УДК 624.1

Д.Н.ПЕТРОВ, *канд. техн. наук, ассистент, bubon1980@rambler.ru*
П.А.ДЕМЕНКОВ, *канд. техн. наук, доцент, dem-petr@yandex.ru*
Д.А.ПОТЕМКИН, *канд. техн. наук, доцент, potyomkin@list.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

D.N.PETROV, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, bubon1980@rambler.ru*
P.A.DEMENKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, dem-petr@yandex.ru*
D.A.POTYOMKIN, *PhD in eng. sc., associate professor, potyomkin@list.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ОБДЕЛКЕ КОЛОННЫХ СТАНЦИЙ БЕЗ БОКОВЫХ ПЛАТФОРМ

Рассмотрены проблемы, связанные с геомеханическим прогнозом напряженно-деформированного состояния станций глубокого заложения. Показан комплексный подход изучения статической работы станций, включающий натурные исследования на различных этапах их строительства и численное моделирование методом конечных элементов.

***Ключевые слова*:** напряженно-деформированное состояние, обделка, станции метрополитена, тоннели, метод конечных элементов.

NUMERICAL MODELLING OF THE LINING STRESS STATE OF COLUMN STATIONS WITHOUT LATERAL PLATFORMS

Geomechanical forecast of stress-strain state of deep underground subway station is considered. Static work of structures of subway station based on complex approach is shown, including in situ testing and numerical modelling (finite elements method) during different stages of construction.

***Key words*:** stress-strain state, lining, metro station, tunnels, finite elements method.

Колонные станции без боковых посадочных платформ метрополитена глубокого заложения являются одними из самых дешевых при строительстве. Им присущи: высокие темпы строительства, хорошая механизация работ, максимальное использование поперечного сечения станции (минимальный объем выемки грунта), отсутствие отделочных работ в боковых тоннелях и защита от падения людей на рельсовый путь. Дальнейшее совершенствование колонных станций закрытого типа может позволить им стать самыми передовыми, поэтому исследование работы основных несущих конструкций является очень актуальной задачей.

Обделки среднего и боковых тоннелей обычно выполняют из железобетонных тюбингов. Средний тоннель имеет верхний и нижний свод с различными радиусами, боковой – кольцевого очертания с диаметром 5,5/5 м. В местах пересечения обделки опираются на продольные стенки, собираемые из чугунных тюбингов. В стенках имеются проемы, число и расположение которых обусловлено расстоянием между дверями в вагонах и количеством вагонов в поезде.

Расчет колонной станции без боковых платформ метрополитена глубокого заложения выполнялся с помощью метода конечных элементов (рис.1).

