УДК 622.831.312

П.А.ДЕМЕНКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ОБДЕЛКУ КОЛОННОЙ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА «КОМЕНДАНТСКИЙ ПРОСПЕКТ»

Показан характер формирования вертикальной нагрузки на обделку станции колонного типа «Комендантский проспект» Санкт-Петербургского метрополитена глубокого заложения с учетом технологии ее сооружения.

На базе многочисленных натурных исследований было осуществлено математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ). Для расчетов использовались трехмерные упругие и вязкоупругие модели на различных этапах сооружения станции.

По результатам расчетов построены эпюры распределения вертикальной нагрузки на обделку колонной станции метрополитена глубокого заложения. Выявлены характер и закономерности ее формирования без учета и с учетом влияния забоя среднего тоннеля.

The primary goal of work was revealing character of vertical loading formation on stations lining of thump type «Comendantsky prospect» Saint-Petersburg underground depth of layout, on basis of her building technology.

Mathematical simulation has been carried out by finite-element method (FEM) on the basis of numerous natural researches. Three-dimensional elastic and viscoelastic models were used at various stages of station building for calculations.

The diagram distributions of vertical loading on stations lining of layout depth underground thump type are constructed by results calculations. Character and regularity of her formation are revealed without taking into account and with take into account of influence breast an average tunnel.

Существующие методы расчета обделок подземных сооружений метрополитена, применительно к условиям Санкт-Петербурга, не в полной мере отражают особенности статической работы конструкций, а также многообразия условий и факторов, влияющих на ее напряженное состояние. Например, переменное сечение колонной станции по ее длине можно учесть, используя только трехмерную модель расчета.

Такие сложные конструкции, как колонные трехсводчатые станции, требуют тщательного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции и окружающего грунтового массива на различных этапах их сооружения. Для расчетного анализа перечисленных факторов рационально использовать удобную в практическом отношении методику численного расчета – метод конечных элементов.

Применение МКЭ позволяет значительно приблизить расчетную схему к реальному объекту, дает возможность учесть наиболее важные свойства вмещающего массива и реальную геометрию сооружения. Использование МКЭ наиболее эффективно в случаях, когда не существует точных аналитических решений: для расчета незамкнутых и сборных обделок; для расчета обделок, расположенных в неоднородном грунтовом массиве; для учета постадийности возведения обделки.

При расчете рассматривались четыре наиболее характерные стадии сооружения колонной станции: одного бокового тоннеля, двух боковых тоннелей, верхнего свода и раскрытие станции на полное сечение (рис.1).

Расчет проводился на собственный вес вмещающих пород и конструкций станции.

