

УДК 624.130.7:624.048

Соколов Михаил Валерьевич, ст. преподаватель
Простов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор
(КузГТУ, г. Кемерово)
Sokolov Mikhael V., lecturer
Prostov Sergey M. professor, doctor of engineering sciences
(KuzSTU, Kemerovo)

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СООРУЖЕНИЙ УСИЛЕНИЕМ
ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**INCREASE OF STABILITY OF STRUCTURES BY STRENGTHENING
GROUND BASES ON THE BASIS OF GEOMECHANICAL MODELING**

Аннотация: В статье приведены основные положения методики геомеханического обоснования технологических параметров методов укрепления грунтовых оснований. Приведено описание метода геотехногенных блоков разработанного в НИИОСП им. Н.М. Герсевича. Представлены частичные результаты геомеханического прогноза на примере горнотехнического объекта.

Abstract: The article presents the main provisions of the method of geomechanical substantiation of technological parameters of methods for strengthening ground bases. A description of the method of geotechnical blocks developed by the NIIOSP after name N.M. Gersevanov is given. Partial results of a geomechanical prediction on the example of a mining facility are presented.

В настоящее время имеется тенденция размещать горнотехнические сооружения в зоне влияния горных работ. В основании таких сооружений часто залегают техногенные грунты в виде насыпных вскрышных пород с разной степенью плотности и низкими деформационными свойствами. Такие геологические условия в совокупности с технологическими особенностями горного производства способствуют развитию неравномерных вертикальных осадок и в большинстве случаев являются причинами техногенных аварий [1-3]. Решение данной проблемы достижимо методами управления состоянием грунтовых оснований, к которым относят напорную инъекцию укрепляющих растворов и электрохимическое закрепление [4-7].

Данная работа посвящена интеграции методик компьютерного моделирования [8, 9] и установленных авторами закономерностей изменения геомеханического состояния усиливаемых грунтовых оснований сооруже-

ний в единую методику геомеханического обоснования технологических параметров.

Область применения данной методики включает большинство потенциально аварийных объектов (рис. 1), а при аномальных геологических условиях и технологических параметрах сооружения, она может применяться к зданиям общего гражданского и производственного назначения.

Всесторонне научно обоснованной и практически освоенной является методика расчета и проектирования геотехногенных блоков, включающая этапы определения геометрических параметров: высоты и диаметра блока, расстояния между инъекторами, расхода раствора материала. Геотехногенный блок формируется путем нагнетания цементного или песчано-цементного раствора под большим давлением в узлы создаваемой структуры. При этом осуществляется предварительное обжатие грунтов, необходимое для увеличения плотности, повышения прочности структурных связей, реализации остаточных деформаций в блоке и окружающем его массиве, повышения упругих и снижения реологических характеристик системы «блок-грунт» [10].



Рис. 1. Классификация потенциально аварийных объектов горнодобывающей промышленности

Более общий подход к регулированию геомеханического состояния грунта при геотехническом проектировании и строительстве разработан в НИИОСП им. Н.М. Герсевича, который заключается в создании принудительных деформаций массива или приложении к нему постоянно действующего давления (обжатия) [11].

При расчете геомеханического состояния оснований и сооружений оба данных метода базируются на аналитических зависимостях механики грунтов без учета неоднородности их свойств, неравномерности и асимметрии нагрузки, прикладываемой к фундаментам.

