

УДК 622.833.5

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ШАХТУ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

канд. техн. наук, доц. А.А. КОЛОГРИВКО; Д.А. ИГОЛКА
(Белорусский национальный технический университет, Минск);
Е.М. ЛУКША
(ОАО «Белгорхимпром», Минск)

Представлены интерпретированные результаты проведенных исследований. Дана оценка влияния горного давления на временную, при строительстве, и постоянную, при эксплуатации, крепи вертикальной технологической шахты, сооружаемой в стесненных условиях городского строительства и предназначенной в качестве бассейна для водолазной подготовки.

Ключевые слова: технологическая шахта, городское строительство, подземное сооружение, стесненные условия, горное давление.

Введение. Проектирование строительства вертикальных подземных шахт в стесненных условиях городского строительства осуществляется для конкретного случая индивидуально в соответствии с основным функциональным назначением объекта, его эксплуатационными параметрами, характеристиками грунта [1]. В процессе проектирования таких объектов важно установить их надежность при строительстве и в период эксплуатации, определяемую на основе исследований и оценки влияния горного давления на контур и крепь сооружения. Вертикальная технологическая шахта (далее – шахта) представляет собой подземное сооружение, предназначенное в качестве бассейна для водолазной подготовки (рис. 1) в городе Минске.

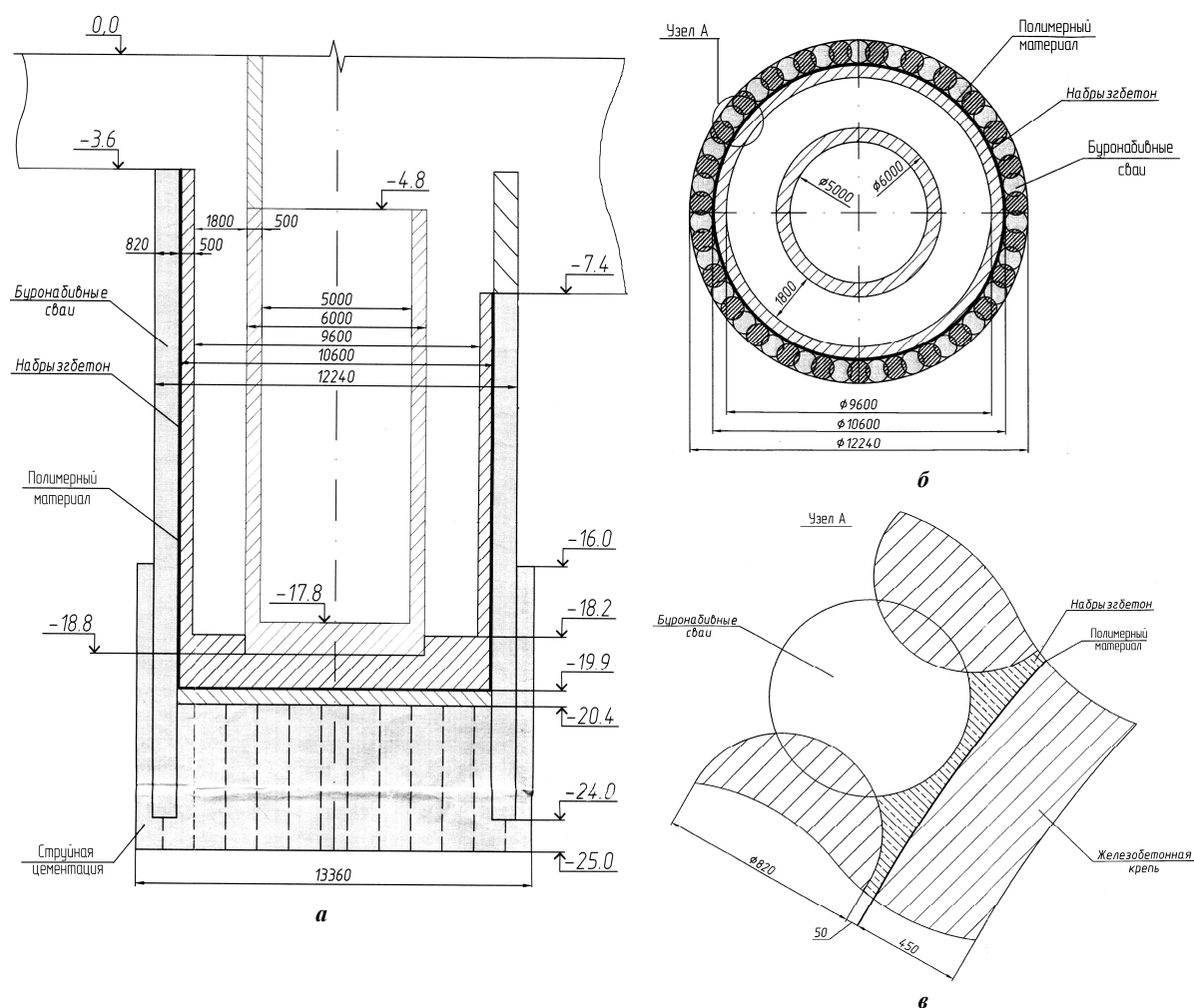


Рисунок 1. – Схема конструкции крепи шахты

Строительство шахты осуществляется после подготовительного периода, включающего планировку поверхности, возведение временных зданий, сооружений и монтаж оборудования; строительство котлована до отметки $-3,6$ м и транспортного съезда; монтаж буровой площадки, с которой выполняется струйная цементация днища бассейна, бурятся и заливаются бетоном буронабивные сваи, образуя защитный цилиндр до отметки $-24,0$ м.

Работы начинают после образования защитного цилиндра внутренним диаметром 10600 мм из буронабивных свай диаметром 820 мм в интервале отметок от $-3,6$ до $-24,0$ м и подготовки стройплощадки. По мере выемки грунта производится зачистка буронабивных свай механическим способом, сжатым воздухом и их промывка водой с последующим нанесением по всему контуру свайного ограждения – набрызг бетона (или торкрет-бетона) толщиной 50 мм по металлической сетке. После выемки породы на всю глубину выполняют работы по