УДК 622.838:626/627

М.В.ДОЛГИХ
ЗАО «Семнадцатое управление «Метрострой»
Е.М.ВОЛОХОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

О ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ КОЛОННЫХ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ПРОЦЕСС СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассматривается влияние сооружения двух колонных станций Санкт-Петербургского метрополитена. На основе сравнения этих последствий, а также математического моделирования стадий горно-проходческих работ дается анализ вероятных причин возникновения дополнительных оседаний земной поверхности над сооружаемыми станциями. Изложены возможные причины некоторых специфических проявлений геомеханических процессов, связанных с применением новой технологии проходки среднего зала колонной станции с опережающей крепью.

The consequences of a structure two stations of the Saint-Petersburg underground are considered. On the basis of comparison of these consequences, and also mathematical modeling on stages tunneling the analysis of the probable reasons of occurrence additional displacement of a terrestrial surface above stations is given. The possible reasons of some specific displays of geomechanical processes are stated, at application of new technology tunneling of an average hall by station with with outstripping strengthening.

Проблема охраны зданий и сооружений от вредного влияния горно-проходческих работ при строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге является по-прежнему актуальной. План перспективного развития городского пассажирского транспорта включает проект расширения сети метрополитена с введением в эксплуатацию новых линий, проходящих через исторический центр города. В зону влияния строительно-монтажных работ попадают целые жилые кварталы, представленные зданиями постройки XIX – начала XX веков с разветвленной сетью инженерных коммуникаций. Как показала практика строительства, сооружение станций метрополитена оказывает существенное влияние на сдвижение земной поверхности.

В настоящее время применяются два основных типа конструкций станций – односводчатые и колонные. В статье рассматриваются станции колонного типа и особенности процесса сдвижения в этих условиях. Технология сооружения колонных станций состоит из трех основных этапов:

1) проходка пилот-тоннелей механизированными щитовыми комплексами;

2) сооружение боковых тоннелей с демонтажом обделки пилот-тоннелей и добором породы до проектного контура, а также монтажом элементов колонно-прогонного комплекса;

3) проходка среднего зала с монтажом обделки верхнего и обратного сводов и сооружением внутренних конструкций.

Наибольшее влияние на оседание земной поверхности оказывает сооружение среднего зала, в связи с чем в практику метростроения были внедрены перспективные технологии создания временной опережающей крепи при проходке верхнего свода. В результате при строительстве станции «Адмиралтейская» удалось существенно уменьшить оседание земной поверхности и тем самым снизить затраты на мероприятия по защите подрабатываемых объектов.

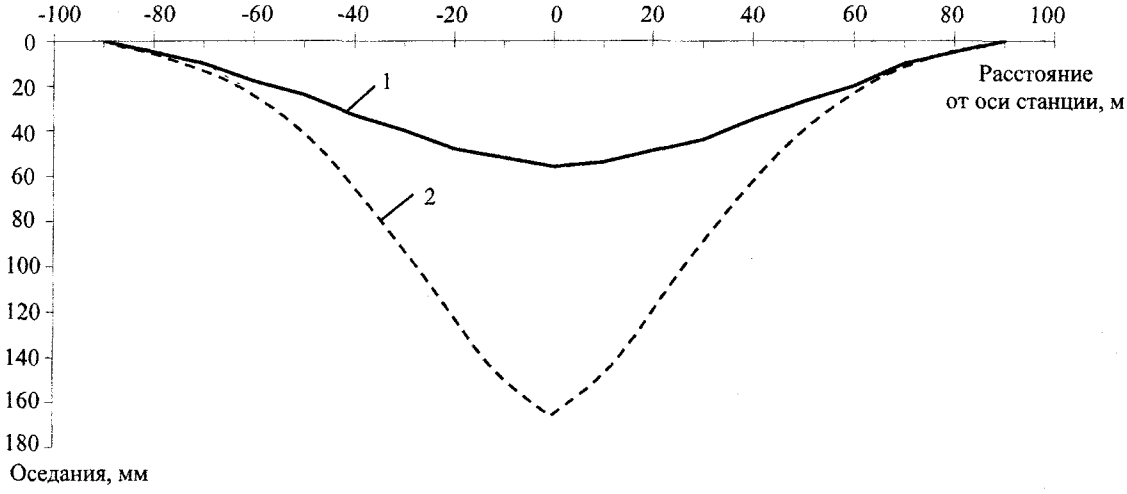


Рис.1. Фактическая (1) и расчетная (2) мульды сдвижения над станцией «Адмиралтейская»

Как правило, до начала горнопроходческих работ выполняется расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности. В основу применяемой методики положены труды Ю.А.Лиманова [2] с внесением определенных корректив, предложенных В.Ф.Подаковым [3]. В качестве исходных данных для составления прогноза используются следующие величины:

- глубина заложения выработки (от земной поверхности);
- геометрические размеры выработки;
- геологическое строение массива и механические характеристики вмещающих пород.

