© В.Н. Аллилуев, 2016

УДК 622.83:
553.31

В.Н. Аллилуев

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ В МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния мелового массива. Выявлены особенности распределения компо-нент напряжений и перемещений, установлены области неупругих деформаций в меловом массиве с целью определения параметров подземных пространств.

Ключевые слова: подземные пространства, меловые отложения, геомеханические параметры.

В крупных городах ежегодно растут объемы подземного строительства, возводятся подземные комплексы различного назначения, в том числе сооружаются подземные автостоянки и гаражи. Объекты постоянного хранения легковых автомобилей рекомендуется размещать вблизи мест проживания владельцев. Гаражные кооперативы на территории Белгородского региона, размещенные в логах, уже не решают этой проблемы. Автомобили на обочине дорог, во дворе, на улице, в проездах, затрудняют нормальную работу общественного транспорта, специальных служб, препятствуют работе по уборке улиц. В перспективе при росте парка автомобилей и с учетом того, что площадь приходящаяся на одно место может составлять от 6 до 20 м^2, потребуются территории площадью в десятки гектаров. Поэтому, актуальным вопросом городской транспортной инфраструктуры, требующим решения, является определение геомеханических параметров подземных пространств.

В последнее время сформулированы требования, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве подземных сооружений в крупных городах [1]. В первую очередь это изучение строения, свойств грунтов и горных пород на большую глубину, по сравнению с действующими нормативными документами. А также, защита от подземных вод при возведении и строительстве, прогноз изменения геомеханического состояния грунтового массива, геотехнический монито-

ринг, обоснование технических решений расчетами напряженно-деформированного состояния конструкций и вмещающего массива.

Анализ результатов инженерно-геологических изысканий и опыт эксплуатации подземных объектов позволил установить, что для размещения подземных объектов на Губкинской территории имеются благоприятные геологические, гидрологические и горнотехнические условия [2].

При этом климатические условия способствуют нормальной эксплуатации подземных объектов различного назначения без значительных дополнительных расходов. Климат Губкинского городского округа умеренно континентальный со средней температурой января -8÷-10 °С, июля +14 °С, направления ветра преимущественно юго-восточного и юго-западного направления. Нормативная глубина промерзания не превышает 1 м.

При размещении подземных объектов в осадочной толще рекомендуются мела коньякского и туронского ярусов, которые представлены горизонтально залегающими слоями. Подстилающие и покрывающие породы относятся к альб-сеноманскому и сантонскому ярусам.

Основным методом геомеханического обоснования и исследования параметров конструктивных элементов подземных сооружений, а также оценки их устойчивости является расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород вокруг горных выработок. По величине компонентов напряжений, деформаций и перемещений можно судить о НДС массива вокруг горных выработок. Устойчивость горных пород определяется характером распределения и величиной компонентов тензора напряжений и тензора деформаций [3].

Исследование НДС массива горных пород вокруг подземных пространств позволяет определить зоны концентрации напряжений, зоны разгрузки, зоны неупругих деформаций, разрушения, отслоения и сдвижения. Построение этих зон осуществляется после решения задачи о распределении напряжений вокруг подземных пространств в упругой среде, моделирующей исследуемый массив. Затем для оценки степени устойчивости массива горных пород сравнивают величину напряжений, деформаций с предельно допустимыми значениями, что позволяет установить степень устойчивости конструктивных элементов.

Расчет напряженно-деформированного состояния массива горных пород, производился по компьютерной программе с использованием МКЭ. Геомеханическая модель исследуемого

объекта (участка) строится дискретизацией рассматриваемой области на элементы, соответствующие геологической структуре осадочной толщи и представлениям о геомеханике решаемой задачи. Геомеханическая модель состоит из геологического и технологического модулей, представляющих структуру объекта. После выполнения решения плоской задачи теории упругости МКЭ выводятся компоненты тензоров напряжений и деформаций для каждого элемента, и перемещения для каждой узловой точки в виде файла результатов расчета. Распределение компонентов напряжений в массиве пород вокруг выработки является исходным материалом для анализа устойчивости обнажений пород [4].

При исследовании напряженно-деформированного состояния мелового массива моделировались типичные горно-геологические и горнотехнические условия, распространенные на территории Губкинского городского округа.

Толща турон-коньякского яруса представлена мелом белым писчим плотным крепким однородным в отметках кровли +190 м и почвы +129 – +132 м. Средняя влажность меда 26%, объемная масса 1710 кг/м^3, прочность на сжатие 0,84 МПа.

Сантонский ярус, как правило, расположен на возвышенных участках рельефа, представлен мергелями плотными мелоподобными, мощностью около 30 м. Объемный вес 1670–1900 кг/м^3, естественная влажность 31–32%, сцепление 0,057–0,192 МПа, угол внутреннего трения 29–48°. Мергели крепкие, предел прочности на сжатие при естественной влажности составляет 0,9–1,6 МПа.