Базовая технология проектирования параметров геотехногенных блоков разработана НИИ «Уральского ПромСтройиниипроект» и Институтом геологии и геохимии УрОАН СССР. Технология предполагает деление грунтов на 6 типов с квазиоднородными свойствами: неуплотненные водонасыщенные суглинки и глины, суглинки и глины слабой и средней степени уплотнения, суглинки и глины высокой степени уплотнения, эллювиальные крупнообломочные грунты, слабовыветрелые полускальные породы, скальные трещиноватые породы (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм определения технологических параметров усиления однородного грунтового основания методом геотехногенных блоков (базовой технологией укрепления)

Методика включает инженерно-геологические изыскания с установлением типа грунта, определение по их результатам глубины погружения инъекторов h , состава раствора, давления P , диаметра зоны усиления d (включая зоны обжата, упрочнения, уплотнения и опрессовывания), расстояния между инъекторами r , расхода раствора Q . Для проведения проверочных расчетов определяют эффективный модуль деформации E геотехнологического блока и оценивают соответствие расчетных осадок, перемещений, давления и устойчивости блока требованиям нормативов.

Использование компьютерного моделирования позволяет детализировать геомеханический прогноз напряженно-деформированного состояния грунтового основания за счет учета реальной неоднородности его свойств, неравномерности и асимметрии нагрузки фундамента. Особенность комбинированной методики (рис. 3) состоит в численном расчете двух геомеханических моделей: базовой и локальной.

Базовая модель основана на исходных данных инженерно-геологических изысканий, технологических параметрах и включает параметры базовой технологии закрепления, определенные согласно существующей методике. После первичного моделирования происходит сравнение значений осадок Δ_i с критическими значениями $\Delta_{кр}$.

При условии $\Delta_i > \Delta_{кр}$ происходит переход к частному (локальному) моделированию, при этом корректируют базовую модель с учетом наличия слабого слоя, ослабленных зон, а также особенностей нагружения фундаментов. Для каждого случая имеет место различный подход, в частности, корректируют продольную площадь зон закрепления S , расстояния r между инъекторами и деформационные характеристики E_g зон закрепления. Далее производится локальное моделирование и определение параметров напряженного σ , деформированного ϵ состояния и осадок Δ . При локальном моделировании важно учитывать тип фундамента, т. к. плитные фундаменты требуют трехмерного моделирования. После локального моделирования происходит проверка по критическим значениям $\sigma_{кр}$, $\epsilon_{кр}$, и утверждение окончательных параметров технологии. Описанный алгоритм применим как для проектирования строящихся сооружений на слабых основаниях, так и для устранения аварийных ситуаций на эксплуатируемых объектах.

Методика реализована на примере сезонной обогатительной установки комплекса наклонной сепарации (КНС) в филиале ОАО УК «Кузбассразрезуголь» «Краснобродский угольный разрез». По данным визуальных обследований и инженерно-геологических изысканий, проведенных ООО «НООЦЕНТР», сооружение находится в аварийном состоянии, т. к. КНС имеет существенные неравномерные осадки опор галерей конвейеров.

Объект исследований включает в себя здание обогатительного корпуса, галерей, дробилку, дробильное отделение и приемный бункер, вы-

полненные из типовых конструкций, в том числе столбчатые железобетонные фундаменты.

