УДК 622.83

С.Ю.НОВОЖЕНИН, *студент, snovx@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

S.J.NOVOZHENIN, *student, snovx@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭСКАЛАТОРНОГО ТОННЕЛЯ СТАНЦИИ МЕТРО «АДМИРАЛТЕЙСКАЯ» САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

С использованием метода конечных элементов в трехмерной постановке смоделировано напряженно-деформированного состояния породного массива при проходке в нем эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская». Рассмотрены вопросы геомеханической оценки сдвижений и деформаций горных пород на основе моделирования. Кроме того, произведен прогноз воздействия процесса сдвижения на земную поверхность.

***Ключевые слова*:** напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

ESTIMATION OF THE IS INTENSE-DEFORMED CONDITION OF MASSIF AT BUILDING INCLINED TUNNEL OF METRO STATION «ADMIRALTY» OF THE SAINT PETERSBURG UNDERGROUND

Intense-deformed condition of a solid at building tunnel inclined tunnel «Admiralty» is simulated using finite-element method in three-dimensional statement. Questions of a geomechanical estimation strata movement and deformations of rocks based on modeling are considered. In addition, the forecast of influence of strata movement process for surface is made.

***Key words*:** mode of deformation, finite-element method.

В настоящее время для крупных городов характерна высокая плотность застройки, в мегаполисах данная проблема имеет особую значимость.

Дефицит свободных земельных участков обуславливает более частое использование городского подземного пространства для строительства сооружений различного назначения. Это могут быть сооружения метрополитена, автодорожные и коммуникационные тоннели, подземные паркинги, торговые комплексы, вокзалы. Строительство подобных сооружений широко распространено в зарубежной практике.

Общеизвестным фактом является то, что любое ведение горных работ сопровождается сдвижениями и деформациями земной поверхности. Качественный прогноз, численное моделирование и обработка результатов натурных наблюдений позволяют оценить и проконтролировать реальное влияние горных работ на подрабатываемые объекты. В условиях городской застройки повреждение и, как следствие, разрушение наземных объектов является недопустимым, особенно если строительная площадка расположена в историческом центре города. Примером подобного строительства являются

