

Petr DEMENKOV, Dmitry PETROV

Mining and Underground Structures Construction Department SPSMI (TU), Petersburg

Marek JENDRYŚ

Politechnika Śląska, Gliwice

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ КОЛОННОЙ СТАНЦИИ ЗАКРЫТОГО ТИПА С УЧЕТОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЕЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. В статье рассмотрена типовая колонная станция без боковых платформ метрополитена глубокого заложения. Станция является сложным объектом с точки зрения геометрии и технологии ее сооружения. Основной задачей, решаемой в данной работе, было выявление изменения напряженно-деформированного состояния в обделке станции с учетом стадийности строительства станции. Моделирование выполнялось методом конечных элементов.

MODELOWANIE NUMERYCZNE STANÓW NAPRĘŻENIOWO-ODKSZTAŁCENIOWYCH W OBUDOWIE STACJI METRA TYPU KOLUMNOWEGO, Z UWZGLĘDNIENIEM ETAPÓW JEJ BUDOWY

Streszczenie. Przedmiotem artykułu jest konstrukcja obudowy stacji metra typu kolumnowego bez platform bocznych. W aspekcie konstrukcyjnym i geometrycznym jest to obiekt wysoce złożony, do analizy którego wykorzystane zostało modelowanie numeryczne za pomocą metody elementów skończonych. Głównym celem niniejszej pracy było określenie stanu naprężeniowo-odkształceniowego w obudowie stacji metra w kolejnych etapach jej budowy.

Колонная станция без боковых посадочных платформ метрополитена глубокого заложения представляет собой трехсводчатую конструкцию с железобетонной обделкой, опирающейся на колонны (стены), выполненные из чугуна.

Конструктивные параметры станции (диаметры боковых станционных тоннелей, радиусы верхнего и нижнего сводов среднего станционного тоннеля, толщина обделки) приведены на рисунке 1.

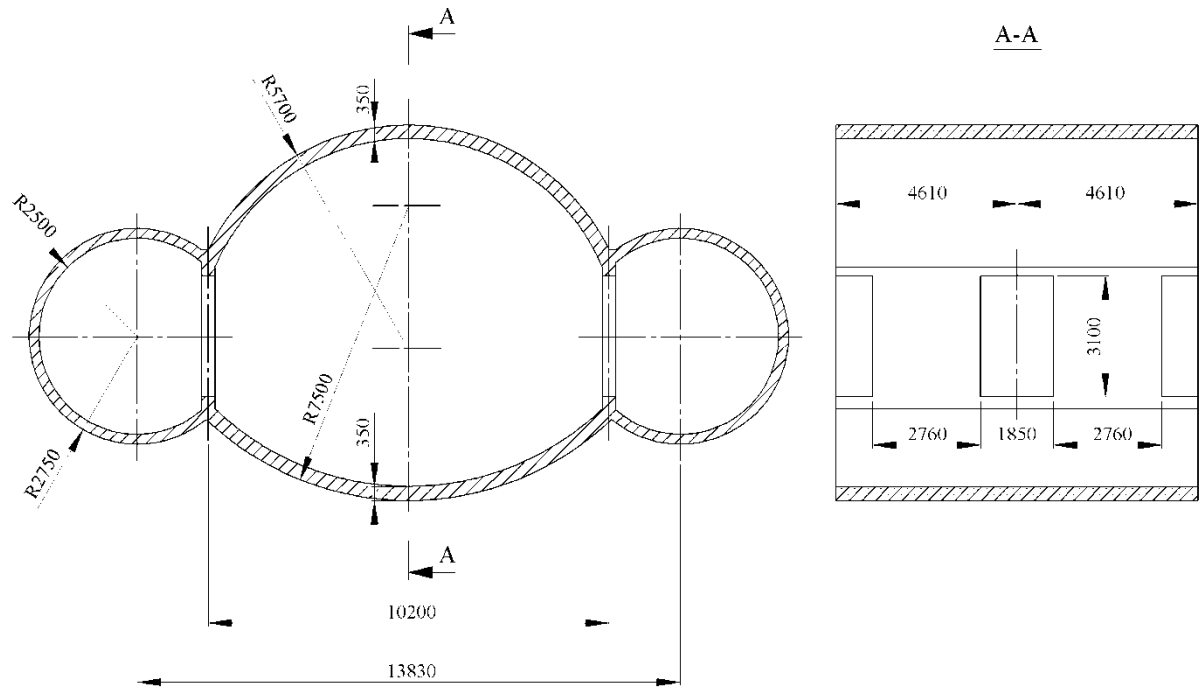


Рис. 1. Поперечный и продольный разрез колонной станции
 Rys. 1. Podłużny i poprzeczny przekrój przez stację metra typu kolumnowego