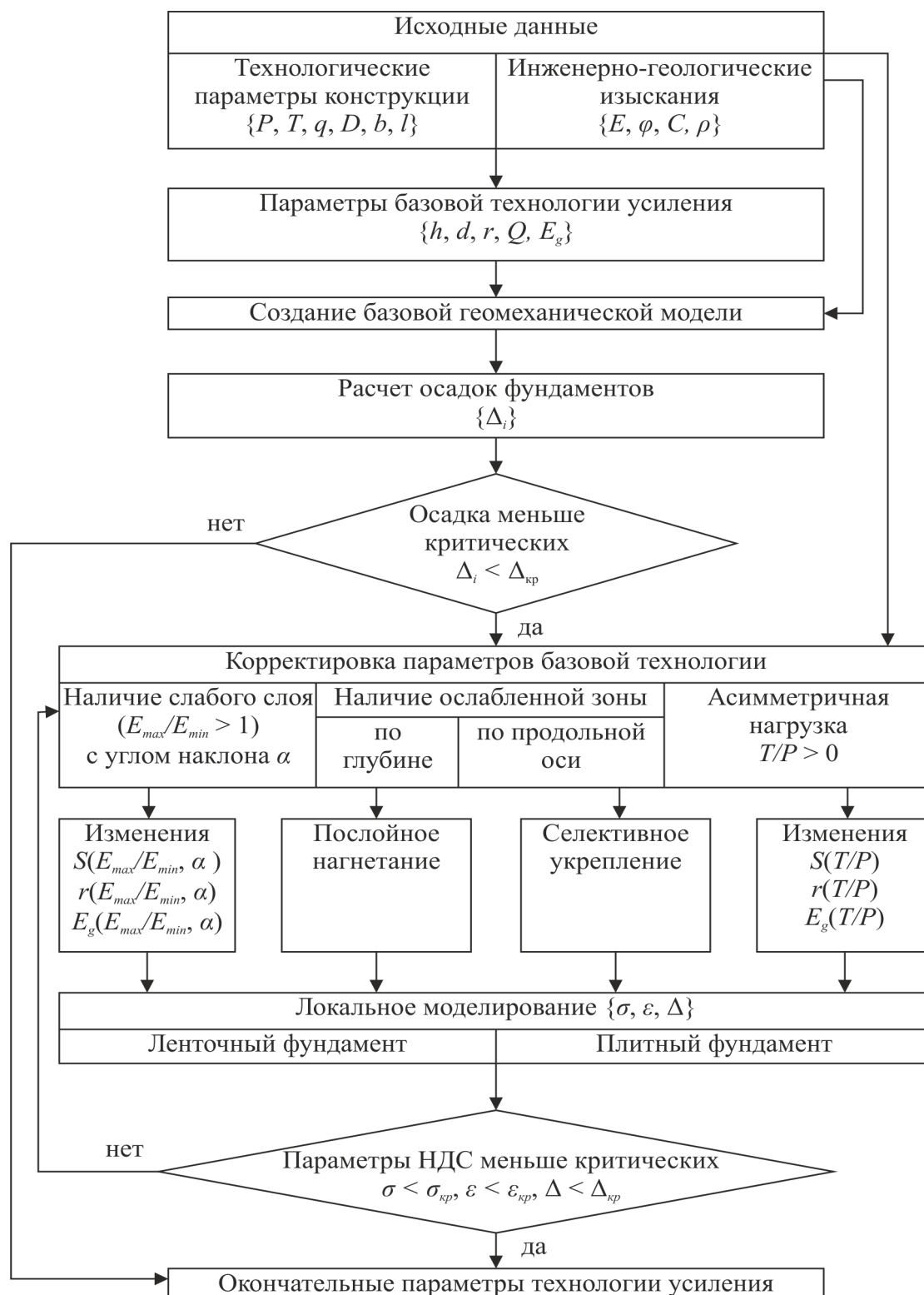


Рис. 3. Алгоритм геомеханического обоснования технологических параметров усиливаемых грунтовых оснований технических сооружений

На рассматриваемой площадке литологический разрез представлен современными техногенными насыпными грунтами в виде смеси дресвы, щебня, глыб, супесчаного и песчаного материала. Схемы локальных компьютерных моделей грунтового основания опоры представлены на рис. 4.