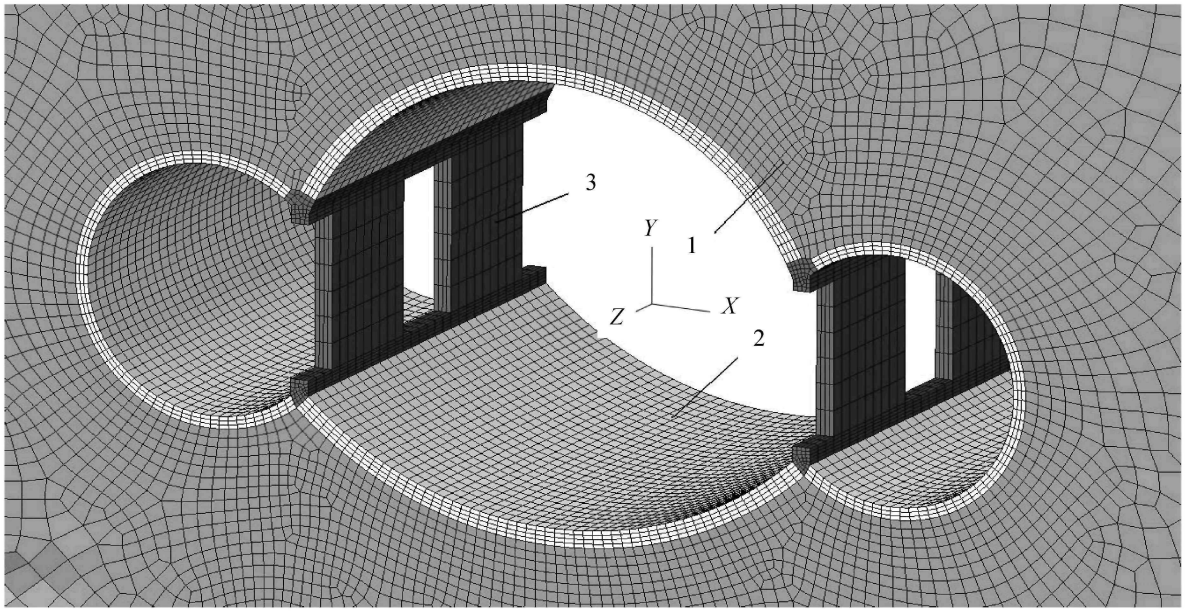


Рис.1. Фрагмент разбивки расчетной модели на конечные элементы
1 – массив пород; 2 – железобетонная обделка; 3 – продольные стенки из чугунных тюбингов