оформлению железобетонного днища технологической шахты. На днище укладывается бетонная подушка толщиной 500 мм, образуя единую конструкцию со струйной цементацией. На набрызг бетона (на днище и стенках) наносят слой гидроизоляции толщиной не менее 3 мм в виде полимерного материала. Гидроизоляция технологической шахты выполняется перед сооружением конструкций железобетонных стен. Их сооружение и сооружение глубоководной чаши бассейна (находящейся в центре шахты и имеющей внутренний диаметр 5000 мм, толщину стен 500 мм) осуществляется параллельно с использованием инвентарной опалубки и строительных лесов снизу вверх. Расстояние между внутренней стенкой шахты и внешней стенкой чаши бассейна составляет 1800 мм. Демонтаж (срезка) буронабивных свай в интервале отметок от $-3,6$ до $-7,4$ м выполняется после строительства и оборудования подвального помещения до отметки $-7,4$ м.

В геологическом строении участка (табл. 1) принимают участие отложения (слои сверху вниз), изученные, в том числе, по результатам бурения и опробования скважин ударно-механического (скважины 3с, 5с) и колонкового бурения (скважины 1с, 2с): современные техногенные отложения (thIV), моренные отложения сожского горизонта (gIIсž), флювиогляциальные отложения днепровско-сожского горизонта (fIIд-сž) [2; 3].

Отсутствие подземных вод до глубины залегания уровня основного водоносного горизонта, отмеченного на глубине 20,4 м, что соответствует абсолютной отметке $+184,42$ м, позволяет классифицировать гидрогеологические условия строительства до этой отметки как простые. Обводненность пород при строительстве больше скажется на несущей способности пород основания, нежели на общей гидрогеологической обстановке.

Территория участка представляет собой городскую застройку преимущественно промышленного назначения. Условия строительства – стесненные.

Проектные решения ОАО «Белгорхимпром» и изучение геологического строения участка работ по строительству шахты позволяет исследовать влияние горного давления на подземное сооружение как на вертикальный шахтный ствол диаметром в черне 10600 мм, в свету – 9600 мм, глубиной 13,0 м (глубина без котлована составляет 20,4 м). Толщина железобетонной крепи шахты составляет 500 мм (450 мм железобетонная крепь и 50 мм набрызг бетона). За контуром крепи шахты – буронабивные сваи диаметром 820 мм, образующие защитный цилиндр внутренним диаметром 10600 мм, внешним – 12240 мм. Глубина буронабивных свай составляет 24,0 м.