При выполнении расчетов не учитываются технологические параметры горнопроходческих работ, а именно: скорость подвигания забоя, переборы породы за внешний контур выработки, отставание первичного нагнетания от забоя и др.

До начала сооружения станции «Адмиралтейская» на глубине 78 м при полной вертикальной нагрузке 1,51 МПа была рассчитана ожидаемая мульда оседания земной поверхности с максимальным значением по оси станции 167 мм (рис.1). Все расчеты производились по применяемой методике [3], которая не позволяет учесть факт применения опережающей крепи кровли при проходке верхнего свода среднего зала. Фактически измеренное максимальное оседание достигло 56 мм (рис.1), т.е. меньше расчетного в 3 раза.

Для сравнения оценки влияния на процесс сдвижения ниже рассматриваются результаты наблюдений за оседанием земной поверхности при сооружении станции «Достоевская» традиционным способом. Конструкция станции «Достоевская» аналогична станции «Адмиралтейская», но она имеет меньшую глубину заложения (67 м) и, соответственно, испытывает меньшую вертикальную нагрузку (1,23 МПа). Однако после ее сооружения максимальное оседание земной поверхности достигло 104 мм (рис.2), что может быть обусловлено в первую очередь особенностями технологии проходки верхнего свода среднего зала. При сооружении станции «Адмиралтейская» использование опережающей крепи позволило практически исключить переборы породы за внешний контур верхнего свода, в то же время при проходке станции «Достоевская», сооружаемой по стандартной технологии, они превысили 100 мм. Забой верхнего свода постоянно находится в зоне нарушенных пород, образованной напряжениями сжатия по ее оси и растяжения по краям. Напряжение сжатия обусловлено опорным давлением, возникающим вокруг пройденных боковых тоннелей, а растяжения – разрыхлением пород над ними. В результате забой верхнего свода крайне неустойчив, до проведения тампонажных работ породы кровли быстро заполняют пустоты между обделкой и внешним контуром выработки.

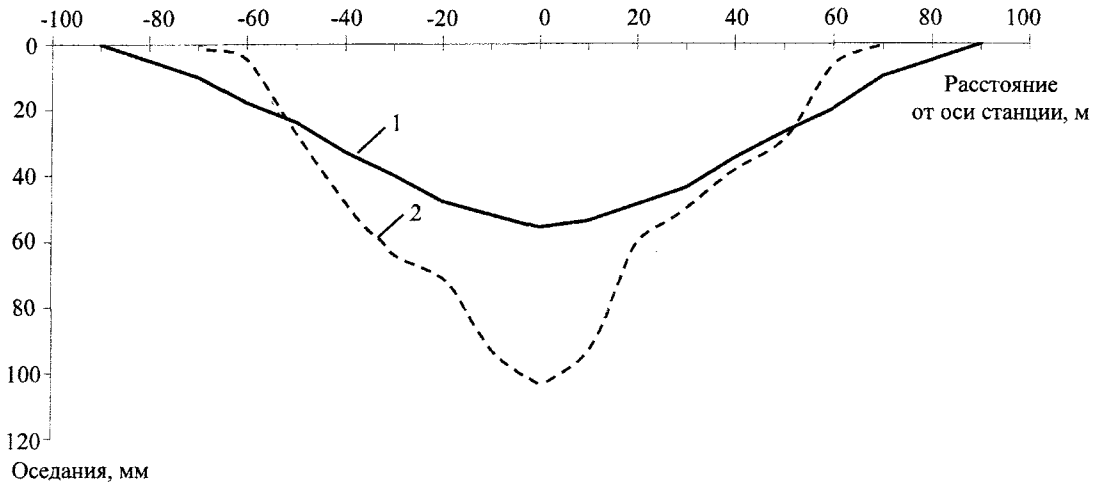


Рис. 2. Оседание земной поверхности над колонными станциями «Адмиралтейская» (1) и «Достоевская» (2)