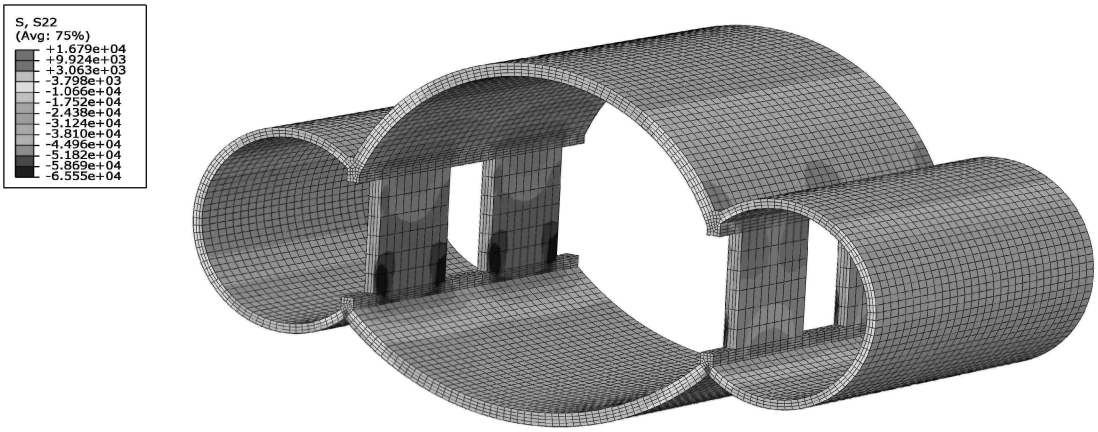


Рис.2. Распределение вертикальных напряжений в обделке станции

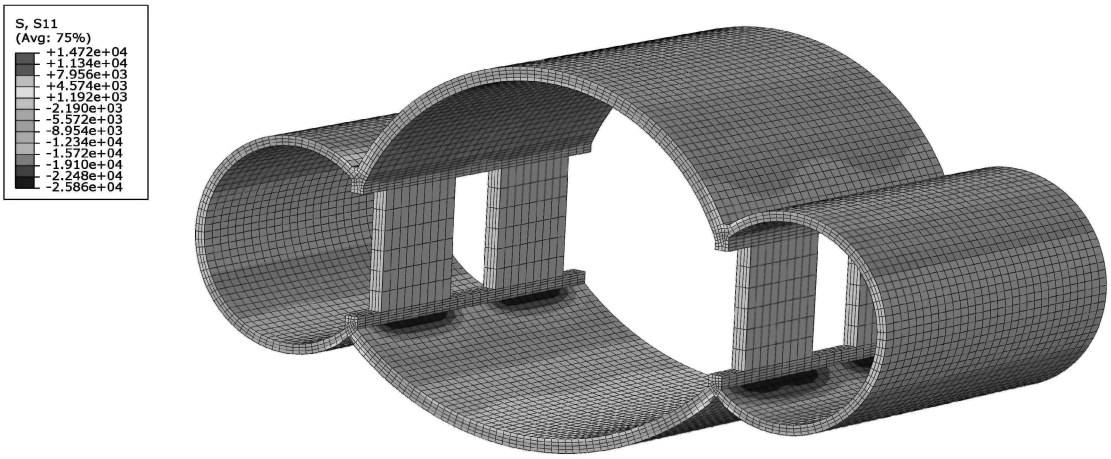


Рис.3. Распределение горизонтальных напряжений в обделке станции

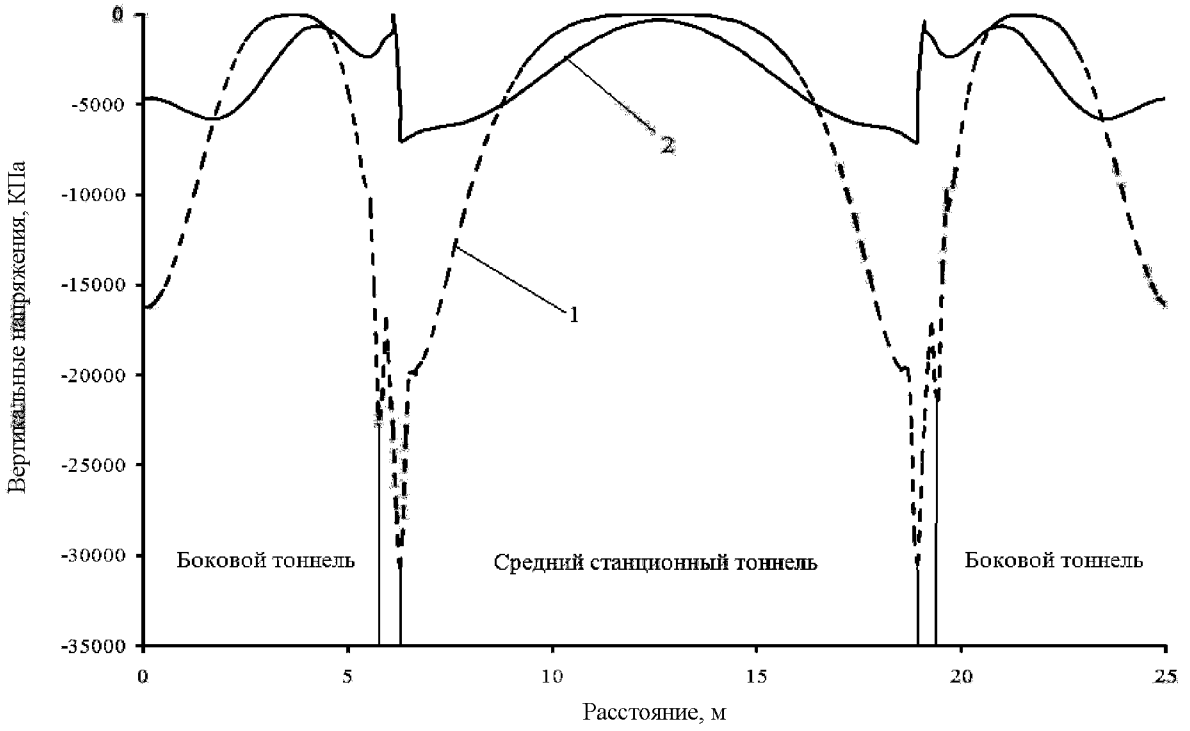


Рис.4. Распределение вертикальных напряжений в разрезе посередине продольных стенок
1 – по внутренней стороне обделки; 2 – по внешней стороне

