закрепления;
- при расположении зон закрепления, имеющих оптимальные параметры, и расстоянии между осями зон закрепления не менее $2d_z$ (рис. 5, *б*) происходит уменьшение величины σ_z, являющееся следствием передачи нагрузки от фундамента на большую глубину (зоны закрепления играют роль «аналога» грунтовых свай) и перемещений зон закрепления в грунтовом массиве относительно оси конструкции; в диапазоне z = 4,5…11,0 м наблюдается изменение характера графика на линейный;
- при расположении зон закреплении, имеющих значительные геометрические параметры, с максимальным приближением друг к другу (рис. 5, *в*) происходит уменьшение величины σ_z, также связанное с наличием «аналога» грунтовых свай и перемещениями зон; в диапазоне z = 4,5…11,0 м наблюдается стабилизация величины σ_z.

Анализ графиков $\sigma_x(z)$ показывает, что в диапазонах z = 3,0…4,5 м существенных изменений величины σ_x не наблюдаются, а в диапазоне z = 11,0…21,0 м изменения σ_x могут быть обусловлены погрешностью расчета, связанной с укрупненной сеткой конечных элементов и ограниченным количеством изолиний.

Наличие отрицательных значений σ_x в диапазоне z = 4,5…11,0 м при различных значениях d_z и h_z свидетельствует о деформациях зон закрепления в верхней области, являющихся следствием изгиба и перемещения этих зон относительно конструкции фундамента. Величина отрицательного значения σ_x зависит от деформационных свойств зон закрепления, расстояния между ними, и достигает пиковых значений при максимальном приближении зон закрепления друг к другу. В нижней части зон закрепления наблюдается область концентрации отрицательных значений σ_x, размер которой не превышает 1,5 м и не зависит от h_z. Пиковые горизонтальные напряжения в зонах закрепления сконцентрированы в верхней части, высота которой не превышает 1,5 м.

В границах зон закрепления распределение вертикальных σ_{zz} (рис. 6) и горизонтальных σ_{xz} (рис. 7) напряжений происходит по линейному закону с образованием областей концентрации в зоне контакта с нижней плоскостью фундамента. В зависимости от диаметра зон закрепления наиболее предпочтительными являются зон при d_z = 0,3 м и d_z = 0,6 м. При d_z = 0,9 м наблюдается неравномерное распределение напряжений в плоскости поперечного сечения, свидетельствующее о наличии возможного продольного среза.

Интегральные показатели вертикальных I_{zv} и горизонтальных I_{gv} напряжений (рис. 8) представляют собой осредненные значения напряжений в

границах зон закрепления

$$I_{zv} = \frac{\sum \sigma_{zz,i} \cdot S_i}{\sum S_i}; \quad I_{zg} = \frac{\sum \sigma_{zx,i} \cdot S_i}{\sum S_i},$$

где $\sigma_{zz,i}$ и $\sigma_{zx,i}$ – значения вертикальных и горизонтальных напряжений, соответствующие отдельной изолинии, кПа; S_i – площадь отдельно взятой изолинии, м^2.