Крепь шахты представляет собой капиталоемкую конструкцию, которая должна обеспечивать необходимый запас своей прочности. Используя комплексный метод прогнозирования горного давления [4], важно установить область рациональных значений параметров локального воздействия горного давления на контур и крепь шахты в период ее строительства и эксплуатации.

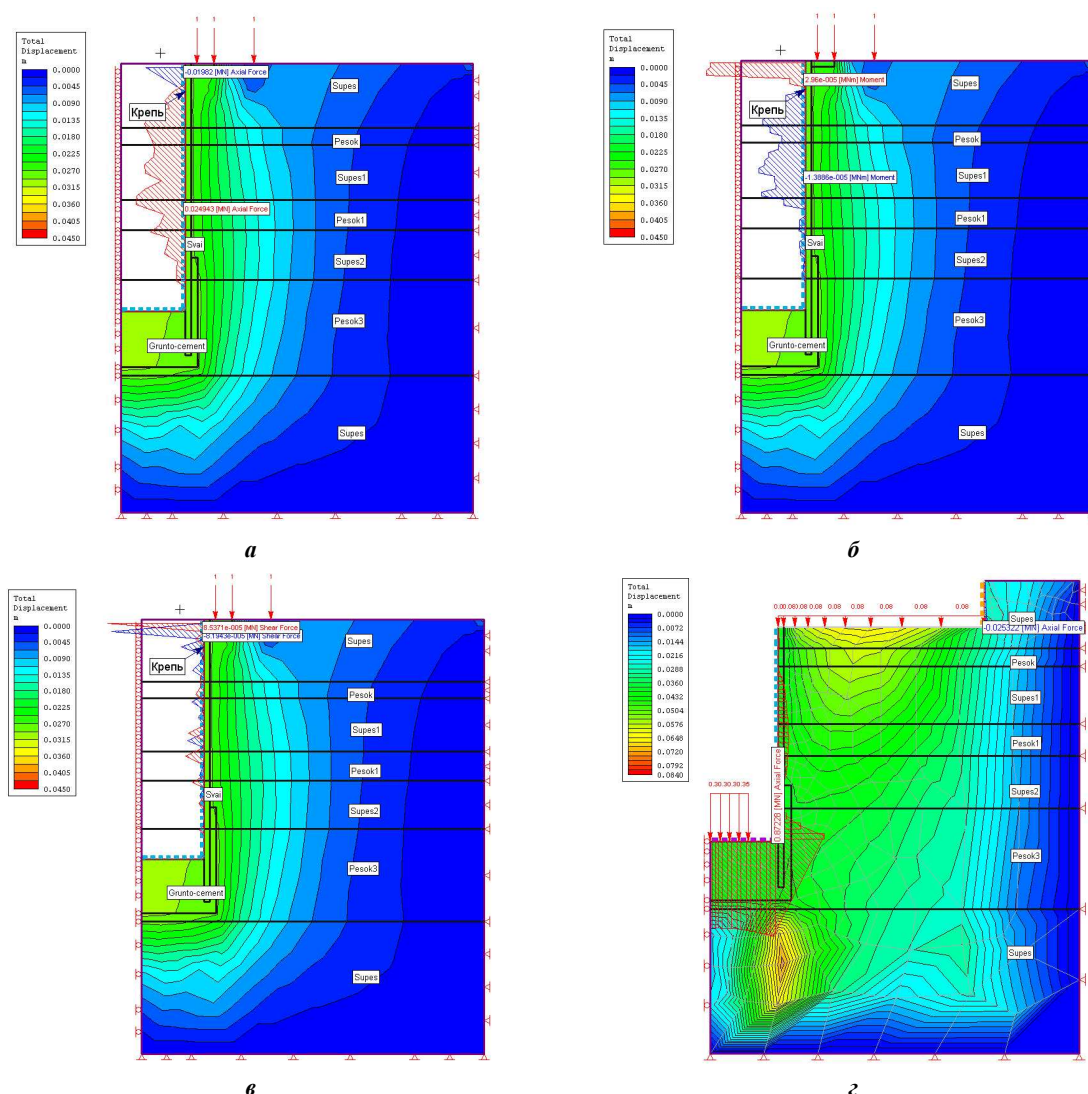
Таблица 1. – Геологическое строение участка по скважине 5с с абсолютной отметкой устья $+204,60$ м