Альб-сеноманский ярус представлен песками мелкими, зеленовато-серого цвета, развит в отметках +122 – +132 м, мощностью 25–32 м. Уровень подземных вод расположен на отметках +140 – +142 м.

Для условий Губкинской территории в качестве предпочтенного технического решения принят туннельный тип подземных гаражей и стоянок с двумя выходами на поверхность.

Подземные гаражи (автостоянки) представляют собой комплекс подземных горных выработок, состоящий из штолен, камер, сопряжений размещенных в меловой толще. Подземные камеры поперечного сечения 10–15 м^2, длиной 40–50 м, имеющие два выхода один на транспортную и другой на вентиляционную штольни.

Транспортная штольня поперечного сечение 10–12 м^2, предназначена для транспорта, прокладки кабелей, вентиляцион-

ных труб, противопожарного трубопровода. Вентиляционная штольня служит для выдачи из камер отработанного воздуха, исходящая струя направляется в вентиляционный шурф. Другие дополнительные выработки могут использоваться для вспомогательных целей.

В меловом массиве моделировались параллельные камеры различных размеров и формы, в том числе Г-образной с нижним и верхним уступами между, которыми располагается междукамерный целик. Результаты расчетов после соответствующей обработки представлялись в виде картин распределения коэффициентов концентрации компонентов напряжений и абсолютных перемещений в изолиниях.

Исследования НДС вокруг выработок прямоугольного и арочного сечения показали, что при горном давлении до 1,2 МПа выработки размером 4×4 м сохраняют устойчивость, максимальные перемещения не достигают 200 мм, но не исключено образование локальных зон обрушения высотой до 0,4 м. Обнажение пород кровли выработок отнесено к средней категории устойчивости.

НДС массива горных пород вокруг камер Г-образного поперечного сечения с верхним уступом размером 5×5 м показали, что для камер с верхним уступом максимальные перемещения составляют до 500 мм, характерны зоны обрушения высотой более 1 м, образуются вывалы после обнажения кровли выработок, обнажение следует отнести к неустойчивой IV категории.

Для камер Г-образного поперечного сечения с нижним уступом размером 4×4 м зоны повышенной концентрации вертикальных напряжений приурочены к правому верхнему углу выработки и углу опирания вышележащего массива (рис. 1).

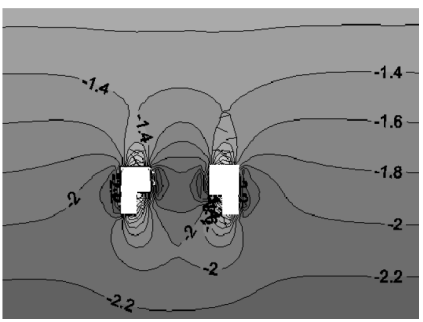

Рис. 1. Распределение вертикальных напряжений

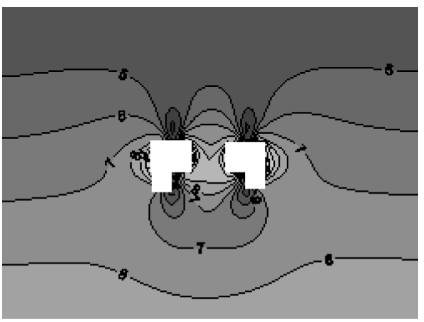

Рис. 2. Распределение максимальных касательных напряжений

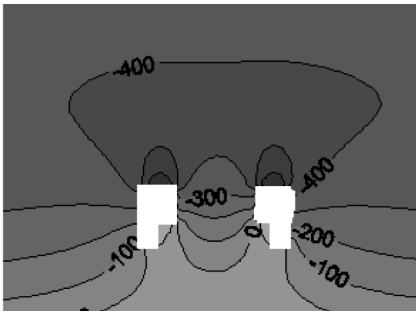

Рис. 3. Распределение вертикальных перемещений

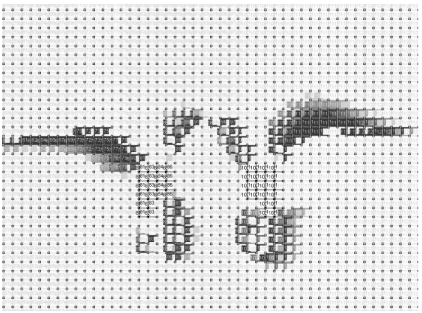

Рис. 4. Зоны сдвигов с двумя камерами Г-образной формы с нижним уступом

В направлении нижних уступов развиваются зоны пластических деформаций и возможного разрушения по растягивающим напряжениям.

Максимальные касательные напряжения вокруг двух камер Г-образной формы с нижним уступом концентрируются в кровле и нижнем уступе (рис. 2).

Для камер с нижним уступом размером 4×4 м характерно образование локальных зон разрушения и устойчивость обнажений по данным исследований можно отнести к категории средней устойчивости.