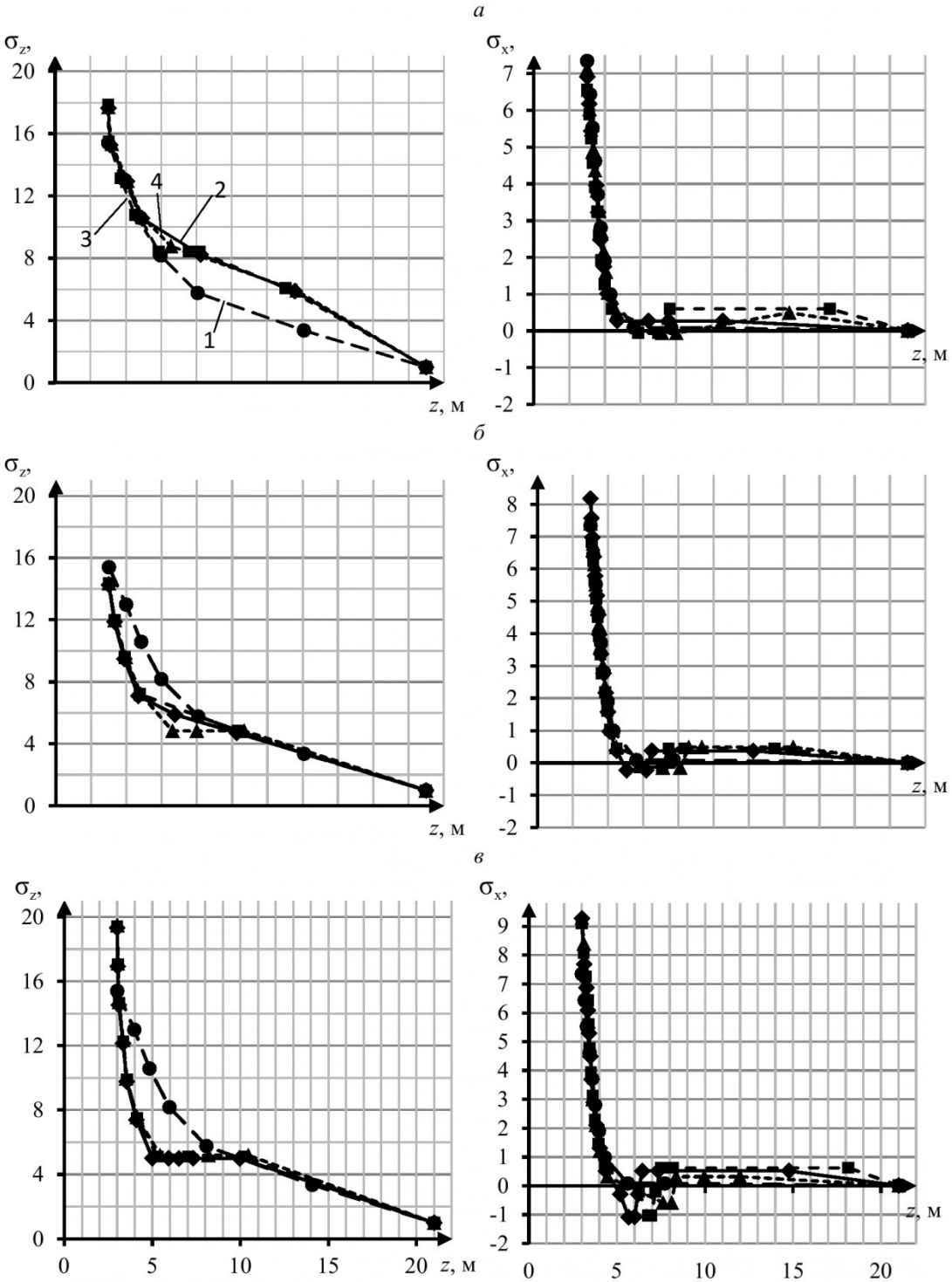

Рис. 5. Зависимости σ_z и σ_x от координаты модели z при различных значениях ширины d_z и высоты h_z зон закрепления, d_z = 0,3 м (а), d_z = 0,6 м (б), d_z = 0,9 м (в):
1 – однородный массив (h_z = 0); 2 – h_z = 3,0 м; 3 – h_z = 4,0 м; 4 – h_z = 5,0 м

Fig. 5. Dependences of the stress σ_z and σ_x from the model coordinates z for different values of the width d_z and height h_z consolidation zones, d_z = 0,3 m (a), d_z = 0,6 m (b), d_z = 0,9 m (c): 1 – homogeneous subgrade (h_z = 0); 2 – h_z = 3,0 m; 3 – h_z = 4,0 m; 4 – h_z = 3,0 m