Индекс слоя	Наименование грунта	Глубина, м	Мощность, м
thIV	Насыпной грунт	1,2	1,2
gIIсž	Супесь коричневая плотная, грубая, с содержанием гравия 20...25%	5,3	4,1
	Песок светло-серый, крупно-мелкозернистый	6,7	1,4
	Супесь светло-коричневая, грубая, плотная с гравием 12...17%	11,2	4,5
	Песок светло-коричневый, мелко-тонкозернистый, глинистый	13,7	2,5
	Супесь коричневая, рыхлая, с содержанием гравия и гальки 5...7%	17,8	4,1
	Песок светло-желтый, тонкозернистый, с единичными зернами гравия и гальки	21,3	3,5
fIIд-сž	Песок светло-коричневый, гравелистый, среднезернистый	24,7	3,4

Интерпретация результатов модельных исследований и инженерных расчетов. Основными нормативными документами, обязательными при проектировании подземных горных выработок и расчете крепи, являются СНиП и Руководство [5; 6], в которых обобщен опыт работ в этом направлении научно-

исследовательских, проектных и производственных организаций, а также университетов горного и геологического профиля. В этих нормативах в принципе предусматривается дифференцированный подход к определению горного давления, креплению отдельных участков выработки, имеющих более 30% отклонения прочностных свойств грунтов, однако это условие не реализуется ввиду отсутствия практических рекомендаций. В нормативных документах практически невозможно учесть все детали рассматриваемой задачи – знания о горном давлении постоянно развиваются, поэтому для практического использования рекомендуется учитывать результаты современных исследований в качестве дополнения к вышеуказанным материалам. В связи этим представляется важным проведение модельных исследований в сопоставлении их результатов с расчетными.

Для периода строительства моделирование выполнено при условии устройства буронабивных свай непосредственно перед проходкой шахты. Для исследования была решена осесимметричная задача, позволяющая осуществить трехмерный анализ на основании двумерной модели. Исходные горно-геологические характеристики составляющих элементов расчетных моделей принимались в соответствии с данными [2; 3] при условии устройства буронабивных свай из бетона марки С16/20. Нагрузки определены с учетом максимально возможной пригрузки на устье шахты от проходческого оборудования и механизмов. Донная часть шахты укрепляется грунтоцементом. При проходке шахты влияние на величину горного давления имеет оборудование, расположенное непосредственно у устья. Соответственно приложена линейная внешняя нагрузка. Процесс выемки породы рассматривался на 12 стадиях, согласно технологической схеме строительства. Результаты исследований представлены на рисунке 2 (а, б, в).



а, з – эпюры осевых усилий сжатия; б, д – эпюры изгибающих моментов; в, е – эпюры усилий сдвига

Рисунок 2. – Результаты расчетов общих смещений при проходке шахты (а, б, в) и в период эксплуатации (з, д, е) – см. также с. 98