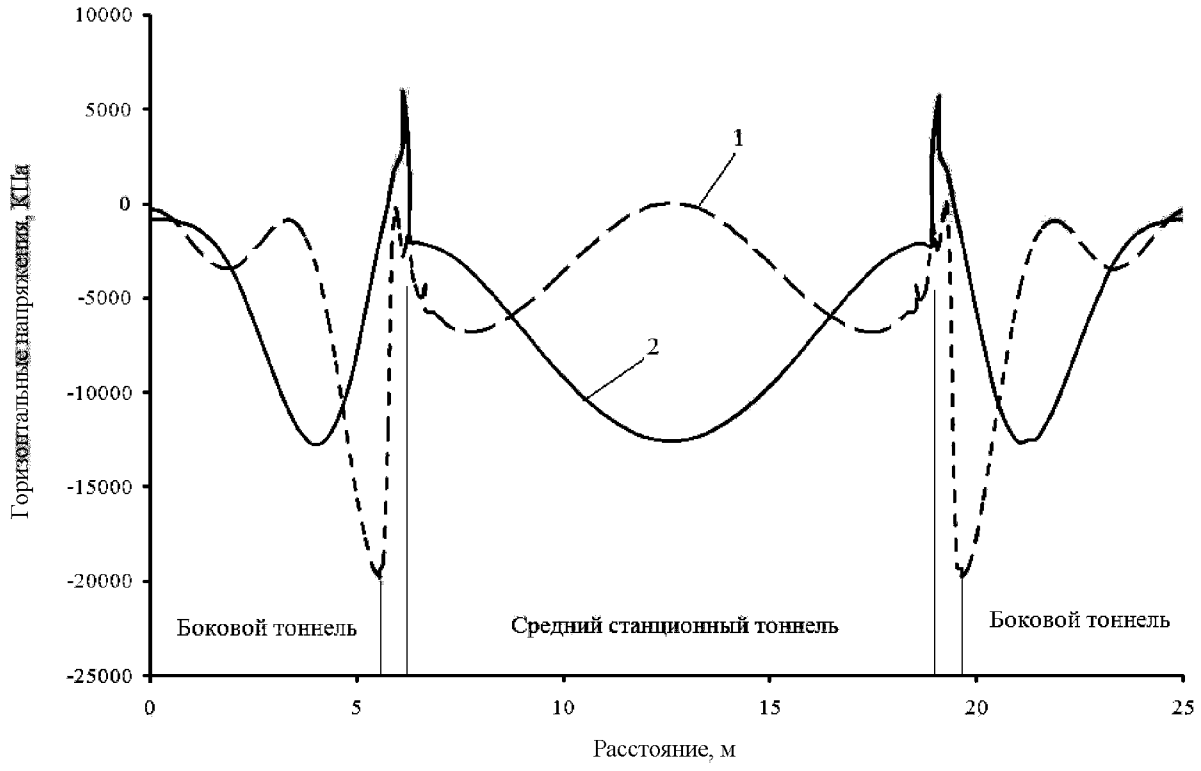


Рис.5. Распределение горизонтальных напряжений в разрезе посередине продольных стенок
1 – по внутренней стороне обделки; 2 – по внешней стороне

