

Таким образом, применение перекрестной гидроструйной цементации дает ряд преимуществ с энергетической, и как следствие с экономической точки зрения, что делает ее конкурентно способной на строительном рынке России.

#### Литература

4. Бройд, И.И. Струйная геотехнология: Учебное пособие. / И.И. Бройд – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004 - 448 с.
5. Головин, К.А. Обоснование параметров и создание оборудования для гидроструйной цементации неустойчивых пород в горном производстве: Дис. докт. техн. наук / К.А. Головин. – Тула, 2007 г. - 250 с.
6. Копылов, А.Б. Краткий анализ современного состояния скважинной геотехнологии / А.Б. Копылов, О.В. Коновалов, В.С. Сальников, - Тула: Известия тульского государственного университета. Науки о земле., 2010 -№ 1- С. 189-194.
7. Головин, К.А. О применении метода гидроструйной цементации пород в горном деле / К.А. Головин, Р.А. Ковалев, А.Е. Пушкарев, - Горный журнал., 2008 -№ 6- С. 60-62.

УДК 69:624.138.24

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОСТАНОВКИ И ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Должиков П.Н., Ивлиева Е.О.**

*Донбасский государственный технический университет*

*В статье исследовано влияние подземных горных работ на состояние грунтовых оснований. Произведен расчет напряженно-деформированного состояния грунтового массива с устройством глиношлаковой стабилизационной подушки.*

Разработка угольных месторождений в течение длительного времени оказывает не только существенное изменение состояния массива горных пород, но и негативно влияет на земную поверхность, которое выражается в ее деформации, а также нарушении естественного баланса водного бассейна, и непосредственно влияет на ее пригодность к строительству.

На сегодняшний день ликвидация нерентабельных шахт, путем их массового затопления, стала причиной переувлажнения породного массива и послужила причиной изменения физико-механических свойств пород, в результате чего нарушилось их равновесное состояние.

В таких случаях для обеспечения качественного строительства необходимо применять средства защиты зданий и сооружений от неравномерных деформаций, весьма перспективным из которых является устройство надежных искусственных оснований (стабилизирующей глиношлаковой подушки) [1]. К основным преимуществам создания такого основания

относится его низкая стоимость, обусловленная использованием в качестве основного сырья закладочной смеси дешевых композиционных материалов, простота технологии, а также долговременность использования [2].

Решение этой проблемы невозможно без построения математической модели, максимально приближенной к реальным условиям. При этом возникает необходимость решить следующие задачи: учесть реальные свойства закладочного материала и свойства грунтового массива; учесть совместную работу основания и стабилизационной подушки; определить изменение напряженно-деформированного состояния стабилизационной подушки в подработанном обводненном массиве.

В качестве исследуемого грунтового массива был выбран участок в пределах горных отводов ликвидированных шахт в г. Брянка Луганской области.

В геологическом строении района принимают участие отложения каменноугольного возраста свит  $C_2^2 - C_2^7$ , которые перекрыты маломощными (до 10 м) четвертичными суглинками, известняками и глинами. В геологическом разрезе каменноугольной толщи преобладают песчано-глинистые породы с подчиненным значением пластов известняков и углей среднего карбона. Пример геологического разреза представлен на рис. 1.



Рис. 1. Пример геологического разреза для Стахановского района

Исследуемая территория расположена в пределах Алмазно-Марьевского геологопромышленного района Луганской области. Южное крыло синклинали, рассматриваемого участка, характеризуется пологим залеганием пластов (10-15 °) и только на северном крыле синклинали па-

дение пластов изменяется, доходя на выходах до 50-60 °. Глубина залегания от дневной поверхности разработанных угольных пластов изменяется от 40 до 1000 м, при этом мощность пластов не превышает 2 м.

Данный участок грунтового массива характеризуется сложными горно-геологическими условиями: выходом на поверхность угольных пластов вблизи жилых домов, выходом под наносы осевой поверхности синклинали, а также наличием горных выработок, пройденных на малых глубинах, как до начала строительства, так и в последующее время.

Горно-геологические условия породного массива, рассматриваемого участка шахтного поля приведены в табл. 1.

