

**М.Г.МУСТАФИН**, *д-р техн. наук, профессор, mustafin\_m@mail.ru*

**А.С.НАУМОВ**, *аспирант, goltykot@yandex.ru*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**M.G.MUSTAFIN**, *Dr. in eng. sc., professor, mustafin\_m@mail.ru*

**A.S.NAUMOV**, *post-graduate student, goltykot@yandex.ru*

*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## **КОНТРОЛЬ ДОПУСТИМЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Статья посвящена вопросу прогнозирования воздействия подземных сооружений на окружающую среду. Рассмотрена система наблюдений за деформацией земной поверхности при сооружении вертикальной выработки. Выполнен предварительный анализ возможного развития деформационного процесса. Приведено сравнение расчетных и фактических данных. Даны рекомендации по организации деформационного мониторинга.

**Ключевые слова:** массив горных пород, напряженное состояние пород, мониторинг, прочность пород, модель объекта, сдвигание пород, реперы, геодезические приборы.

## **CONTROLS ALLOWED EARTH DEFORMATION CONSTRUCTION VERTICAL OPENINGS IN BUILT-UP AREA**

Article is devoted to predicting the effects of underground facilities on the environment. The system of observations of the deformation of the earth's surface in the construction of the vertical development. Performed a preliminary analysis of the possible development of the deformation process. The comparison of calculated and actual data. Recommendations on the organization of the deformation monitoring.

**Key words:** rock mass, the stress state of rocks, monitoring, rock strength, the object model, displacement of rocks, frames, geodesic instruments.

Санкт-Петербург как современный мегаполис стремительно развивается за счет строительства различных объектов, в том числе общегородской направленности. При этом все интенсивнее осваивается подземное пространство. Типичными примерами являются подземные паркинги, подземная железная дорога – метрополитен, трубопроводы и подземные коммуникации различного назначения. Строительство указанных объектов необходимо и существенным образом улучшает качество городской среды. Однако возведение объектов в условиях уплотненной застройки накладывает дополнительные требования к обеспечению сохранности и безопасной эксплуатации существующих объек-

тов (зданий и сооружений). К сожалению, известно много случаев, когда строительство одного объекта вблизи другого приводило к разрушению уже существующего.

Обеспечение безопасных условий эксплуатации зданий и сооружений при строительстве вблизи них других объектов связано с тщательной предварительной проработкой рассматриваемого вопроса. В современных условиях речь идет об использовании моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород, подвергнутого изменению вследствие строительства. При этом моделирование должно обеспечивать наиболее полную адекватность условиям и технологии строительства.

### Основные параметры объектов наблюдения

Параметры	Объект			
	423А	423Н	441/2	439/2
Глубина, м	74	83	53	72
Диаметр ствола, м	7,7	7,7	7,7	7,7
Продолжительность строительства, сут.	62	57	80	52
Геология	Насыпной грунт (6)* → водонасыщенные пески (32) → глина твердая	Насыпной грунт (7) → пески (12) → суглинки (12) → глина	Насыпной грунт (3) → супесь (15) → гравий (3) → суглинок с камнями	Пески (7) → водонасыщенные супеси (30) → глина твердая
Сооружения, расположенные в зоне влияния строительства	Жилые здания – 3КЖ, 4 КЖ (15)**; автодорога (30)		Железная дорога (30)	Административное здание (35)

\* Мощность в метрах.

\*\* Расстояние до объекта в метрах.

В качестве объекта изучения выбран главный канализационный коллектор Санкт-Петербурга. Данный тип сооружения представляет собой систему тоннелей различного диаметра, камер и вертикальных стволов. Последние в наибольшей степени воздействуют на окружающую среду. Все стволы (см.таблицу) находятся в районах с уже застроенными территориями. Присутствие рядом различных гражданских строений (жилые дома, офисы, дороги) и подземных коммуникаций (газопроводы, ливневые канализации) обуславливает необходимость прогнозирования степени вредного влияния строящихся объектов.

Существует уровень допустимых деформаций, которые объект (здание, сооружение) может безущербно выдержать. Так, по данным исследований ВНИМИ\*, опасное влияние на существующие объекты выражается следующими значениями деформаций земной поверхности на интервале 15-20 м: наклоны  $4 \cdot 10^{-3}$ , деформации растяжения  $2 \cdot 10^{-3}$ . В то же время по рекомендациям по проектированию и устройству оснований и фундаментов при возведении зданий вблизи существующих в условиях плотной застройки в г.Москве осадка зданий, при ко-

торой необходима ее защита, составляет 8-15 см, а крен здания 0,005 (эти значения уточняются в зависимости от принадлежности зданий тому или иному типу в соответствии со СНиП 2.02.01-83).