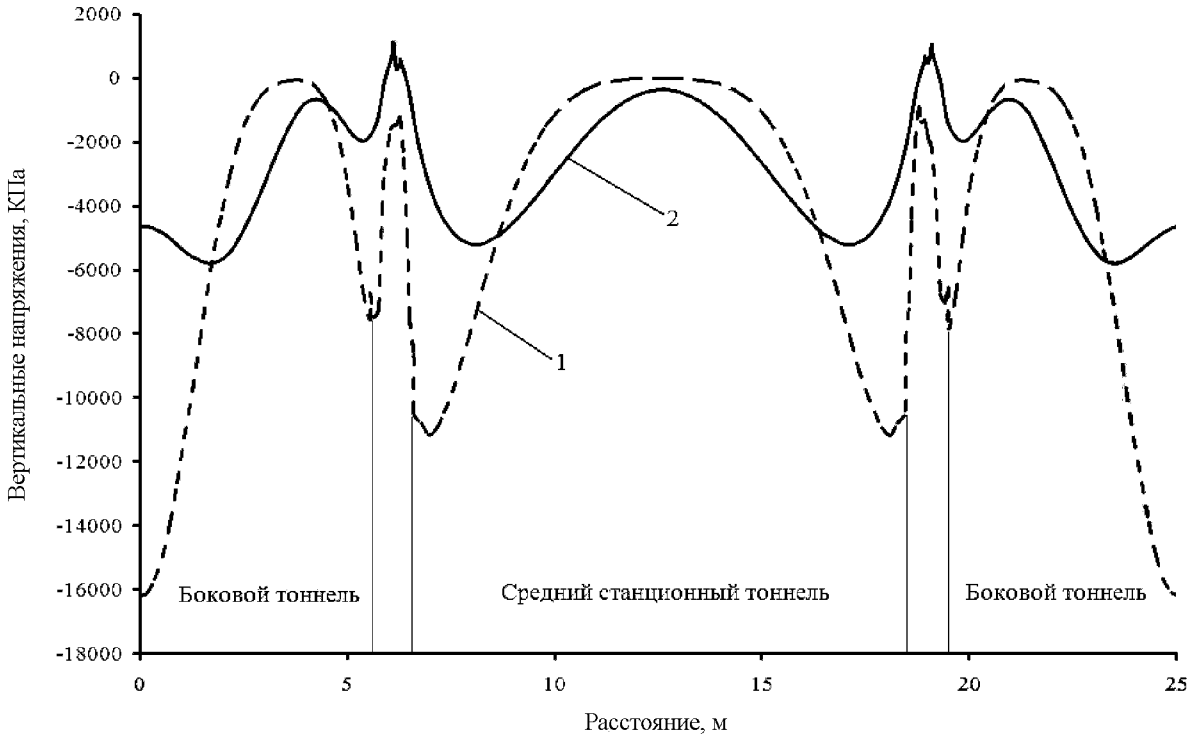


Рис.6. Распределение вертикальных напряжений в разрезе посередине проема
1 – по внутренней стороне обделки; 2 – по внешней стороне

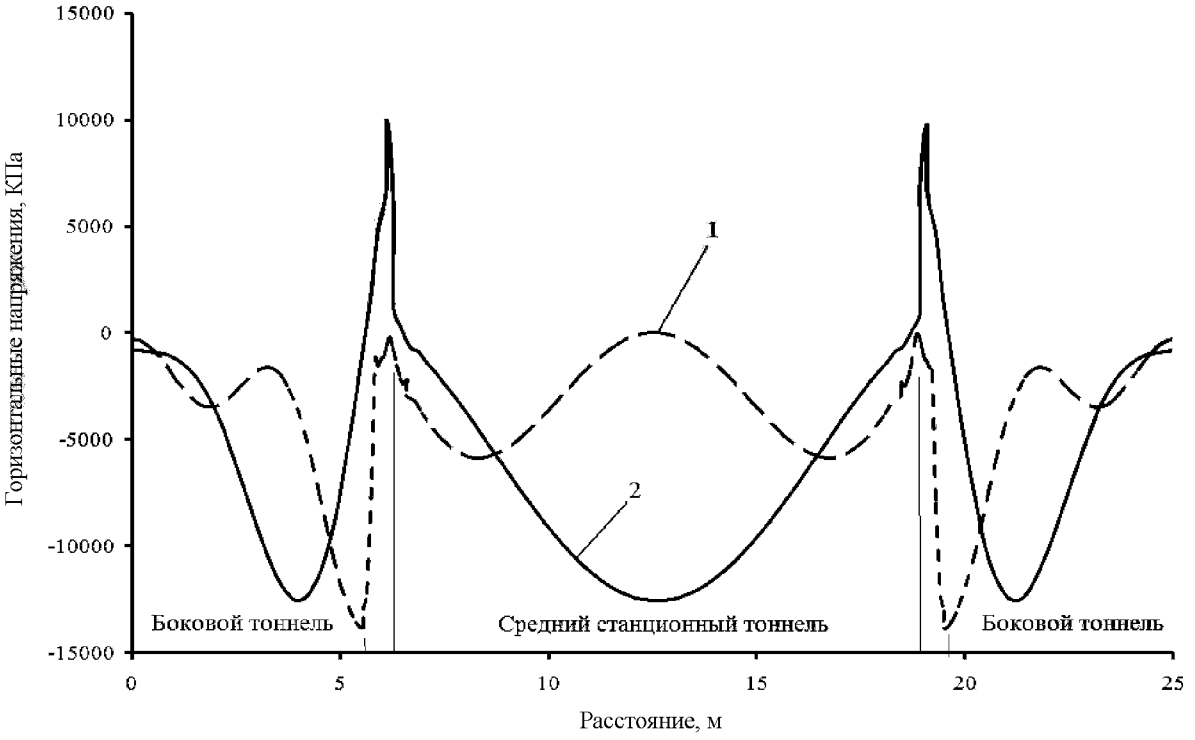


Рис.7. Распределение горизонтальных напряжений в разрезе посередине проема
1 – по внутренней стороне обделки; 2 – по внешней стороне