Таблица 1. Горно-геологические условия породного массива, рассматриваемого участка шахтного поля

Наименование шахты	Горно-геологические условия			
	Пласт	Мощность, м	Наклон, град.	Глубина, м
«Брянковская» (г. Брянка)	$l_6$	1,2	20	585
	$l_5$	0,5	20	620
	$l_4$	1,2	50	625
	$l_3$	0,8	18	650
	$m_4$	0,9	16-30	425
	$m_3$	0,8	35-50	450

В результате проведенных лабораторных исследований были установлены физико-механические свойства грунтов находящихся в условиях обводненности и подработанности.

По результатам исследования свойств грунтовой толщи на подработанной территории отобранные грунты характеризуются свойствами приведенными в табл. 2 [3].

Изучение физико-механических свойств грунтов на подрабатываемых территориях показал, что их прочностные свойства во многом зависят от плотности сложения и водонасыщения.

При одинаковой плотности сложения грунта его несущая способность с большей влажностью меньше, чем сухого. Так при одной и той же вертикальной нагрузке с уменьшением плотности сложения в 1,5 раза сопротивление сдвигу уменьшилось в 2 раза. Также водонасыщение грунта приводило к существенному изменению (в 2-3 раза) его сдвиговых свойств.

Таблица 2. Физико-механические свойства грунтов

Показатели	Суглинок	Аргиллит
1. Удельный вес грунта, кг/м <sup>3</sup>	2600	2670
2. Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2010	2040
3. Весовая влажность, д.ед.	0,23	0,25
4. Нижний предел пластичности	0,17	0,139
5. Верхний предел пластичности	0,33	0,278
6. Число пластичности	0,16	0,14
7. Коэффициент пористости, д.ед.	0,48	0,47
8. Сцепление, МПа	0,08	0,135
9. Угол внутреннего трения, град.	23	37
10. Модуль деформации, МПа	17,94	20,12

Анализ геологических разрезов в основаниях фундаментов зданий на подработанных территориях шахтерских городов Луганского региона позволил выделить основной тип геологического разреза наиболее часто встречающегося на территориях ликвидированных угольных шахт с полным затоплением выработанного пространства. Формирование стабилизирующей подушки (рис. 2) на контакте покровных и коренных отложений из глиношлакового раствора позволяет минимизировать деформационный процесс поверхности земли.

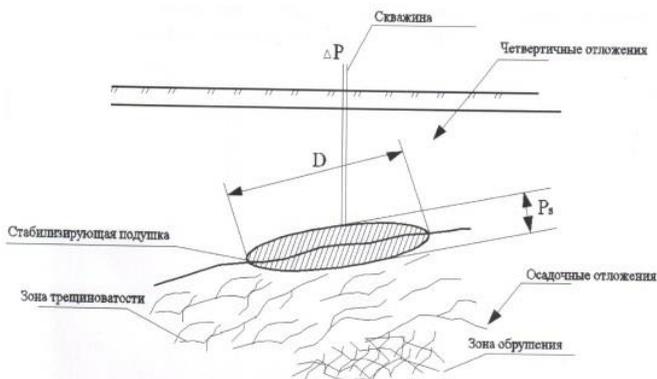


Рис. 2. Схема формирования стабилизирующей подушки (для одной скважины)

Мощность стабилизационной подушки, глубина ее заложения выбираются в зависимости от конкретных горно-геологических условий (глубина залегания геологических нарушений, его амплитуды, зоны влияния). Основные расчетные формулы параметров формирования подушки представлены в табл. 3.

Таблица 3. Основные параметры формирования стабилизирующей подушки на контакте покровных и коренных отложений

№ п/п	Параметр	Обозначение	Формула
1	Толщина стабилизирующей подушки $P_s$ , м	$P_s$	$P_s = \frac{\alpha \cdot \Delta P_y \cdot D}{4[\sigma_{сж}]}$
2	Диаметр создаваемого слоя, м	$D_1, D_2$	$D_1 = \frac{P_s \cdot \Delta P}{\tau_0}; D_2 = \varepsilon \cdot D_1$
3	Объем тампонажного раствора (1 скважина), м <sup>3</sup>	$V$	$V = \pi \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot P_s \cdot k_s \cdot k_h \cdot \alpha_z \cdot \xi_s \cdot m_T$