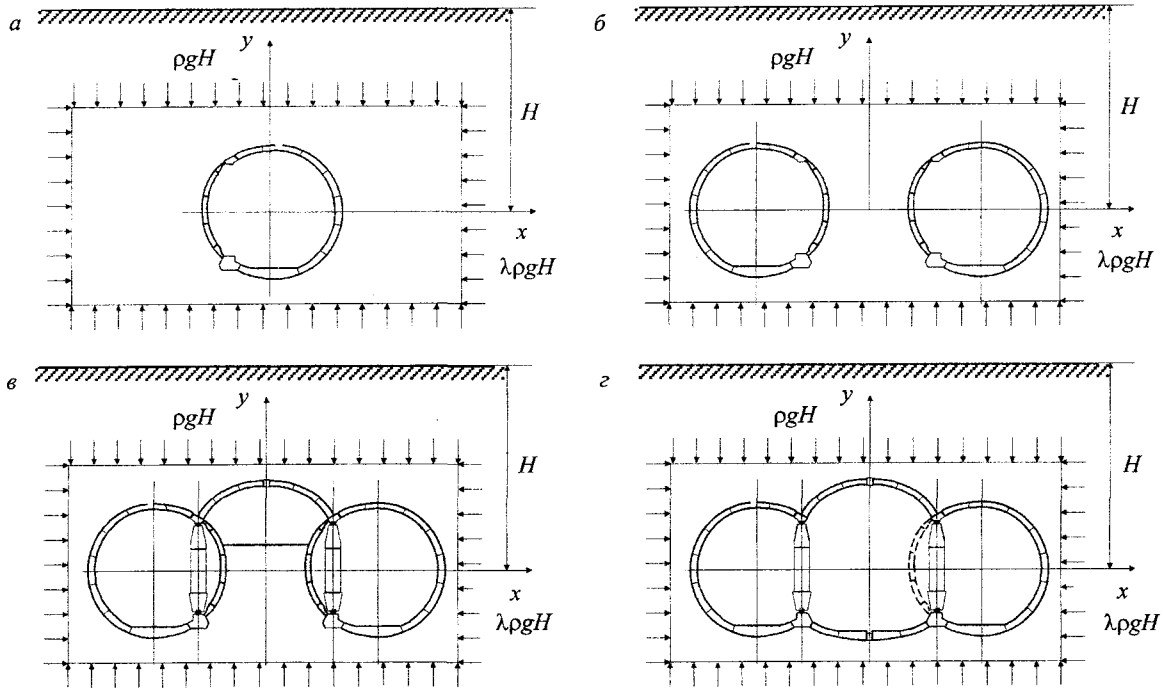


Рис.1. Схемы расчета НДС обделки и грунтового массива, учитывающие основные этапы сооружения станции: *а* – разработка первого пилот-тоннеля, d = 5,5÷8,5 м; *б* – разработка второго пилот-тоннеля, d = 5,5÷8,5 м; *в* – установка колонно-прогонных комплексов и сооружение верхнего свода; *г* – разработка станции на все сечение и сооружение обратного свода; H – глубина заложения; ρ – плотность пород; g – ускорение свободного падения; λ – коэффициент бокового распора

Конечно-элементная модель колонной станции «Комендантский проспект» со стальными колонно-прогонными комплексами, сооруженной на полное сечение, представлена на рис.2.

Рассматриваемый бесконечный объем грунтового массива заменен конечным числом объемных четырехузловых элементов. Задача симметрична вдоль оси станции относительно вертикальной плоскости *Y-Z*.

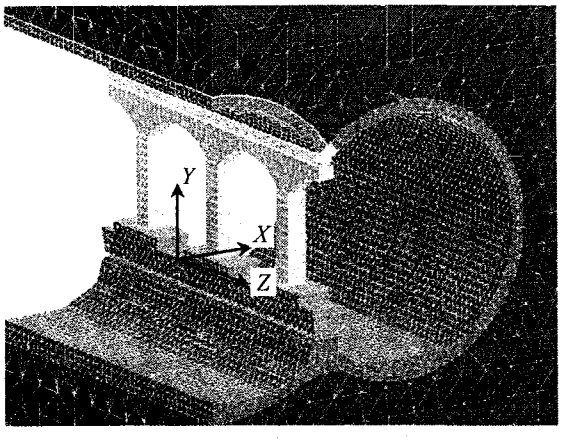


Рис.2. Фрагмент трехмерной конечно-элементной модели колонной станции

Для узлов, расположенных по плоскости симметрии станции *Y-Z*, заданы запреты перемещений вдоль оси X $U_x = 0$; по правой границе массива $U_x = 0$; по нижней границе $U_x = U_y = U_z = 0$; для граничных узлов, расположенных по плоскости *Y-X*, $U_z = 0$.

Грунтовый массив и конструктивные элементы станции разбиты на объемные четырехузловые элементы типа Tetra4. Количество элементов на различных этапах сооружения достигало 93000-105000.

С целью повышения точности расчета сетка конечных элементов разбита неравномерно: она сгущается в пределах станции и прилегающего к ней грунтового массива. На периферии сетка представлена более крупными элементами (рис.2).

Моделирование производилось на основе натурных исследований*, проведенных институтом «Ленметрогипротранс».

* *Деменков П.А.* Влияние технологии на формирование нагрузки при строительстве колонной станции Санкт-Петербургского метрополитена «Комендантский проспект» // Зап. Горного ин-та. СПб, 2003. Т.155. С.102-105.