Максимальное оседание земной поверхности находится в прямой зависимости от оседания пород над выработкой, поэтому для выполнения расчетов ожидаемых сдвижений и деформаций целесообразно использовать понятие эффективной мощности (по аналогии с горно-добывающей промышленностью). При этом эффективная мощность определяется суммой пяти слагаемых [1]:

$$m_э = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5, \quad (1)$$

где m_1 – конвергенция пород на границе выработки с пересечением пород из массива в выработку со стороны груди забоя; m_2 – оседание пород кровли вместе со временной крепью до возведения обделки; m_3 – опускание пород кровли с заполнением строительного зазора между обделкой и массивом до проведения тампонажных работ; m_4 – уплотнение материала заполнения пустот между обделкой и массивом; m_5 – оседание свода обделки, вызванное деформацией крепи при изменении горного давления.

Максимальное оседание земной поверхности здесь прямо пропорционально эффективной мощности:

$$\eta_{max} m = k m_э. \quad (2)$$

Как показала статистическая обработка данных натурных наблюдений, коэффициент пропорциональности k зависит от времени, прошедшего с момента проходки [1]:

$$k = 0{,}237 \lg(t / t_0), \quad (3)$$

где t – период проходки среднего зала, сут; $t_0 = 1$ сут.

Формула (3) действительна при условии $k \le 1$.

Первые четыре слагаемых, входящих в формулу (1), связаны с технологией строительно-монтажных работ, и только пятое зависит от конструкции крепи выработки и глубины ее заложения от земной поверхности. Для существенного уменьшения оседания земной поверхности необходимо минимизировать влияние второго и третьего членов формулы (1), что достигается внедрением технологий опережающих крепей. При закреплении кровли деревянной затяжкой основными факторами, регулирующими деформации поверхности, будут скорость проходки и темпы проведения тампонажных работ. Скорость проходки оказывает влияние и на деформацию самой обделки. Согласно данным натурных наблюдений, оседание свода среднего зала обусловлено двумя факторами: уменьшением стрелы пролета арки и оседанием ее пят. Первый фактор зависит от упругих характеристик крепи, а второй – от оседания колонно-прогонного комплекса при сооружении обратного свода. Чем меньше расстояние между забоями верхнего и обратного свода, тем меньше оседание элементов колонно-прогонного комплекса, а значит, и обделки в целом.

Численное моделирование на основе метода конечных элементов по стадиям сооружения колонной станции показало, что наиболее активное образование сдвижений возможно в период раскрытия контура верхнего свода среднего зала, даже в условиях стабильной работы (практически без смещений) уже смонтированных конструкций. В области массива над забоем выработки, ограниченной весьма крутыми вертикальными углами (до 90°), образуется зона дополнительных деформаций растяжения, распространяющаяся на значительное расстояние вверх. После возведения крепи и ввода ее в работу в этой зоне наблюдалось некоторое восстановление с образованием незначительных дополнительных деформаций сжатия (подработанный массив как бы «садился» на обделку верхнего свода станции последовательно снизу вверх). Подобные эффекты могут объяснить сравнительное увеличение максимального оседания и образование достаточно выраженного участка повышенных значений оседаний в районе оси станции «Достоевская». Применение технологии опережающей крепи на станции «Адмиралтейская», видимо, позволяет сократить образование указанных зон дополнительных деформаций и уменьшить их влияние на образование вертикальных сдвижений в подрабатываемом массиве.

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие общие выводы:

- применяемая в настоящее время методика определения ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности требует обязательной корректировки;
- при прогнозировании сдвижений и деформаций земной поверхности необходимо учитывать технологические параметры горно-проходческих работ, которые известны на стадии проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Долгих М.В.* Сдвижение земной поверхности при строительстве объектов метрополитена: Автореф. ... канд. техн. наук / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999.

2. *Лиманов Ю.А.* Осадки земной поверхности при сооружении тоннелей в кембрийских глинах / Ленинградский ин-т инженеров железнодорожного транспорта. Л., 1957.

3. *Подаков В.Ф.* Пособие по проектированию мероприятий для защиты эксплуатации зданий и сооружений от влияния горно-проходческих работ при строительстве метрополитена / В.Ф.Подаков, Ю.Ф.Соловьев, В.М.Капустин, Р.А.Муллер и др. Л.: Ленстройиздат, 1973.