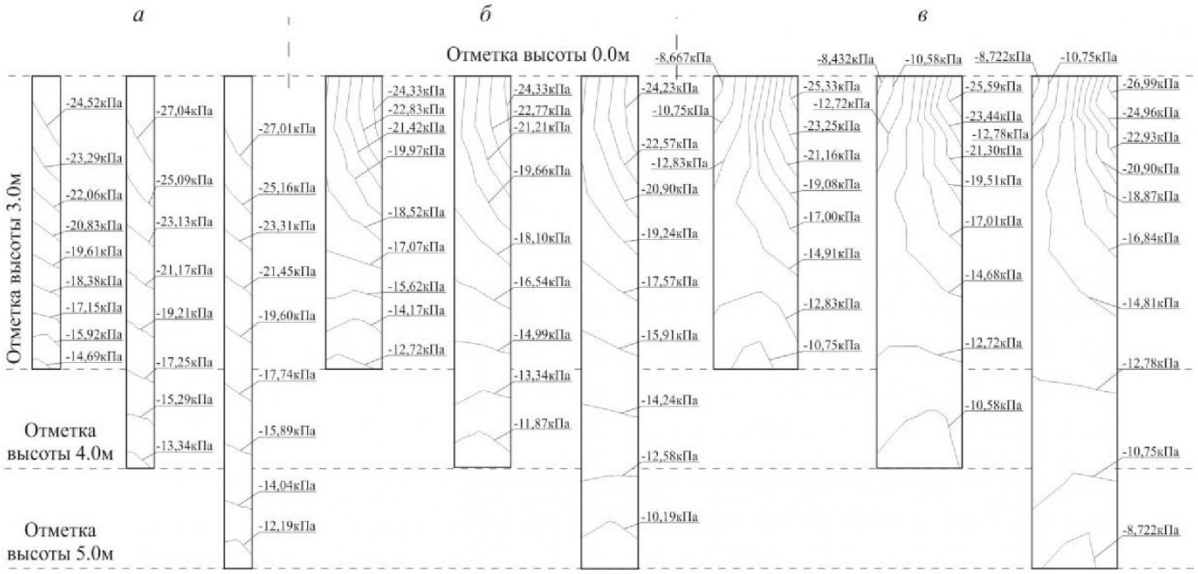

Рис. 6. Результаты моделирования в виде изолиний вертикальных напряжений σ_{zz} при диаметре зон укрепления d_z = 0,3 м (а), d_z = 0,6 м (б) и d_z = 0,9 м (в)

Fig. 6. The simulation results in the form of contour lines under vertical stresses σ_{zz} diameter zones strengthening d_z = 0,3 m (a), d_z = 0,6 m (b) и d_z = 0,9 m (c)

Графики I_{zv} (S_z) и I_{zg} (S_z) свидетельствует об уменьшении концентрации напряжений с возрастанием продольной площади S_z закрепляемого массива (рис. 8).

Интегральные показатели вертикальных G_{zv} и горизонтальных G_{gv} деформаций, представляют собой осредненные значения деформаций в границах зон закрепления

$$G_{zv} = \frac{\sum \varepsilon_{zz,i} \cdot S_i}{\sum S_i}; \qquad G_{zg} = \frac{\sum \varepsilon_{zx,i} \cdot S_i}{\sum S_i},$$

где $\varepsilon_{zz,i}$ и $\varepsilon_{zx,i}$ – значение вертикальных и горизонтальных деформаций, соответствующие отдельной изолинии, кПа; S_i – площадь отдельно взятой изолинии, м^2.

Графики G_{zv} (S_z) и G_{zg} (S_z) показывают, что проявление выгиба и среза не зависит от высоты зон закрепления, но при возрастании объема за-