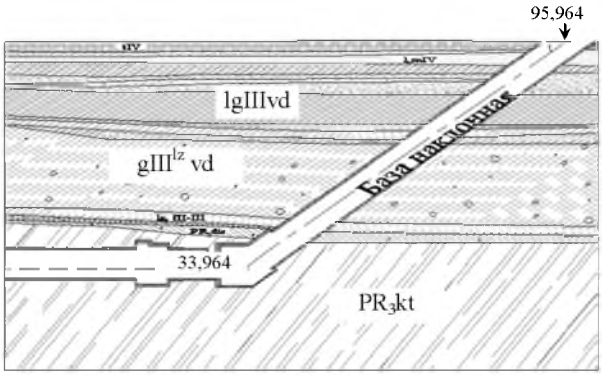


Рис.1. Разрез по оси эскалаторного тоннеля

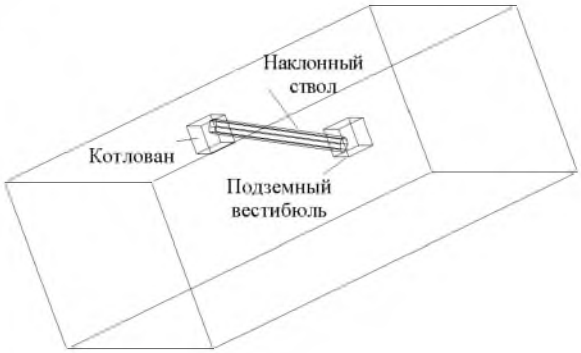


Рис.2. Объемная модель: эскалаторный тоннель и камеры

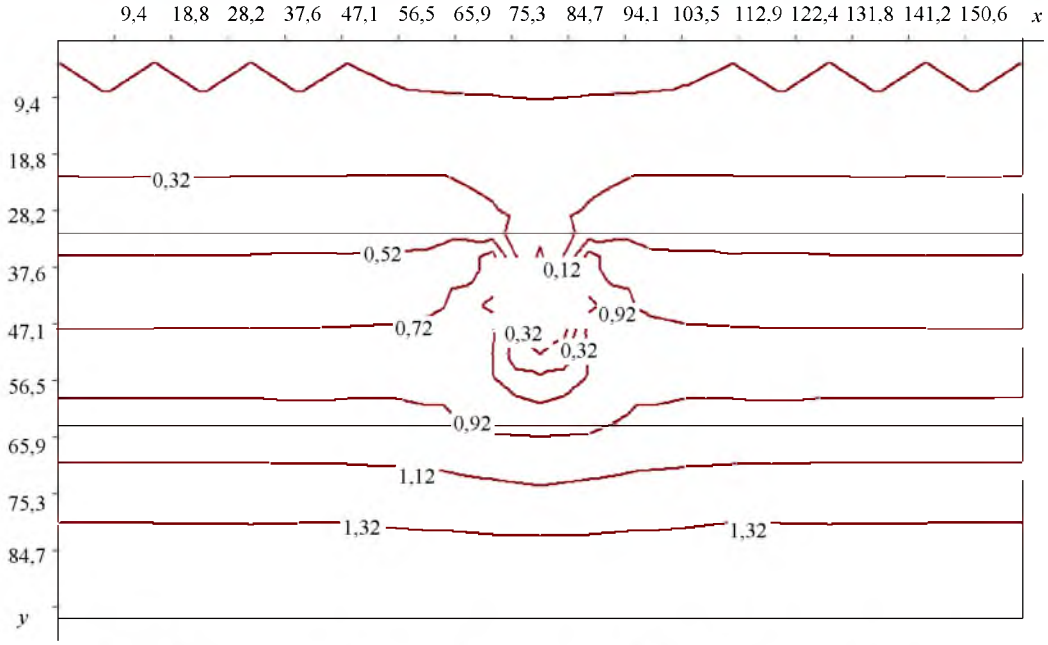


Рис.3. Распределение вертикальных напряжений (МПа) в массиве горных пород

работы по сооружению эскалаторного тоннеля для станции метро «Адмиралтейская». Когда находящиеся в непосредственной близости от промплощадки здания и сооружения представляют для города архитектурное и историческое значение, понимание процессов, происходящих в массиве, является крайне важным.

Высокая информативность и наглядность численного моделирования дают возможность получить качественное представление о действующих в массиве процессах [2, 3]. Однако количественная оценка сдвижения при таком моделировании не всегда достоверна из-за неточности определения физико-механических свойств горных пород.

При маркшейдерском обеспечении подземного строительства накапливаются натурные данные, характеризующие деформационные процессы. С их помощью модели могут быть своевременно уточнены и дополнены.

Одной из задач создания таких моделей является разработка методов прогнозной оценки сдвижений и деформаций земной поверхности. Накопленный опыт моделирования и прогнозирования деформаций при использовании подобных моделей позволит