Ввиду большой протяженности станции и повторения однотипных участков, был рассмотрен фрагмент станции протяженностью 9,22 м или 2 пролета колонно-прогонного комплекса станции (рисунок 2). Это позволило снизить количество конечных элементов до 100 000 и сократить число шагов расчета [1].

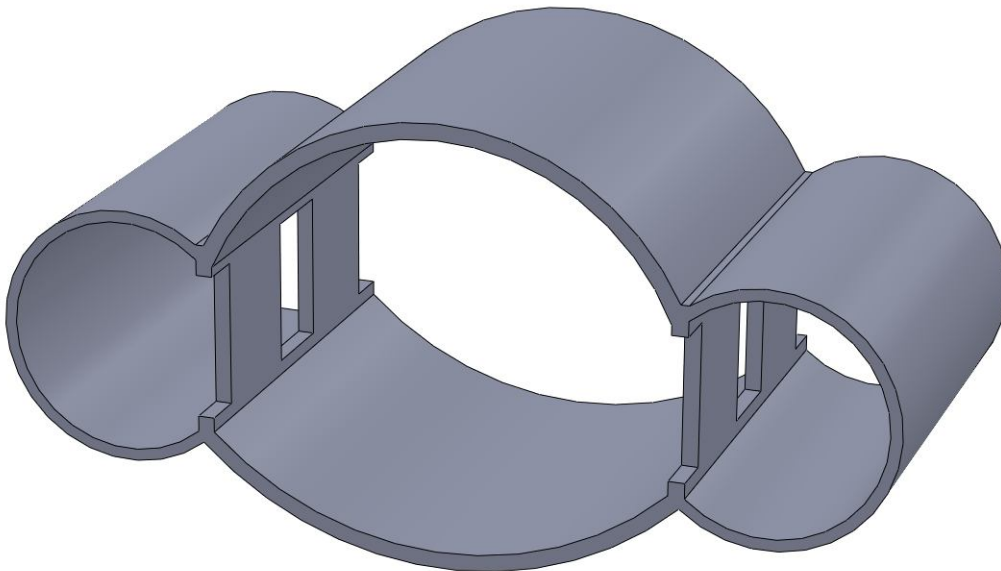


Рис. 2. Трехмерное представление численной модели станции
 Rys. 2. Model strukturalny analizowanej stacji metra

Последовательность выемки грунта из сечения тоннелей и возведения несущих конструкций станций моделировалась следующим образом:

- ✓ этап 1 – выемка грунта из сечения левого бокового станционного тоннеля и возведение железобетонной тубинговой обделки, возведение обделки осуществлялось с отставанием от забоя, равным ширине тубингового кольца (шаги расчета №1-30);
- ✓ этап 2 – устройство колонно-прогонного комплекса в левом боковом станционном тоннеле, производилось одновременно на всю протяженность расчетной модели станции (шаг расчета №31);
- ✓ этап 3 – выемка грунта из сечения правого бокового станционного тоннеля и возведение железобетонной тубинговой обделки, возведение обделки осуществлялось с отставанием от забоя, равным ширине тубингового кольца (шаги расчета №32-62);
- ✓ этап 4 – устройство колонно-прогонного комплекса в правом боковом станционном тоннеле, производилось одновременно на всю протяженность расчетной модели станции (шаг №63);
- ✓ этап 5 – разработка грунта в сводовой части среднего тоннеля с возведением обделки, отставание от забоя определялось шириной тубингов (шаги расчета №64-94);
- ✓ этап 6 – разработка грунта в лотковой части среднего станционного тоннеля с возведением обделки, отставание от забоя определялось шириной тубингов (шаги расчета №95-125);
- ✓ этап 7 – демонтаж элементов временной обделки левого бокового станционного тоннеля, производился одновременно по всей длине расчетной модели станции (шаг расчета №126);
- ✓ этап 8 – демонтаж элементов временной обделки правого бокового станционного тоннеля, производился одновременно по всей длине расчетной модели станции (шаг расчета №127).