Естественное напряженное состояние массива задавалось собственным весом пород. Размеры расчетной модели выбирались из условия минимального влияния граничных условий на распределение НДС вокруг станции и составили 100 × 100 × 9,22 м (высота × ширина × длина). По длине рассматривалось два пролета проемов в продольной стенке. Глубина заложения станции 50 м.

Результаты моделирования показаны на рис.2-7. Концентрация вертикальных сжимающих напряжений происходит в нижней части чугунных стенок, здесь их величина достигает 65,5 МПа. Максимальные растягивающие напряжения наблюдаются в местах стыка обделок тоннелей с внешней стороны и равны 17 МПа. Образование этих зон объясняется более высоким, по сравнению с бетоном, модулем деформации чугуна, вследствие чего практически вся нагрузка передается на продольную стенку. Зона повышенных горизонтальных напряжений образуется в месте стыка обделки боковых тоннелей с продольной стенкой. В пролете стен они доходят до 26 МПа, в проеме уменьшаются.

На рис.4-5 показано распределение вертикальных и горизонтальных напряжений по внешней и внутренней стороне обделки в разрезе по центру пролета продольных стен. На внешней стороне обделки в боку боковых тоннелей напряжения равны 5 МПа (рис.4). Далее они незначительно увеличиваются, но в кровельной части уменьшаются до нулевых. В местах чугунных вставок происходит резкий скачок напряжений до 7 МПа и затем плавное уменьшение до нулевых в шелыге свода. По внутренней стороне распределение напряжений имеет сходный характер, с той лишь разницей, что скачок напряжений в местах чугунных вставок достигает 30 МПа, а боках боковых тоннелей – 15 МПа. Ярко выраженных зон растягивающих напряжений не наблюдается. Распределение горизонтальных напряжений качественно отличается в обделке станционного тоннеля. В своде по внутренней стороне разгрузка и напряжения минимальны, тогда как по внешней они достигают 10 МПа. В боковых тоннелях концентрация напряжений наблюдается в кровельной части с уменьшением до нулевых к бокам. В области чугунных вставок происходят резкие перепады от сжимающих напряжений к растягивающим, величина последних составляет 5 МПа.

На рис.4-7 показано распределение вертикальных и горизонтальных напряжений по внешней и внутренней стороне обделки в разрезе посередине проема. Вертикальные напряжения качественно распределяются аналогично. Количественно они превосходят описанные на 10-15 %. В чугунных вставках образуются незначительные зоны растягивающих напряжений. Для горизонтальных напряжений характерен резкий перепад от сжимающих к растягивающим в области сопряжения обделок бокового и станционного тоннеля. Величина скачка достигает 22-25 МПа на внешней стороне обделки и 12 МПа на внутренней.

Выводы:

• наиболее напряженными элементами в конструкции станции являются чугунные вставки в месте стыка обделок боковых и станционного тоннелей; в этих элементах происходит концентрация как сжимающих, так и растягивающих напряжений до 30 и 10 МПа, соответственно;

• в железобетонной обделке боковых и станционного тоннелей уровень напряжений менее значителен, максимальная величина составляет 16 МПа по внутренней стороне в разрезе посередине проема; ярко выраженных зон растягивающих напряжений не отмечается;

• при принятых деформационных характеристиках вмещающего массива наблюдается вдавливание обделки боковых тоннелей в породу; в станционном и боковых тоннелях максимальные вертикальные деформации происходят в обратном своде и превосходят смещения в кровельной части на 5-10 %.