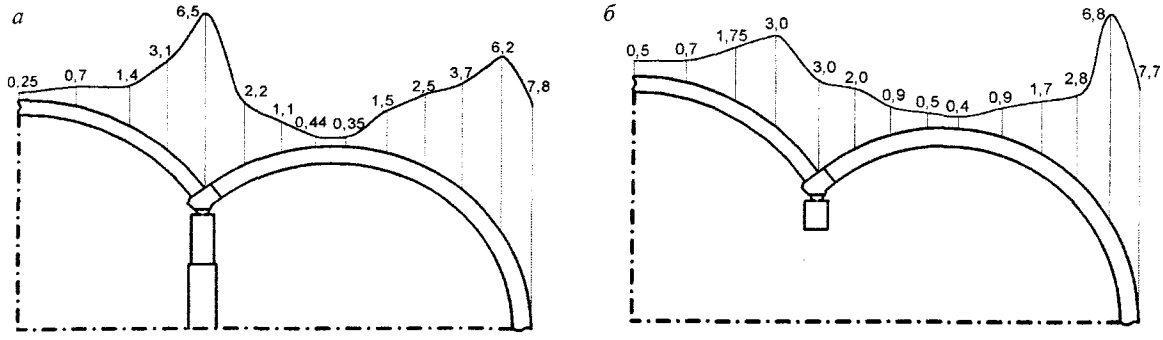


Рис.3. Эпюры распределения вертикальных нагрузок на обделку станции «Комендантский проспект» со стальными колоннами с поперечным разрезом по колонне (*а*) и по пролету (*б*)

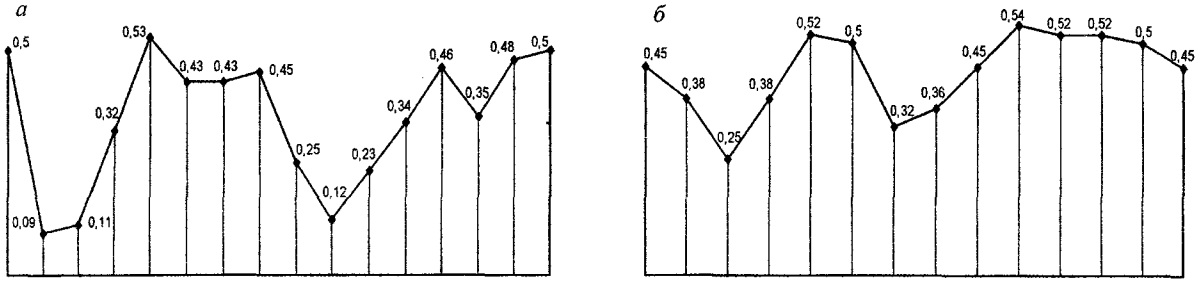


Рис.4. Эпюры распределения вертикальных нагрузок на обделку верхнего свода среднего (*а*) и бокового тоннеля (*б*) по длине станции «Комендантский проспект»

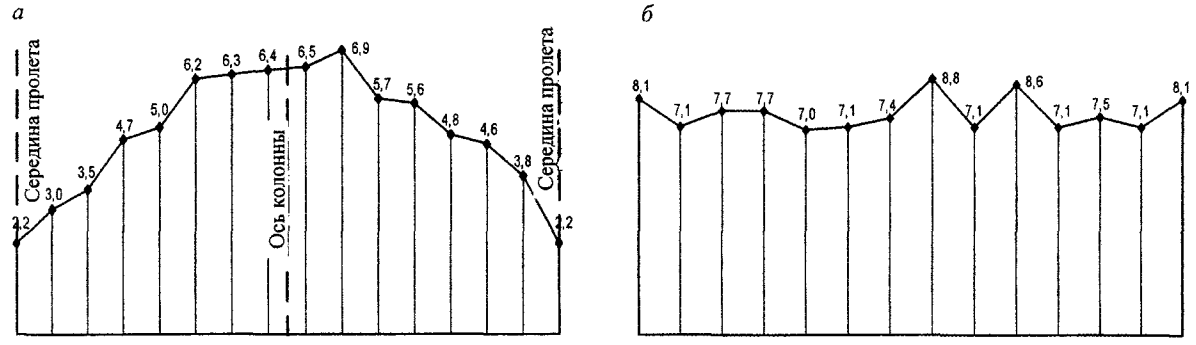


Рис.5. Эпюры распределения вертикальных нагрузок на обделку верхнего свода в продольном сечении по колонне (*а*) и боковых тюбингов (*б*) станции «Комендантский проспект»

Эпюры распределения вертикальных нагрузок на обделку станции «Комендантский проспект», полученные в результате расчетов, показаны на рис.3-6. Как и ожидалось, наблюдается неравномерное распределение вертикальной нагрузки на обделку по периметру и длине станции.

Колонны и тюбинги в боках станции воспринимают основную вертикальную нагрузку. Нагрузка на элементы обделки над колонной достигает 6,5 МПа, в боках станции – 7,7 МПа (рис.3, *а*).