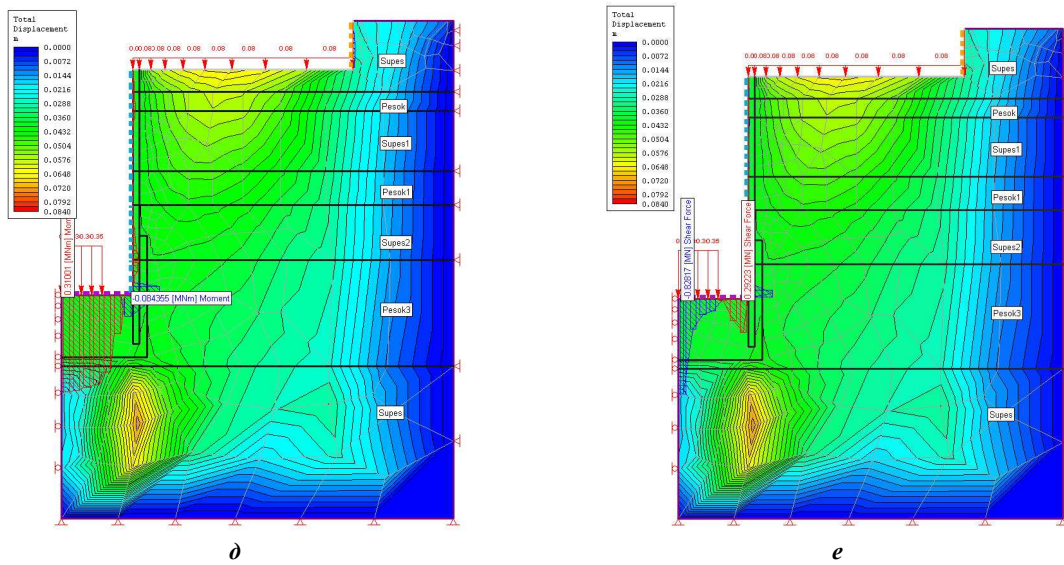


Рисунок 2. – Окончание

Для периода эксплуатации моделирование выполнено при условии, что шахта получает пригрузку от расположенного на поверхности технологического комплекса. В связи с чем в модели учтена нагрузка от свайного поля поверхностного комплекса, а также нагрузка от бассейна на дно шахты. Результаты исследований представлены на рисунке 2 (г, д, е).

Приведенные на рисунке 3 графики иллюстрируют зависимости изменения изгибающих моментов, осевых усилий и усилий сдвига, создаваемых влиянием горного давления на крепь технологической шахты по всей ее глубине.

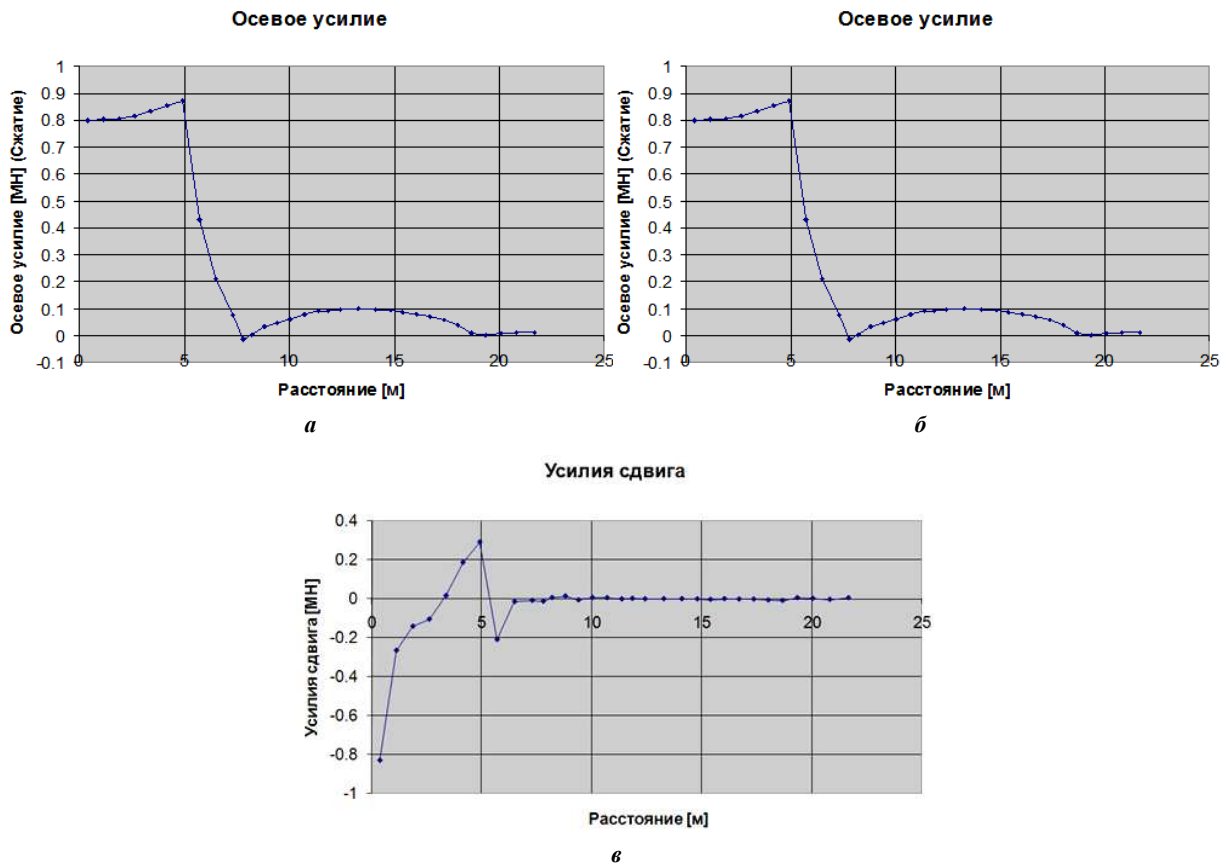


Рисунок 3. – Зависимости изменения изгибающих моментов (а), осевых усилий (б) и усилий сдвига (в), создаваемых влиянием горного давления на крепь технологической шахты