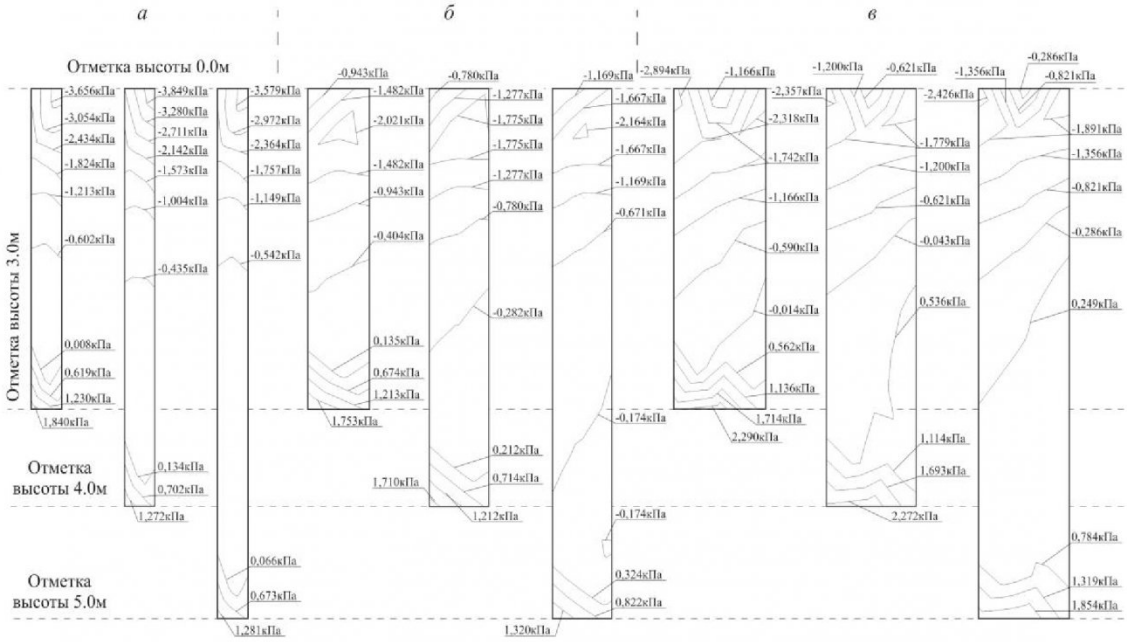

Рис. 7. Результаты моделирования в виде изолиний горизонтальных напряжений σ_{xz} при диаметре зон укрепления d_z = 0,3 м (а), d_z = 0,6 м (б) и d_z = 0,9 м (в)

Fig. 7. The simulation results in the form of contour lines under horizontal stresses σ_{zg} diameter zones strengthening d_z = 0,3 m (a), d_z = 0,6 m (b) и d_z = 0,9 m (c)

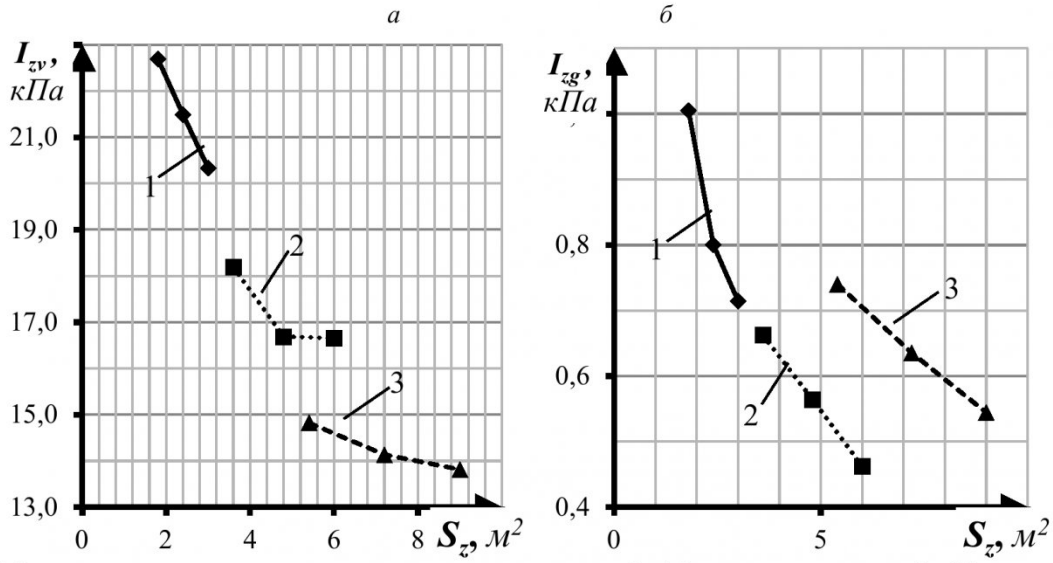

Рис. 8. Зависимость интегральных показателя вертикальных I_{zv} (*а*) и горизонтальных I_{gv} (*б*) напряжений от продольной площади S_z зон закрепления при диаметре зон d_z, равном:
1 – d_z = 0,3 м; 2 – d_z = 0,6 м ; 3 – d_z = 0,9 м

Fig. 8. Dependence of the integral index of vertical I_{zv} (*a*) and horizontal I_{gv} (*b*) stresses the longitudinal area S_z of zones strengthening with a diameter d_z, equal to:1 – d_z = 0,3 m; 2 – d_z = 0,6 m ; 3 – d_z = 0,9 m

крепляемого массива их величина уменьшается по линейному закону (рис. 9).