Из приведенных значений параметров следует, что в первом случае (ВНИМИ) главный акцент сделан на деформации растяжения, а во втором – на осадке. Это продиктовано следующим: подработка земной поверхности при освоении месторождений полезных ископаемых весьма значительна и вызывает большие горизонтальные сдвиги на большой территории. Определение сдвижений важно, например, при строительстве в зоне влияния протяженных сооружений (дорог, трубопроводов и т.д.). При строительстве в городских условиях основное внимание уделялось несущей способности грунтов оснований зданий и сооружений, которое выражается в вертикальных осадках.

На наш взгляд, в связи с интенсивным освоением подземного пространства при строительстве как коммуникаций общегородского назначения, так и жилого фонда (высотные дома с подземными ярусами) в целях повышения безопасности требуется изучать вертикальные и горизонтальные составляющие процесса сдвига грунта массива.

Реализация контроля безопасных условий эксплуатации существующих зданий и

\* Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1989.

Bulychov N.S. Mechanics of underground constructions. Moscow: Nedra, 1989.

сооружений при строительстве вблизи них под- и наземных объектов должна также предусматривать проведение специальных наблюдений. Для этой цели следует разрабатывать системы деформационного мониторинга за процессом сдвижения как строений, расположенных в зоне влияния подземных работ, так и земной поверхности.

Наблюдения за деформациями проводились на четырех объектах строительства в различных районах города (Выборгская сторона, район р.Охта). Приведем методику и результаты исследований по шахте 423Н, которая является самой глубокой из приведенных. В настоящее время при сооружении вертикальных стволов глубиной более 40 м применяются механизированные стволопроходческие комплексы. Одним из их преимуществ является поддержание уровня давления грунтовых вод, за счет чего обеспечивается минимальное воздействие на массив и, соответственно, значительное уменьшение оседаний околоствольного грунтового массива. При проходке рассматриваемых стволов использовался стволопроходческий комплекс фирмы «Herrenknecht».

Перед сооружением ствола было выполнено моделирование деформирования земной поверхности и самого ствола в программном комплексе Plaxis (упругопластическая модель с критерием прочности Кулона – Мора). Моделируемый массив состоит из насыпного грунта (мощность 4 м), чередующихся слоев водонасыщенных супесей и суглинков (мощность 7 м), а также слоя твердой глины, начинающегося на глубине 40 м. Физико-механические характеристики приняты по данным ВНИМИ\*. Моделирование выполнено с учетом технологии проходки при различных диаметрах ствола. По результатам моделирования составлены графики смещений (рис.1). По ним видно, что величина вертикальных оседаний грунтового массива у контура ствола после его проходки составляет 220 мм.

\* Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях/ ВНИМИ. СПб., 1998.

Rules of protection of constructions and natural objects from an adverse effect of underground mountain minings on coal fields / VNIMI. Saint Petersburg, 1998.

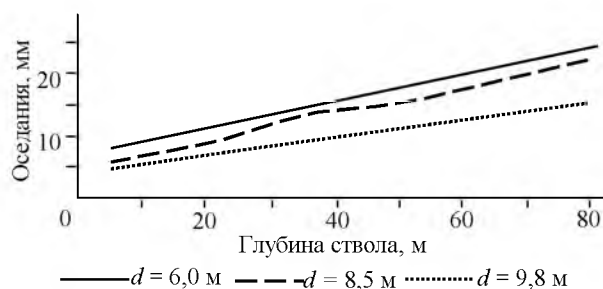


Рис. 1. График развития вертикальных оседаний

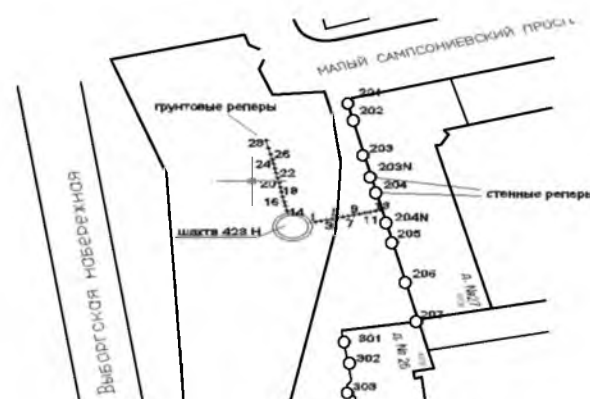


Рис. 2. Схема расположения грунтовых и ственных реперов

При сооружении данного ствола механизированным комплексом проводились наблюдения за состоянием околоствольного грунтового массива в радиусе 30 м, а также зданий, находящихся в предполагаемой зоне влияния строительства. Средняя скорость проходки составила около 1,5 м/сут. Это создает возможность быстрого развития деформационных процессов, поэтому возникает необходимость постоянного контроля (мониторинга) за состоянием земной поверхности и зданий.