Интерпретация результатов модельных исследований по изучению влияния горного давления на временную, при строительстве, и постоянную, при эксплуатации, крепи шахты показывает, что максимальный изгибающий момент 0,31 МН·м, созданный влиянием горного давления на крепь шахты, возникает при полном нагружении ее днища, а максимальный отрицательный –0,084 МН·м возникает в придонной части крепи. С глубиной шахты 6,0 м и ниже изгибающие моменты несколько стабилизируются. Максимальное осевое усилие 0,87 МН, созданное влиянием горного давления на крепь шахты, формируется в ее донной части. С глубиной шахты 7,5 м и ниже осевое усилие несколько стабилизируется. Максимальное отрицательное сдвиговое усилие 0,83 МН, созданное влиянием горного давления на крепь шахты, формируется в ее донной части. С глубиной шахты 7,0 м и ниже сдвиговое усилие несколько стабилизируется.

Расчет горного давления на временную крепь шахты выполнялся на действие вертикальных и горизонтальных (радиальных) нагрузок для двух случаев [5; 6]. Первый случай предполагал пригрузки от поверхностных объектов для обычных условий, при которых техника рассредоточена на поверхности в различных точках удаления от контура шахты. Расчет для второго случая предусматривал «наихудший» вариант размещения поверхностных объектов, при котором вся работающая на поверхности техника сосредоточена в одной точке, на минимальном удалении, принятом равным 1,0 м, от контура шахты.

Вертикальные нагрузки определяли как сумму давлений от собственного веса крепи, веса оборудования и зданий (сооружений), опирающихся на крепь; радиальные – от давления горных пород; пригрузки – от поверхностных фундаментов и опор. Из-за отсутствия при проходке временного здания на поверхности, тяжелого проходческого оборудования над шахтой вертикальной нагрузкой пренебрегли. Учитывая незначительную глубину проходки, сделано допущение, что гидростатическое давление оказывает незначительное влияние на конструкцию временной крепи. Таким образом, расчетное горизонтальное давление пород P_n определялось согласно пункту 3.29 в [5].

Дополнительная нагрузка на крепь устья шахты от зданий и сооружений, расположенных на поверхности вблизи шахты P_ϕ , определялась графически как максимальная при суммировании эпюр пригрузок от каждого из зданий, расположенных на поверхности с одной стороны шахты на расстоянии от нее не более $5r_0$ (где r_0 – радиус шахты в свету, м). Пригрузки от зданий и сооружений, отстоящих от контура шахты на расстоянии более $5r_0$, не учитывались ввиду их малой значимости. Эпюра пригрузки от каждого здания и сооружения строилась исходя из величины наибольшего значения этой пригрузки $P_{\phi i}$ и определялась согласно [5, прил. 1, формула (1)]. Максимальная пригрузка от группы зданий и сооружений определялась согласно [5, прил. 1, формула (2)]. Угол θ , заключенный между радиусом, проходящим через центр тяжести здания (сооружения), и линией приложения максимальной суммарной нагрузки, определялся согласно [5, прил. 1, формула (3)].

На рисунках 4–7 представлены зависимости максимальной пригрузки от группы зданий и сооружений на временную и постоянную крепи от глубины шахты, зависимости расчетного радиального давления на временную и постоянную крепи от глубины шахты для обычного и «наихудшего» случаев.