В сечении по пролету вертикальная нагрузка меньше и составляет 3 МПа над верхним ригелем и 7,7 МПа в боках станции (рис.3, *б*). Минимальная нагрузка наблюдается в обделке верхних сводов среднего и боковых тоннелей.

По длине станции вертикальные нагрузки также распределяются неравномерно (рис.4, *а*, *б*).

Как видно из рис.5, *а*, нагрузка на обделку над колонной в три раза больше, чем над пролетом станции. Кроме того, увели-

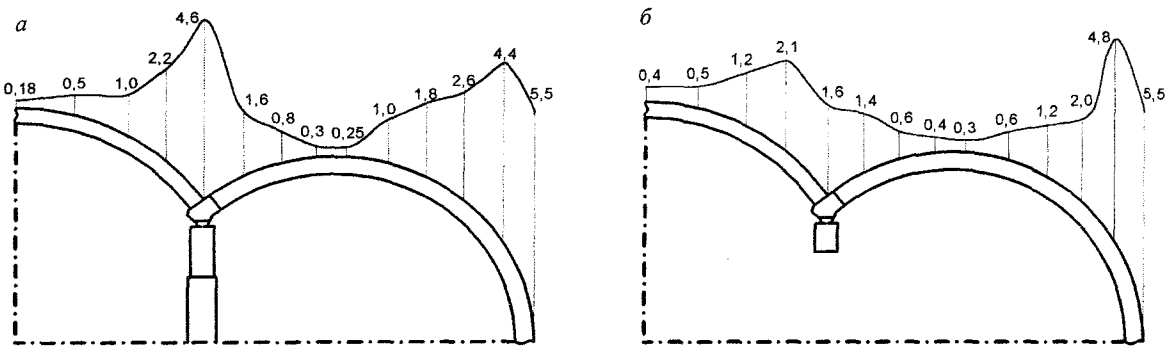


Рис.6. Эпюры распределения вертикальных нагрузок по обделке станции «Комендантский проспект» с учетом влияния забоя среднего тоннеля с поперечным разрезом по колонне (*а*) и пролету (*б*)

чение нагрузки происходит по мере приближения к колонне и носит достаточно равномерный характер.

В боках станции вертикальная нагрузка меняется незначительно (рис.5, *б*).

При взаимодействии обделки с грунтом крепь вступает в работу с массивом не мгновенно, а на некотором расстоянии от забоя. Для приближения расчетных значений нагрузок к фактическим нужно учитывать влияние забоя.

В работе* показано, что решение задачи взаимодействия сводится к контактной задаче – задаче механики сплошных сред. Модуль упругости можно заменить приведенным модулем

$$E_k = \exp(-\alpha_1 l / R) E_k,$$

где α_1 – константа, определяемая на основе натурных наблюдений; l – расстояние от места возведения крепи до забоя; R – радиус выработки.

В соответствии с технологией строительства станции, обделка среднего тоннеля вступает в работу с грунтовым массивом после нагнетания цементно-песчаного раствора. Более того, совместная работа (деформирование и перемещение) обделки с грунтом будет тогда, когда цементно-песчаный раствор наберет соответствующую прочность. Таким образом, однозначно сказать о расстоянии, на котором обделка вступит в работу с грунтовым массивом, трудно. Это в большой степени влияет как на состав раствора, нагнетаемого за обделку, так и на расстояние от забоя, на котором оно осуществляется (на практике крайне редко первичное нагнетание производится за установленное кольцо).

Эпюры распределения вертикальных нагрузок на обделку станции «Комендантский проспект», полученные в результате расчетов с учетом влияния забоя среднего тоннеля, показаны на рис.6, *а*, *б*.

Таким образом, выявлены закономерности формирования пространственного НДС обделки станций метрополитена колонного типа в зависимости от технологии их строительства и конструктивных элементов несущей конструкции. Вертикальная нагрузка на колонную станцию метрополитена распределяется неравномерно в поперечном и продольном направлениях, достигая наибольших значений в плоскости колонн и боках станции.

* *Протосеня А.Г.* Постановка задач по расчету напряженного состояния около выработок / А.Г.Протосеня, М.О.Лебедев // Межвуз. сб. науч. тр. Устойчивость и крепление горных выработок. СПб, 1999. С.115.