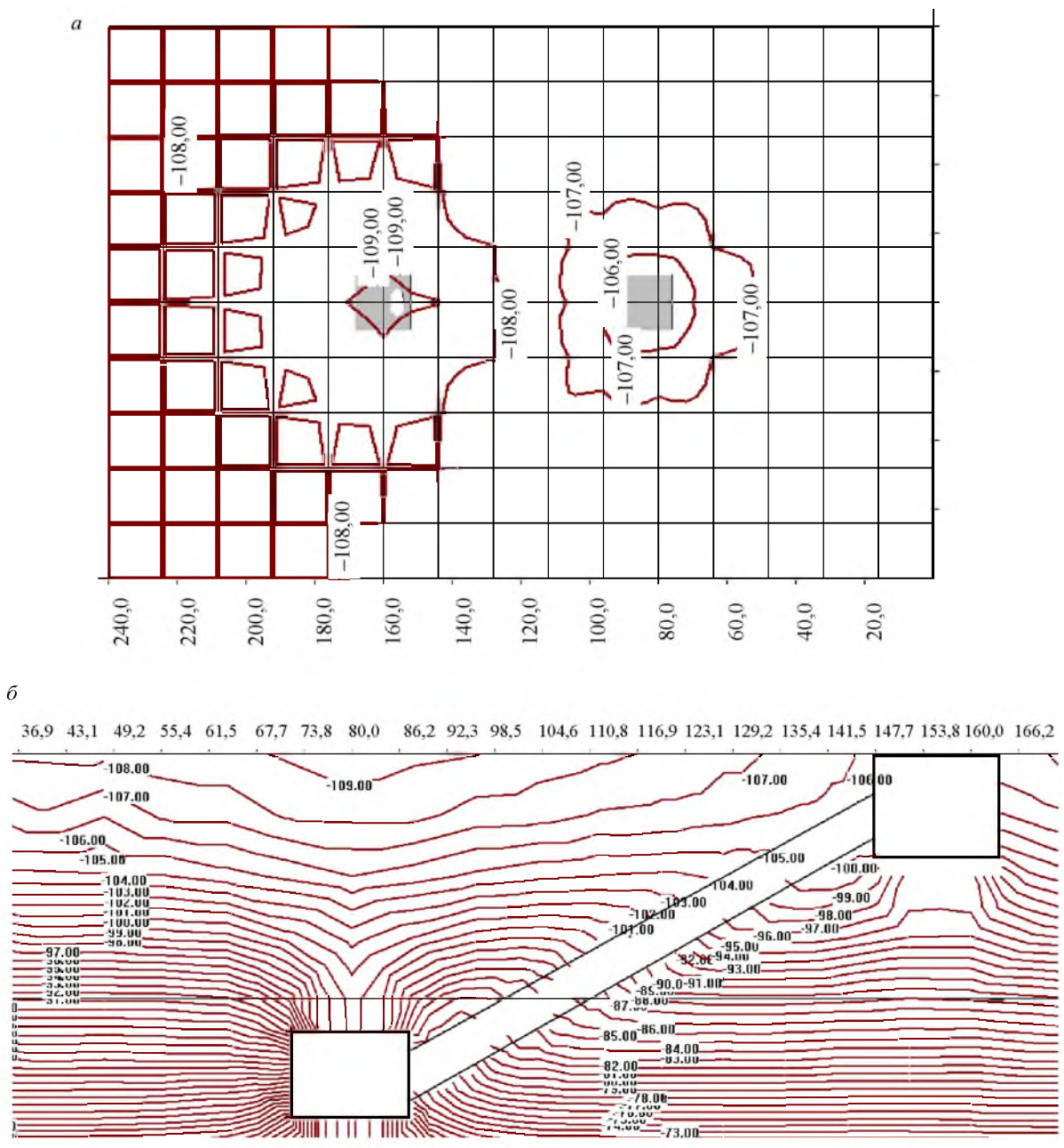


Рис.4. Распределение вертикальных смещений (мм) в массиве горных пород
а – в плане; *б* – в разрезе

сделать строительство подземных сооружений более рациональным и безопасным.

Породы, слагающие участок строительства станции метро «Адмиралтейская», относятся к четвертичным и верхнепротерозойским отложениям. Четвертичные образования представлены современными верхнечетвертичными и верхнесреднечетвертичными осадками, верхнепротерозойские отложения – глинами котлинского горизонта, среди которых в верхней части выделяются в отдельный горизонт глины с нарушенной (перемятой) слоистостью, а также песчано-глинистой толщей гдовского горизонта (рис.1). Горизонт грунтовых вод имеет повсеместное распространение. Грунтовые воды приурочены к невыдержанным по мощности и простиранию слоям различного происхождения и возраста: пескам, супесям, современным и верхнечетвертичным отложениям.

Оценка деформаций земной поверхности выполнена с применением компьютерной технологии моделирования, реализующей метод конечных элементов в трехмерной постановке задачи. Рассмотрим методику моделирования.