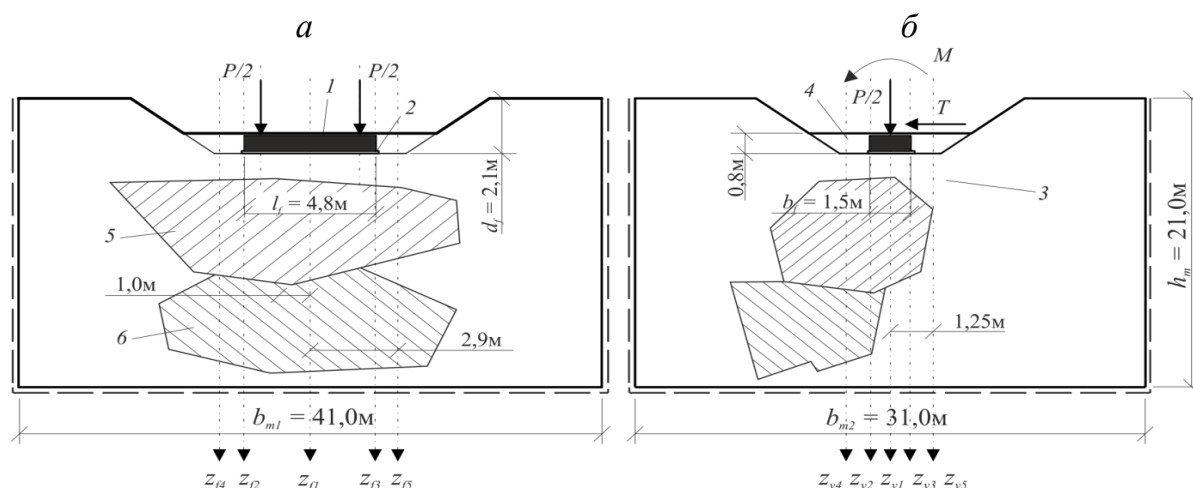


Рис. 4. Схемы локальных моделей опоры по осям y (а) и x (б):
 1 – фундамент; 2 – подготовка; 3 – слой, эквивалентный ИГЭ-1;
 4 – технологическая засыпка; 5 – зона разуплотнения №1;
 6 – зона разуплотнения №2

Моделирование основания осуществлялось от отметки обреза фундамента с заданием эквивалентных вертикальных и горизонтальных сил P , T и изгибающего момента M . Основные параметры модели для рассматриваемого случая составили: 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. Для модели в продольном сечении (по оси y) 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 (по оси x) нагрузки P , T и M задаются вдоль оси симметрии фундамента.

Из результатов геомеханического прогноза, приведенных частично на рис. 5, следует, что деформации в массиве распределяются неравномерно, преимущественно в границах зон разуплотнения. Влияние зон усиления прослеживается в виде перераспределения деформаций из зоны разуплотнения № 1 в зону разуплотнения № 2 и грунтовый массив, значительно снижая величину вертикальных оседаний.

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 растяги-

вающем эффекте под фундаментом, однако зоны усиления препятствуют их развитию и удерживают в границах зон разуплотнения.