В таблице обозначено:  $\alpha$  – коэффициент перегрузки, учитывающий неоднородность массива, в практических расчетах равен 1,1 – 1,5;

$\Delta P_y$  – максимальное давление нагнетания тампонажного раствора, МПа;

$\varepsilon$  – коэффициент анизотропии пород;  $\tau_0$  – динамическое напряжение сдвига раствора;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на скалывание затампонирующей породы, в практических расчетах принимается равным 2 – 3 МПа;  $k_s$  – коэффициент площадочного разуплотнения;  $k_h$  – коэффициент вертикального разуплотнения;  $\alpha_z$  – коэффициент запаса раствора;  $\xi_s$  – коэффициент, учитывающий перекрытие эффективных контуров распространения раствора;  $m_T$  – значение скважности, д. ед.

Состав и свойства тампонажно-закладочного раствора приведен в табл. 4.

Таблица 4 – Состав и свойства тампонажно-закладочного раствора

№ п.п.	Параметры суспензий	Значения
1	Количество отвального шлака, кг/м <sup>3</sup>	820
2	Количество глины, кг/м <sup>3</sup>	20
3	Количество воды, кг/м <sup>3</sup>	625
4	Плотность базовой суспензии, кг/м <sup>3</sup>	1445
5	Количество цемента, кг/м <sup>3</sup>	–
6	Плотность суспензии, кг/м <sup>3</sup>	1460
7	Пластическая прочность, кПа, на 7 сутки на 10 сутки на 15 сутки	237,3 419,21 588,89
8	Растекание, см	11

Для изучения влияния формирования искусственного основания путем устройства стабилизирующей подушки на контакте покровных и коренных отложений на уменьшение деформационного процесса земной

поверхности, за счет увеличения прочности основания, воспользуемся математическим моделированием.

Исследования напряженно-деформированного состояния основания выполним методом конечных элементов с помощью программного вычислительного комплекса «ЛИРА» в нелинейной постановке.

Для упрощения математической модели процесса установки стабилизационной подушки в подработанном обводненном массиве форма консолидированного грунтового массива идеализируется и сводится до формы цилиндра. Так как полученная модель является симметричной, то для моделирования процессов достаточно рассмотреть 1/4 часть конечно-элементной модели (расчетной схемы).

Грунт моделируется при помощи объемных физически нелинейных КЭ – 271-276, моделирующими одностороннюю работу грунта на сжатие с учетом сдвига. Размеры модели грунтового массива: радиус – 50 м, по глубине – 100,0 м.

Объемные элементы предназначены для определения напряженно-деформируемого состояния континуальных объектов и массивных пространственных конструкций в постановке физически-нелинейной теории упругости. При этом предполагается, что в начальной стадии деформирования материал обладает упругими свойствами. При расчете применяется шагово-итерационный метод.

Верх модели загружен равномерно распределенной нагрузкой от собственного веса грунтового массива и тампонажно-закладочного раствора в соответствии с результатами лабораторных исследований, а также нагрузкой, передаваемой на грунтовое основание от зданий. На конечно-элементную модель налагались граничные условия, учитывающие прямую симметрию и наиболее адекватно отражающие работу грунтового массива. Стабилизационная глиношлаковая подушка расположена на расстоянии 10 м от поверхности земли.

Сравнение изменения в деформированном состоянии массива до и после постановки стабилизационной подушки, выполнялось по относительной осадке покровных пород, определяемой по вертикальным перемещениям (рис. 3).

В результате анализа результатов расчетов было установлено, что вертикальные перемещения ( $Z$ , мм) грунтового массива составляют: вариант 1 –  $Z = 56,9$  мм; вариант 2 –  $Z = 18,7$  мм.

Для двух вариантов определялись эквивалентные напряжения в соответствии с теорией прочности наибольших главных деформаций. Результаты вычислений приведены на рис. 4.

Как видно по рис. 4 максимальные эквивалентные напряжения возникают в приграничных зонах слоев тампонажно-закладочного раство-

ра, что можно объяснить наличием «краевого эффекта» в рассматриваемых задачах.