Таким образом, произведенный анализ показал неэффективность закрепления при d_z = 0,3 м и d_z = 0,9 м из-за наличия повышенных деформаций. По приведённой базе данных оптимальным диапазонам параметра d_z зон закрепления является d_z = 0,4-0,8м.

Полученные результаты целесообразно использовать для разработки практических рекомендаций при проектировании горно-строительных работ и ликвидации аварийных состояний. В частности при строительстве на основаниях, имеющих однородное строение, могут быть учтены следующие рекомендации:

- зоны укрепления следует располагать с максимальным использованием их площади поперечного сечения по отношению к площади подошвы фундамента;
- зоны укрепления следует располагать с приближением к краевым точкам максимальных давлений под подошвой фундамента;

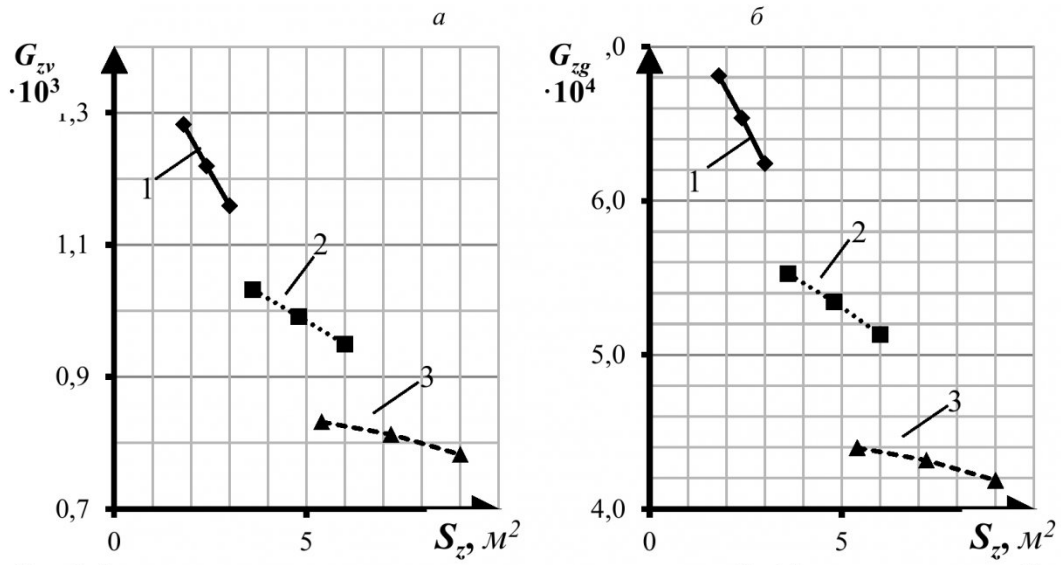

Рис. 9. Зависимость интегральных показателя вертикальных G_{zv} (а) и горизонтальных G_{gv} (б) деформаций от продольной площади S_z зон закрепления при диаметре зон d_z, равном:
1 – d_z = 0,3 м; 2 – d_z = 0,6 м ; 3 – d_z = 0,9 м

Fig. 9. Dependence of the integral index of vertical G_{zv} (a) and horizontal G_{gv} (b) deformations from the longitudinal area S_z of zones strengthening with a diameter d_z, equal to:
1 – d_z = 0,3 m; 2 – d_z = 0,6 m ; 3 – d_z = 0,9 m