Объемная геометрическая модель ствола представлена на рис.2. Размеры модели: длина 160 м, высота и ширина 96 м. Упругие параметры модели (решалась упругая задача) приняты с учетом литературных данных [3]. Модуль упругости (E) толщи грунта у земной поверхности $E_1 = 5 \div 50$ МПа, ниже (32 м) залегает слой с $E_2 = 7{,}5 \div 75$ МПа и еще ниже $E_3 = 10 \div 100$ МПа.

Моделировались несколько вариантов, при которых варьировался модуль упругости слоев модели в определенном интервале. За базовый принят вариант с максимальным значением E.

Напряжения на границах модели распределяются (рис.3) пропорционально глубине (горизонтальные изолинии), что свидетельствует о незначительном влиянии повышенных напряжений около выработок на напряженно-деформированное состояние (НДС) в этих зонах, которое практически соответствует исходному НДС массива.

Распределение вертикальных смещений (рис.4) характеризуется влиянием проходки эскалаторного тоннеля и камер на массив горных пород. Здесь представлены полные смещения с учетом природных смещений в массиве до проходки. При учете природных смещений можно получить дополнительные смещения, возникающие при сооружении эскалаторного тоннеля. Максимальные оседания локализованы над подземным вестибюлем и достигают 109 мм. Натурными данными установлено, что в большинстве случаев оседания достигают максимальных значений над первой третью наклонного хода [4]. Локализацию максимальных оседаний над вестибюлем станции можно объяснить заданием условий одновременной выемки в модели всех выработок комплекса и особенностями граничных условий для нижнего вестибюля. Оценку сдвижений от проходки самого эскалаторного тоннеля необходимо производить на основе постадийного моделирования.

При максимальных значениях модуля упругости величина оседаний поверхности не превышает единиц миллиметров, а зона оседаний (мульда сдвижения) распространяется до 65 м. При минимальных значениях интервала упругих свойств максимальные деформации будут иметь значения единиц сантиметров, а мульда оседаний приблизится к размерам модели (90 м).

Анализ результатов моделирования также показывает, что горизонтальные смещения и деформации в направлении оси тоннеля невелики. Данное обстоятельство позволяет обосновать возможность применения плоских моделей.

Выводы

1. При анализе сдвижений и деформаций необходимо учитывать параметры естественного НДС массива горных пород.

2. Моделирование сдвижений в широком спектре физико-механических свойств может позволить выявить зависимость развития деформаций на земной поверхности от деформаций пород в массиве вблизи выработки.

3. Для достоверной оценки необходимо применять постадийное моделирование.

4. Пространственное моделирование показало актуальность применения плоских моделей для частных задач анализа сдвижений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений. М., 1989.

2. *Мустафин М.Г.* Геомеханическая модель системы «выработка – вмещающие породы» и ее использование при прогнозировании динамических проявлений горного давления // Горная геомеханика и маркшейдерское дело / ВНИМИ. СПб, 1999.

3. *Петухов И.М.* Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие / И.М.Петухов, А.М.Линьков, В.С.Сидоров. М., 1992.

4. Пособие по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горнопроходческих работ при строительстве метро-

политена / В.Ф.Подаков, Ю.Ф.Соловьев, В.М.Капустин и др. Л., 1973.

REFERENCES

1. *Bulychev N.S.* Mechanics of underground structures. Moscow, 1989.

2. *Mustafin M.*G. Geomechanical model of the system «mine – the host rocks» and using it in predicting the dynamic displays of rock pressure // Geomechanics and Mine surveying / VNIMI. Saint Petersburg, 1999.

3. *Petukhov I.M.* Computational methods in mechanics of rock bursts and releases: A Reference Guide / I.M.Petukhov, A.M.Linkov, V.S.Sidorov. Moscow, 1992.

4. *Podakov V.F.*, *Solovev Yu.F*, *Kapustin V.M.* Manual for design measures for protection of buildings and structures exploited by the influence of mining operations in the construction of the underground. Leningrad, 1973.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент *Е.М.Волохов*