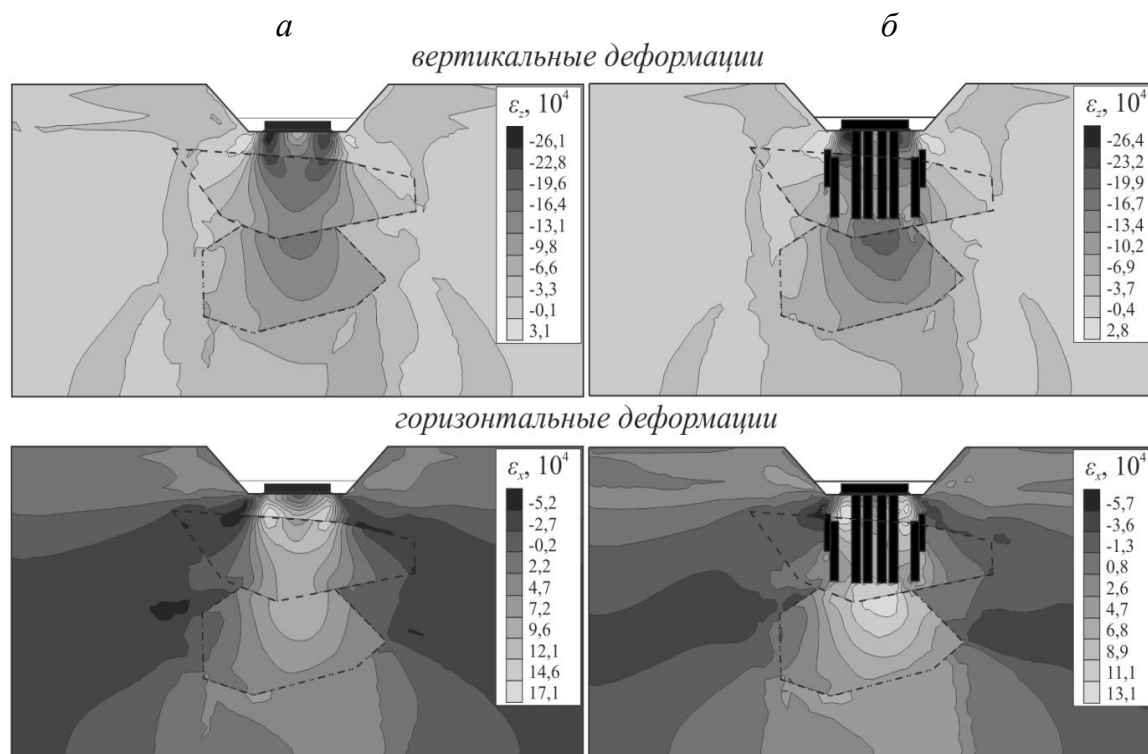


Рис. 5. Распределение напряжений и деформаций в естественном (а) и искусственном (б) грунтовом массиве

Распределение горизонтальных деформаций в обоих сечениях происходит в основном монотонно с образованием отдельных локальных «всплесков», преимущественно на границах с зонами разуплотнения. При расчетах искусственного грунтового основания следует учитывать, что в продольном направлении зона разуплотнения подвержена значительным горизонтальным деформациям.

На рассмотренном объекте с целью достижения наибольшего эффекта рекомендовано располагать дополнительно зоны усиления в наиболее загруженной части массива при асимметричной нагрузке, погруженные в грунт на глубину зоны разуплотнения № 2, что позволит перераспределить вертикальные и горизонтальные деформации в более прочный грунтовый массив и снизить осадки фундамента, его крен и поперечные деформации самих зон усиления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швец, В. Б. Усиление и реконструкция фундаментов/ В. Б. Швец, В. И. Феклин, Л. К. Гинзбург.— Москва: Стройиздат, 1985.— 204 с.

2. Коновалов, П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий.– 4-е изд, перераб. и доп.– Москва: ВНИИНТПИ, 2000.– 320 с.
3. Полищук, А. И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий.– Нортхемптон: STT; Томск: STT, 2004.– 476 с.
4. Ибрагимов, М. Н. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов. Монография / М. Н. Ибрагимов, В. В. Семкин.– Москва: Издательство АСВ, 2012.– 256 с.
5. Ржаницын, Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве.– Москва: Стройиздат, 1986.– 263 с.
6. Простов, С. М. Способы и устройства для закрепления неустойчивых грунтовых оснований сооружений (аналитический обзор) / С. М. Простов, С. Р. Артеменко, Т. О. Гончарова; под ред. С. М. Простова; КузГТУ. – Кемерово, 2015. – 188 с.
7. Простов, С. М. Электрохимическое закрепление грунтов / С. М. Простов, А. В. Покатилов, Д. И. Рудковский; РАЕН.– Томск: Издательство Томского университета, 2011.– 294 с.
8. Зинкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О.Зинкевич, К. Морган.– Москва: Мир, 1986.– 318 с.
9. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике.– Москва: Недра, 1987.– 221 с.
10. Рекомендации по проектированию, расчету и устройству геотехногенных блоков и методам контроля качества их выполнения / НИИКИ Уральский Промстройинипроект; Институт геологии и геохимии УрО РАН.– Свердловск: Ротапринт, 1989.– 108 с.
11. Петрухин, В. П. Новые способы геотехнического проектирования и строительства / В. П. Петрухин, О. А. Шулятьев, О. А. Мозгачева.– Москва: Изд-во АСВ, 2015.– 224 с.