- расстояние между осями зон закрепления должно быть не менее $2d_z$ для обеспечения равномерного распределения напряжений и деформаций;
- не рекомендуется использовать зоны укрепления с параметрами $h_z < 3{,}0$ м, $d_z < 0{,}3$ м, $d_z > 0{,}8$ м и $E_z/E < 3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибрагимов М. Н. Опыт применения методов инъекции укрепления грунтов основания // Основания, фундаменты и механика грунтов.–2009. – №1. – С. 15–19.
2. Исаев Б. Н. Опыт закрепления грунтов цементогрунтовыми элементами / Б. Н. Исаев, С. Ю. Бадеев, А. Г. Лунев, Н. Н. Цапкова, В. В. Логутин, М. В. Кузнецов, В. С. Бадеев //Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2010. – №5.– С. 29–32.
3. Ибрагимов М. И. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов / М. И. Ибрагимов, В. В. Семкин. – Москва : Изд-во АСВ, 2012. – 256 с.
4. Страданченко С. Г. Исследование параметров химического и электрохимического закрепления грунтов / С. Г. Страданченко, П. Н. Должиков, А. А. Шубин. – Новочеркаск : ЮРГТУ (НПИ), 2009. – 198 с.
5. Простов С. М. Результаты исследований свойств глинистых грунтов при локальном гидроразрыве и уплотнении инъекцией цементно-песчаного раствора / С. М. Простов, О. В. Герасимов, Н. Ю. Никулин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – №2. – С. 16–21.
6. Простов С. М. Электрохимическое закрепление грунтов / С. М. Простов, А. В. Покатилов, Д. И. Рудковский; РАЕН. – Томск : Изд-во Том. Ун-та, 2011. – 294 с.
7. Малинин, А. Г. Экспериментальные исследования диаметра грунтоцементных колонн в различных грунтовых условиях / А. Г. Малинин, И. Л. Гладков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – №3. – С. 27–30.
8. Моайеди Х. Оценка распределения напряжений и деформаций в буронабивных сваях / Х. Моайеди, Р. Назир, М. Мосалланежад // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2014.– №6.– С. 13.
9. Шулятьев О. А. Натурные измерения распределения нагрузок между сваями в фундаменте / О. А. Шулятьев, А. И. Харичкин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2009. – №6. – С. 17–22.
10. Безволев С. Г. Общая методика расчета напряженно-деформированного состояния массива грунта с упрочняющими или ослабляющими элементами // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – №3. – С. 2–8.
11. Курленя М. В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М. В. Курленя, В. М. Серяков, А. А. Еременко. – Новосибирск : Наука, 2005. – 264 с.
12. 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. 11–12.
13. 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.
14. Покатилов А. В. Компьютерное моделирование геомеханических процессов при электрохимическом закреплении грунтовых оснований сооружений / А. В. Покатилов, С. М. Простов, С. А. Иванов // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 4. – С. 61–63.
15. Chung W, Experimental and numerical study of soil-reinforcement effects on the low-strain stiffness and bearing capacity of shallow foundations // Geotech. Geol. Eng. – 2007. – N25. – 265–281.
16. Простов С. М. Исследование напряженно-деформированного состояния укрепляемого грунтового основания ленточного фундамента / С. М. Простов, М. В. Соколов // Вестник КузГТУ. – 2015. – №1. – С. 7–10.

Поступило в редакцию 14.10.2015

UDC 624.131.7:624.130

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE STRENGTHENS HOMOGENEOUS SUBGRADE ON THE BASIS OF INTEGRATED CRITERIA

Prostov Sergey M.
doctor of technical sciences, professor, e-mail: psm.kem@mail.ru
Sokolov Mikhail M.
graduate student, e-mail: ea-sokolov42@mail.ru

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennyaya street, Kemerovo, Russia, 650000

Abstract

The urgency of the discussed issue. *Extensive use of fixing soil bases of buildings and structures of mining and general profile of the pipe-foot scientific substantiation of parameters fixing. Existing methods of determining a number of disadvantages, which may exclude research geomechanical second aspect of this problem.*

The main aim of the study: *To analyze the spatial and temporal changes in the stress-strain state of the fixed ground array and secure areas on the example of strip foundation under symmetrical load on the basis of integral criteria.*

The methods used in the study: *To create a database of the results in the form of contours of stresses, strains and displacements used the method of computer simulation using software for geotechnical calculations «Alterra». Analysis of the results included a statistical treatment.*