Мониторинг за деформациями организован следующим образом. Для определения вертикальных деформаций грунтового массива были заложены две линии грунтовых реперов (рис.2). Для определения вертикальных и горизонтальных деформаций зданий, расположенных в предполагаемой зоне влияния строительства, использовались ственные реперы и деформационные марки.

Грунтовые реперы представляют собой металлические штыри длиной 1 м, забитые в землю на 0,9 м, забетонированные на глубину 0,4 м от поверхности земли. Длина реперов обусловлена тем, что наблюдения про-

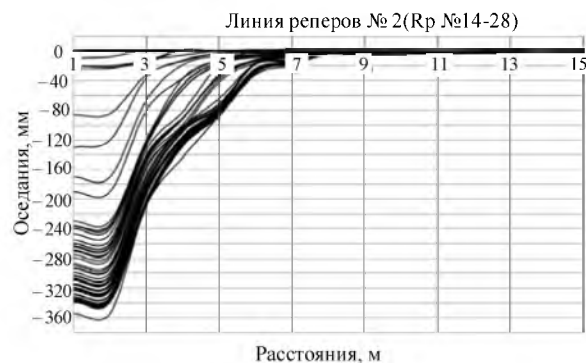


Рис.3. Размер осадок по линии Rp 14-28

водились только в летний период, соответственно, отсутствует влияние промерзания грунта. Реперы и марки на зданиях располагались с шагом 15 м, в местах примыкания зданий друг к другу, а также на углах сооружений (рис.2).

Первоначальные наблюдения производились тахеометром «Leica 1201+» от пунктов городской сети, в результате чего были получены координаты трех опорных пунктов, расположенных вне зоны действия деформаций. Последующие наблюдения проводились от опорных пунктов в ручном режиме. Плановые координаты и высотные отметки наблюдаемых пунктов определялись с помощью многократно повторяемых измерений, в результате чего среднеквадратическая ошибка измерений составляет  $\pm 0,5$ . Периодичность наблюдений составляла 1-2 дня в зависимости от скорости проходки.

Первые оседания были зафиксированы при достижении глубины 8 м – при переходе стволопроходческого комплекса границы разделения геологических слоев (из насыпного грунта в водонасыщенные супеси). Размер оседаний составил 150 мм за 7 дней (около 21 мм/сут), а радиус зоны распространения вертикальных деформаций был равен 6 м. Эти оседания в основном были связаны с вымыванием грунта из-под фундамента комплекса. При дальнейшем строительстве размер вертикальных оседаний по линии Rp 14-28 достиг 350 мм (рис.3).

С учетом процесса вымывания грунта, который не учитывался при моделировании оседаний приконтурного грунта, вертикаль-

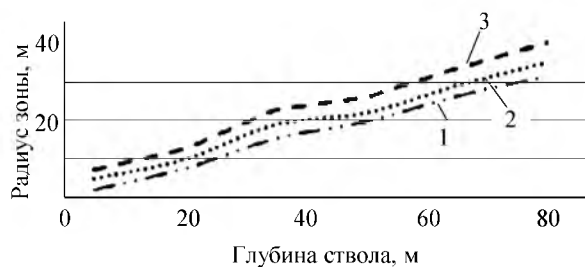


Рис.4. Зона предельно допустимых деформаций соседней застройки для многоэтажных безкаркасных зданий с несущими стенами из крупных панелей категорий 1-3

ные оседания составили 200 мм. Радиус опасной зоны равен 5-6 м. Наблюдение за состоянием стеновых реперов показало, что строительство ствола практически никак не повлияло на состояние близлежащих зданий (максимальные деформации составляют 2 мм).

Таким образом, полученные при моделировании процесса проходки результаты деформирования приконтурного грунта хорошо согласуются с фактическими данными (результаты отличаются не более чем на 20 мм). Следовательно, данный подход можно использовать для прогнозирования максимальных вертикальных оседаний при строительстве вертикальных выработок в грунтах аналогичного строения и свойств. С использованием ТСН 50-302-2004 были построены графики зависимости радиуса зоны предельных деформаций от глубины ствола. Эти графики можно использовать для предварительной оценки геотехнической ситуации применительно к конкретным типам и категориям зданий перед строительством подземного сооружения, а также для организации мониторинга и выбора расположения деформационных марок (рис.4).

В категориях зданий учитываются предельно допустимые деформации. Из графиков рис.4 следует, что для рассматриваемого объекта (шахта 4234) зона предельно допустимых деформаций составляет 30 м. Используя графики для различных типов зданий и сооружений, можно оптимизировать как технологические параметры проходки, так и параметры деформационного мониторинга.