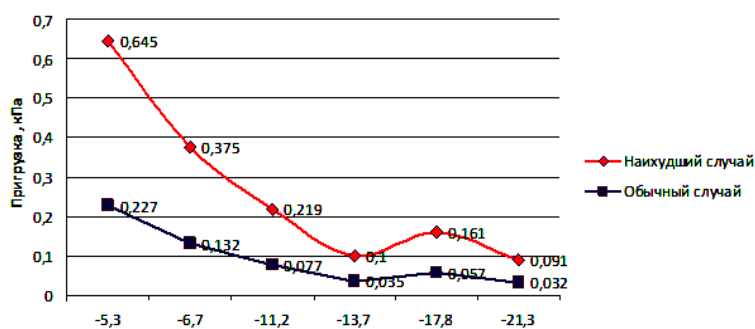


Рисунок 4. – Зависимости максимальной пригрузки от группы зданий и сооружений на временную крепь от глубины шахты для обычного и «наихудшего» случаев

Интерпретация результатов расчетов горного давления на временную крепь показывает, что в случае размещения поверхностных объектов в различных точках удаления от контура шахты пригрузка от группы зданий и сооружений предполагает максимум 0,227 кПа (расчетная отметка от поверхности –5,3 м), минимум 0,032 кПа (расчетная отметка от поверхности –21,3 м). В случае размещения поверхностных объектов на поверхности в одной точке, на минимальном удалении от контура шахты пригрузка от группы зданий и сооружений предполагает максимум 0,645 кПа (расчетная отметка от поверхности –5,3 м), минимум 0,091 кПа (расчетная отметка от поверхности –21,3 м).

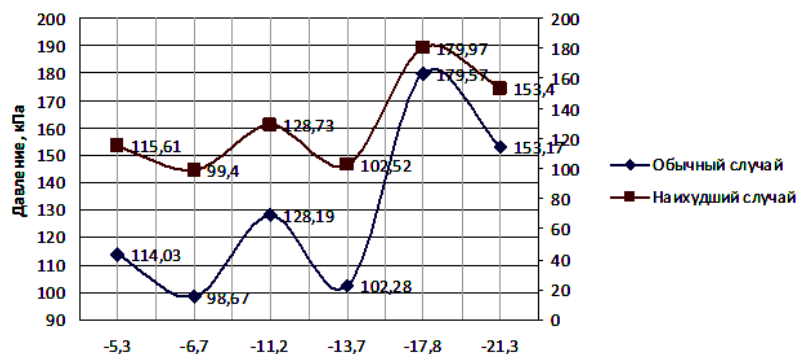


Рисунок 5. – Зависимости расчетного радиального давления на временную крепь от глубины шахты для обычного и «наихудшего» случаев

При размещении поверхностных объектов в различных точках удаления от контура шахты расчетное радиальное давление на временную крепь шахты предполагает максимум 179,57 кПа (расчетная отметка от поверхности –17,8 м), минимум 98,67 кПа (расчетная отметка от поверхности –6,7 м). В случае размещения поверхностных объектов на поверхности в одной точке, на минимальном удалении от контура шахты расчетное радиальное давление на временную крепь шахты предполагает максимум 179,97 кПа (расчетная отметка от поверхности –17,8 м), минимум 99,4 кПа (расчетная отметка от поверхности –6,7 м).

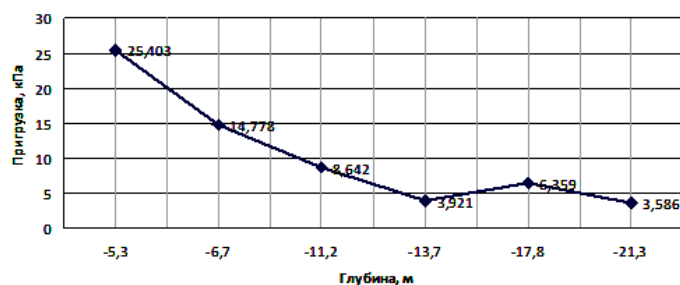


Рисунок 6. – Зависимости максимальной пригрузки от группы зданий и сооружений на постоянную крепь от глубины шахты

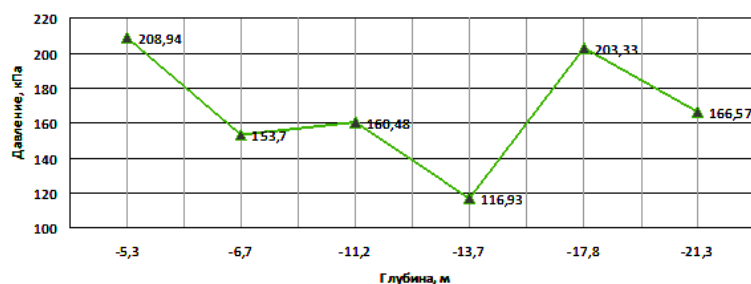


Рисунок 7. – Зависимости расчетного радиального давления на постоянную крепь от глубины шахты

Интерпретация результатов расчетов горного давления на постоянную крепь в период эксплуатации шахты показывает, что пригрузка от группы зданий и сооружений предполагает максимум 25,403 кПа (расчетная отметка от поверхности –5,3 м), минимум 3,921 кПа (расчетная отметка от поверхности –13,7 м). Расчетное радиальное давление на постоянную крепь шахты предполагает максимум 208,94 кПа (расчетная отметка от поверхности –5,3 м), минимум 116,93 кПа (расчетная отметка от поверхности –13,7 м).