The results: *The dependences of the parameters of the stress-strain state and the displacement of the technological characteristics, physical and mechanical properties of soils and foundation consolidation zones. Qualitative and quantitative assessment of the impact of integral attachment to the geomechanical state of homogeneous soil bases structures.*

Keywords: *fixed ground foundation, stress-strain state, computer simulation, offset*

REFERENCES

1. Ibragimov, M. N. Opyt primenenija metodov in#ekcii ukreplenija gruntov osnovanija // Osnova-nija, fundamenty i mehanika gruntov.–2009. – №1. – S. 15–19.
2. Isaev, B. N. Opyt zakreplenija gruntov cementogruntovymi jelementami / B. N. Isaev, S. Ju. Ba-deev, A. G. Lunev, N. N. Capkova, V. V. Logutin, M. V. Kuznecov, V. S. Badeev //Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov. – 2010. – №5.– S. 29–32.
3. Ibragimov, M. I. Zakreplenie gruntov in#ekciej cementnyh rastvorov /
M. I. Ibragimov, V. V. Semkin. – Moskva : Izd-vo ASV, 2012. – 256 s.
4. Stradanchenko, S. G. Issledovanie parametrov himicheskogo i jelektrohimicheskogo zakreplenija gruntov / S. G. Stradanchenko, P. N. Dolzhikov, A. A. Shubin. – Novocherkask : JuRGTU (NPI), 2009. – 198 s.
5. Prostov, S. M. Rezul'taty issledovanij svojstv glinistyh gruntov pri lokal'nom gidrorazry-ve i uplotnenii in#ekciej cementno-peschanogo rastvora / S. M. Prostov, O. V. Gerasimov, N. Ju. Niku-lin // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov. – 2015. – №2. – S. 16–21.
6. Prostov, S. M. Jelektrohimicheskoe zakreplenie gruntov / S. M. Prostov, A. V. Pokatilov, D. I. Rudkovskij; RAEN. – Tomsk : Izd-vo Tom. Un-ta, 2011. – 294 s.
7. Malinin, A. G. Jeksperimental'nye issledovanija diametra gruntocementnyh kolonn v razlich-nyh gruntovyh uslovijah / A. G. Malinin, I. L. Gladkov // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov. – 2011. – №3. – S. 27–30.
8. Moajedi, H. Ocenka raspredelenija naprjazhenij i deformacij v buronabivnyh svajah / H. Moaj-edi, R. Nazir, M. Mosallanezhad // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov.– 2014.– №6.– S. 13.
9. Shuljat'ev, O. A. Naturnye izmerenija raspredelenija nagruzok mezhdu svajami v fundamente / O. A. Shuljat'ev, A. I. Harichkin // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov. – 2009. – №6. – S. 17–22.
10. Bezvolev, S. G. Obshhaja metodika rascheta naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija massiva grunta s uprochnjajushhimi ili oslabljajushhimi jelementami // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov. – 2008. – №3. – S. 2–8.
11. Kurlenja, M. V. Tehnogennye geomehanicheskie polja naprjazhenij / M. V. Kurlenja, V. M. Serjakov, A. A. Eremenko. – Novosibirsk : Nauka, 2005. – 264 s.
12. Ermakova, I. A. Chislennoe modelirovanie geomehanicheskogo sostojanija otvala na vodonasyshhennom osnovanii / I. A. Ermakova, S. P. Bahaeva, A. V. Djagileva // Vestnik KuzGTU. – 2014. – № 4. – S. 11–12.
13. Luchkin, M. A. Issledovanie svojstv glinistyh gruntov dlja geomehanicheskogo modelirovanija osnovanij / M. A. Luchkin, V. M. Ulickij // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov.– 2006.– №6.– S. 7–9.
14. Pokatilov, A. V. Komp'juternoe modelirovanie geomehanicheskih processov pri jelektrohimiche-skom zakreplenii gruntovyh osnovanij sooruzhenij / A. V. Pokatilov, S. M. Prostov, S. A. Ivanov // Vestnik KuzGTU. – 2013. – № 4. – S. 61–63.
15. Chung W, Experimental and numerical study of soil-reinforcement effects on the low-strain stiffness and bearing capacity of shallow foundations // Geotech. Geol. Eng. – 2007. – N25. – 265–281.
16. Prostov, S. M. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija ukrepljaemogo gruntovo-go osnovanija lentochnogo fundamenta / S. M. Prostov, M. V. Sokolov // Vestnik KuzGTU. – 2015. – №1. – S. 7–10.