В кровле камер Г-образного поперечного сечения с нижним уступом размером 5×5 м формируется зона вертикальных перемещений величиной 400 мм высотой более 1 м, поэтому следует ожидать образования вывалов после обнажения кровли выработок, а обнажение следует отнести к неустойчивой IV категории (рис. 3).

Вокруг камер Г-образной формы с нижним уступом размером 5×5 м при ширине целика 8 м в меловом массиве формируются зоны сдвигов (рис. 4).

Для условий региона предпочтительнее камеры Г-образного поперечного сечения с нижним уступом размером 4×4 м, однако при проектировании рекомендуется закладывать крепление кровли анкерами. При постоянной ширине целика с увеличением размера камер горизонтальные напряжения в его центре уменьшаются по величине более чем в 3 раза, вертикальные напряжения напротив, возрастают в 1,3 раза. Поэтому между параллельными выработками следует оставлять ленточные предохранительные целики размером не менее 2—3 пролетов выработок.

Таким образом, установлены безопасные геомеханические параметры конструктивных элементов подземных сооружений, отвечающие требованиям строительных норм, которые должны учитываться при проектировании и строительстве подземных объектов в условиях городской застройки: поперечное сечение штолен и камер 10–15 м^2, вентиляционного шурфа 4–9 м^2, ширина междукамерных целиков 15–20 м, глубина расположения выработок 20–30 м, длина может достигать 200 м.

Для сооружения подземных объектов рекомендуется применить прогрессивный широко известный новоавстрийский способ проходки тоннелей (НАТМ), заключающий в создании торкрет крепи со стержневой анкерной системой с вовлечением в работу вмещающего массива горных пород.

Компьютерное моделирование геомеханических процессов в меловом массиве для различных технологических схем подземного пространства позволяет осуществить прогнозирование устойчивости камер, установить направление и порядок сооружения, подготовиться к проведению производственного эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Руководство* по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. – М.: РААСН, 2004. – 110 с.

2. *Аллилуев В.Н., Бизюлев М.А.* Геологические и горнотехнические условия, благоприятные для освоения подземного пространства в средних городах / Материалы 11-го международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». – Белгород: ВИОГЕМ, 2013. – С. 374–377.

3. *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1989. – 270 с.

4. *Аллилуев В.Н.* Технологическая геомеханика: численное моделирование задач геомеханики при подземной разработке рудных месторождений. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2007. – 240 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Аллилуев Валерий Николаевич – кандидат технических наук,
доцент, зав. кафедрой,
Губкинский институт (филиал)
Университета машиностроения (МАМИ),
e-mail: allmgou@mail.ru,
e-mail: allvnmgou@mail.ru.

UDC 622.83:
553.31

V.N. Alliluev

GEOMECHANICAL PARAMETERS OF UNDERGROUND SPACES IN CHALKY SEDIMENTATIONS

The discussed problem touches an analysis and interpretation of results of design of the tensely-deformed state of chalky array at building of underground spaces. The features of distribution of components of tensions and moving are educed, the areas of unresilient deformations are set in a chalky array with the purpose of determination of parameters of underground spaces.

Key words: underground spaces, chalky sedimentations, geomechanical parameters.

AUTHORS

Alliluev V.N., Candidate of Technikal Sciences, Assistant Professor,
Gubkin Institute (brunch) of Moscow State Machine-Building University (MAMI)
309186, Gubkin, Russia, e-mail: allmgou@mail.ru, allvnmgou@mail.ru.

REFERENCES

1. *Rukovodstvo po kompleksnomu osvoeniyu podzemnogo prostranstva krupnykh gorodov* (Manual on integrated development of underground space large major cities), Moscow, RAASN, 2004, 110 p.

2. Alliluev V.N., Bizyulev M.A. *Materialy 11-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Osvoenie mestorozhdeniy mineral'nykh resursov i podzemnoe stroitel'stvo v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh»* (Proceedings of the 11th international Symposium «Development of deposits of mineral resources and underground construction in complicated hydro geological conditions»), Belgorod, VIOGEM, 2013, pp. 374–377.

3. Bulychev N.S. *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy* (Mechanics of underground structures), Moscow, Nedra, 1989, 270 p.

4. Alliluev V.N. *Tekhnologicheskaya geomekhanika: chislennoe modelirovanie zadach geomekhaniki pri podzemnoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy* (Technological geomechanics: Numerical modeling of rock mechanics in underground mining of ore deposits), Stary Oskol: LLC «TNT», 2007, 240 p.

ОТ РЕДКАЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 12 2015 г. (специальный выпуск 69) в статьях авторов Гаязова Р.Р., Знаемского Ю.А., Кадысева В.С., Лопатина В.И., Маринина И.А. на с. 7 и с. 13 допущена техническая ошибка в переводе на английский язык фамилии автора:

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
7, 13	Sremski Y.A.	Znaemskiy U.A.