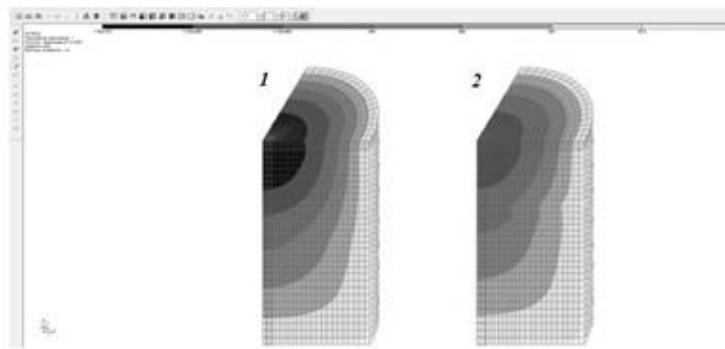


Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений  $Z$ , мм:  
1 – до устройства стабилизационной подушки;  
2 – после устройства стабилизационной подушки

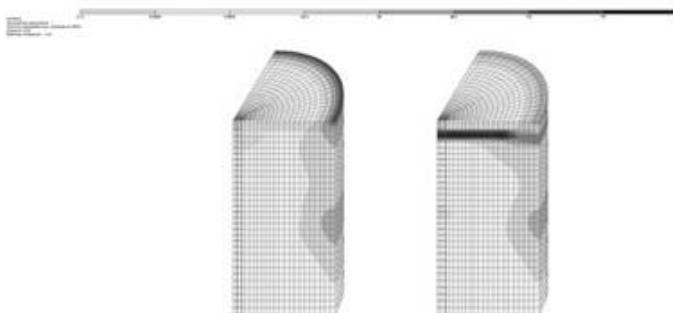


Рис. 4. Изополя эквивалентных напряжений,  $t/m^2$

Также наибольшие эквивалентные напряжения возникают в средней части слоев тампонажно-закладочного глиношлакового раствора, причем, по мере увеличения мощности стабилизационной подушки эквивалентные напряжения уменьшаются в нижнем слое тампонажного раствора, что соответствует распределению вертикальных напряжений в грунтовом основании в зависимости от глубины сжимаемой толщи.

Таким образом, на основании проведенных исследований было установлено, что для стабилизации деформационных процессов на земной

поверхности устройство искусственного основания позволяет уменьшить величину оседаний в 3 раза, что обеспечивает увеличение прочности основания, а также дает возможность управлять напряженно-деформированным состоянием горного массива за счет напорной инъекции глиношлакового раствора.

#### Литература

1. Должиков П.Н. Новые геомеханические процессы и их нейтрализация на подработанных территориях Донбасса / П.Н. Должиков // Вестник МАНЭБ т.13. – 2008. – №4. – С. 108-111.
2. Ивлиева Е.О. Формирование искусственного основания фундаментов на подработанных территориях / Е.О. Ивлиева, П.Г. Фурдей // Перспективы развития строительных технологий: Материалы 7-й междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск 18-19 апреля 2013г.). – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – С. 34-37.
3. Должиков П.Н. Влияние обводненности и трещиноватости на деформационные свойства оснований фундаментов / П.Н. Должиков, Е.О. Ивлиева // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, 2013. – Вып. 40. – С. 168-172.

УДК 622.343'446

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Альжанов М.К., Койлыбаев Ж.А.**

*Казахстанский институт содействия промышленности, г. Караганда*

*Рассмотрены принципы организационно-технического оснащения процесса добычи и переработки рудного сырья на основе использования циклично-поточных технологий. Предлагается новая схема организации предприятий горной отрасли - горно-добывающе-перерабатывающие комплексы (ГДПК).*

Неоспоримой тенденцией развития мировой горной промышленности на обозримую перспективу считается стабильная ориентация на открытый способ разработки, как обеспечивающий наилучшие экономические показатели. На его долю приходится (по данным разных источников) до 73 % общих объемов добычи полезных ископаемых в мире (в США – 83 %, в странах СНГ – около 70 %).

Анализ тенденции развития открытых горных работ в странах СНГ и дальнего зарубежья показывает, что в ближайшее время глубина многих карьеров составит 400-500, а в недалёком будущем может достигнуть 700-1000 м. Если учесть, что по мере роста глубины карьеров доля затрат на карьерный транспорт доходит до 55–60 % в общей себестоимости добычи полезного ископаемого, то вполне очевидным представляется тезис о том,