Заключение. Исследование и оценка влияния горного давления по глубине шахты позволяет принимать основополагающие решения при проектировании, трансформируемые в конкретные инженерные конструкции подземного сооружения. Поддержание оптимального режима строительства шахты в части ее крепления как наиболее сложном технологическом процессе основывается на гибком реагировании

к поведению грунтового массива посредством оперативного регулирования различных его параметров по данным геомеханического мониторинга. Так, интерпретация результатов исследований и оценка влияния горного давления на временную и постоянную крепи шахты, сооружаемой в стесненных условиях городского строительства и предназначенной в качестве бассейна для водолазной подготовки, позволяет представить следующие *выводы*, способствующие эффективному поддержанию оптимального режима в периоды строительства и эксплуатации объекта:

- максимальный изгибающий момент 0,31 МН·м, максимальное осевое усилие 0,87 МН и максимальное отрицательное сдвиговое усилие 0,83 МН, созданные влиянием горного давления на крепь шахты, возникают при полном нагружении ее днища; их общая стабилизация возникает с глубиной 7,5 м;

- при проектировании временной крепи шахты следует учитывать максимальную пригрузку от поверхностных объектов, действующую в верхней (устьевой) части шахты, где вмещающие породы представлены супесью коричневой плотной, грубой, с содержанием гравия 20...25%, а также максимальное радиальное давление на крепь в расчетной отметке –17,8 м, где вмещающие породы представлены супесью коричневой, рыхлой, с содержанием гравия и гальки 5...7%;

- при проектировании постоянной крепи шахты следует учитывать максимальную пригрузку от поверхностных объектов, действующую в верхней части шахты, где вмещающие породы представлены супесью коричневой плотной, грубой, с содержанием гравия 20...25%, а также максимальное радиальное давление на крепь в расчетной отметке –5,3 м, где вмещающие породы имеют тоже геологическое строение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчак, А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений / А.В. Корчак // Научное обоснование подземного строительства : сб. избр. тр. ученых Моск. гос. горного ун-та ; под общ. ред. Б.А. Каргози. – М. : Изд-во Акад. горных наук, 2001. – С. 197–227.
2. Отчет по специальным гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям под проектируемое строительство бассейна с центром водолазной подготовки по ул. Машиностроителей, 25, в г. Минске. Объект № 14-01-2009 ГИ. – Слуцк, 2010. – 31 с.
3. Дополнения к отчету по специальным гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям под проектируемое строительство бассейна с центром водолазной подготовки по ул. Машиностроителей, 25, в г. Минске. Объект № 14-01-2009 ГИ. – Слуцк, 2010. – 77 с.
4. Кологривко, А.А. Методологический подход к исследованию влияния горного давления на стенки вертикальных шахтных стволов / А.А. Кологривко, Д.А. Иголка, Е.М. Лукша // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : сб. науч. тр. 9-й междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Минск, 29–31 окт. 2013 г. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : А.Б. Копылов, И.А. Басалай. – Минск, 2013. – Т. 1. – С. 234–246.
5. Подземные горные выработки : СНиП II-94-80 / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1982. – 31 с.
6. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М. : Стройиздат, 1983. – 272 с.

Поступила 30.08.2016

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF MOUNTAIN PRESSURE UPON TECHNOLOGICAL MINE IN THE CONSTRAINED CONDITIONS OF CITY BUILDING

A. KOLOGRIVKO, D. IGOLKA, E. LUKSHA

Interpreted results of the studies are presented. Estimation of rock pressure on temporary during construction and permanent during operation of the bolting technology of the vertical shaft, built in the cramped conditions of urban construction and designed as a pool for diving training is given.

Keywords: *production mine, city construction, underground construction, cramped conditions, rock pressure.*