Received 14 October 2015

УДК 621.577

НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ШАХТНОГО МЕТАНА

Тайлаков Олег Владимирович[1,2],
доктор техн. наук, проректор/заведующий лабораторией, e-mail: tov@kuzstu.ru
Застрелов Денис Николаевич[2],
кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: Zastrelov@uglemetan.ru
Уткаев Евгений Александрович[2],
кандидат техн. наук, научный сотрудник, e-mail: utkaev@uglemetan.ru
Соколов Сергей Владиславович[2],
младший научный сотрудник, e-mail: sokolov@uglemetan.ru
Кормин Алексей Николаевич[2],
младший научный сотрудник, e-mail: sokolov@uglemetan.ru
Смыслов Алексей Игоревич[2],
младший научный сотрудник, e-mail: smyslov@uglemetan.ru

[1]Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

[2]Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук, 650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

Аннотация: *В процессе угледобычи выделяется шахтный метан, который извлекается на поверхность системами дегазации, вентиляции и управления газовыделением. Метан является парниковым газом и в тоже время пригоден для полезного использования. В статье приведены оценки объемов выбросов метана, сопровождающие добычу угля подземным способом, уровень концентрации метана в метановоздушной смеси в зависимости от типов источников выбросов. В статье рассмотрены основные направления и возможные способы утилизации шахтного метана с целью получения полезных продуктов, тепловой и электрической энергии, использования в качестве моторного топлива.*

Ключевые слова: *извлечение шахтного метана; утилизация; газомоторная установка; котельная; метановоздушная смесь; концентрация; выбросы парниковых газов*

Развитие угольной промышленности в условиях низкоуглеродной экономики определены Распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп «О климатической доктрине Российской Федерации» и «Энергетической стратегией России на период до 2030 года», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. В качестве целевых показателей в них указаны: внедрение энергоэффективных технологий, использование возобновляемых источников энергии, снижение негативного влияния на климат. Указом Президента России от 30 сентября 2013 года №752 «О сокращении выбросов парниковых газов» и «Планом мероприятий по обеспечению к 2020 г. сокращения объема выбросов парниковых газов до уровня не более 75 процентов объема указанных выбросов в 1990 г.», утвержденным Распоряжением Правительства Российской Федерации от 02.04.2014 г. № 504-р, предусмотрена ответственность предприятий, которые выбрасывают в атмосферу парниковые газы [1].

Производственный цикл угледобывающих предприятий характеризуется значительной эмиссией метана, снижение которой возможно путем применения газоутилизационных установок. В 1990-2012 гг. ежегодная эмиссия метана (парникового газа) в атмосферу на предприятиях угольной промышленности составила до 30 млрд. м^3 (рис. 1) [2]. При этом выбросы шахтного метана, сопровождающие добычу угля подземным способом, составили 25,5 млрд. м^3, из которых ежегодно перерабатывалось до 1,3 млрд. м^3, т.е. 5%.

В глобальном масштабе при разработке угольных месторождений подземным способом выбросы метана составляют 50 млрд. м^3/год, из которых ежегодно утилизируется до 3 млрд. м^3 или 6% [3]. Таким образом, объемы утилизации шахтного метана в РФ близки к среднемировым показателям. Большая часть метана при разработке угольных месторождений подземным способом выводится на поверхность через вентиляционные системы угольных шахт (до 90%) с обедненным содержанием этого газа. Высокое содержанием метана обеспечивается при применении средств дегазации угольных пластов путем бурения вертикальных и наклонных скважин с поверхности, а также из горных выработок в пласт. Метановоздушная смесь (МВС) по системе трубопроводов поступает на дневную поверхность. Согласно Инструкции по