Характер изменения напряжений сохраняется на всех этапах строительства станции. В боках происходит концентрация напряжений, в кровле – разгрузка. Наибольший скачок напряжений в обделке (20-30%) наблюдается после проходки верхнего свода среднего тоннеля. Причем, если в боках и кровле напряжения увеличиваются, то в почве, наоборот, происходит не большое их уменьшение. Ярко выраженного отличия между распределением напряжений в сечении с дверным проемом и колонным

комплексом нет. Величина максимальных напряжений в боках составляет 20-30 МПа. Величина напряжений в почве и кровле находится в интервале от 1 до 12 МПа.

Численно, напряжения в верхнем своде превосходят напряжения в нижнем в 1,5-2 раза. Изменение напряжений в верхнем своде носит более интенсивный характер, чем в нижнем, где они на протяжении 2/3 длины обделки варьируются в интервале 10-15%. Данное явление объясняется тем, что при проходке верхней части тоннеля в почве произошло уменьшение естественного поля напряжений за счет возможности свободного деформирования грунта внутрь тоннеля. Как видно, интенсивное деформирование обделки и процесс образования напряженного состояния в ней наблюдается только в шагах расчета, моделирующих непосредственную проходку этапа строительства тоннеля. Например, при строительстве верхнего свода, реализуются до 90% вертикальных смещений контура обделки от общих, а по напряжениям данный показатель достигает 95-98% (рисунок 3).

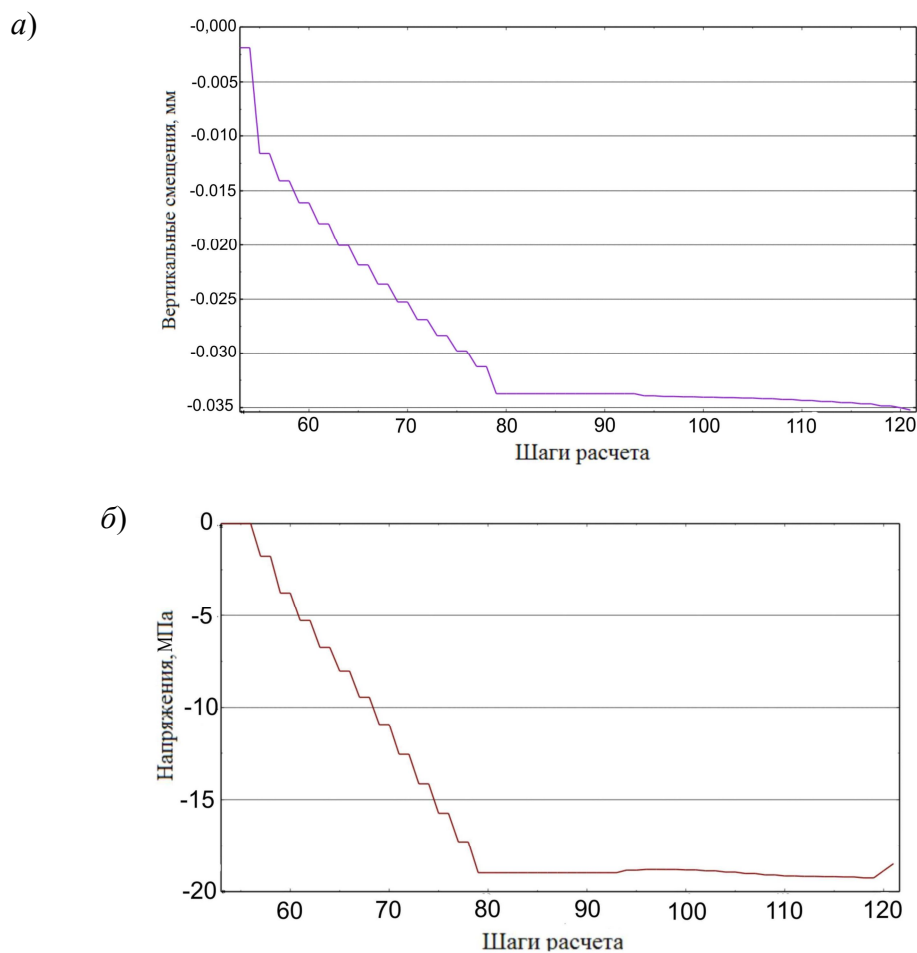


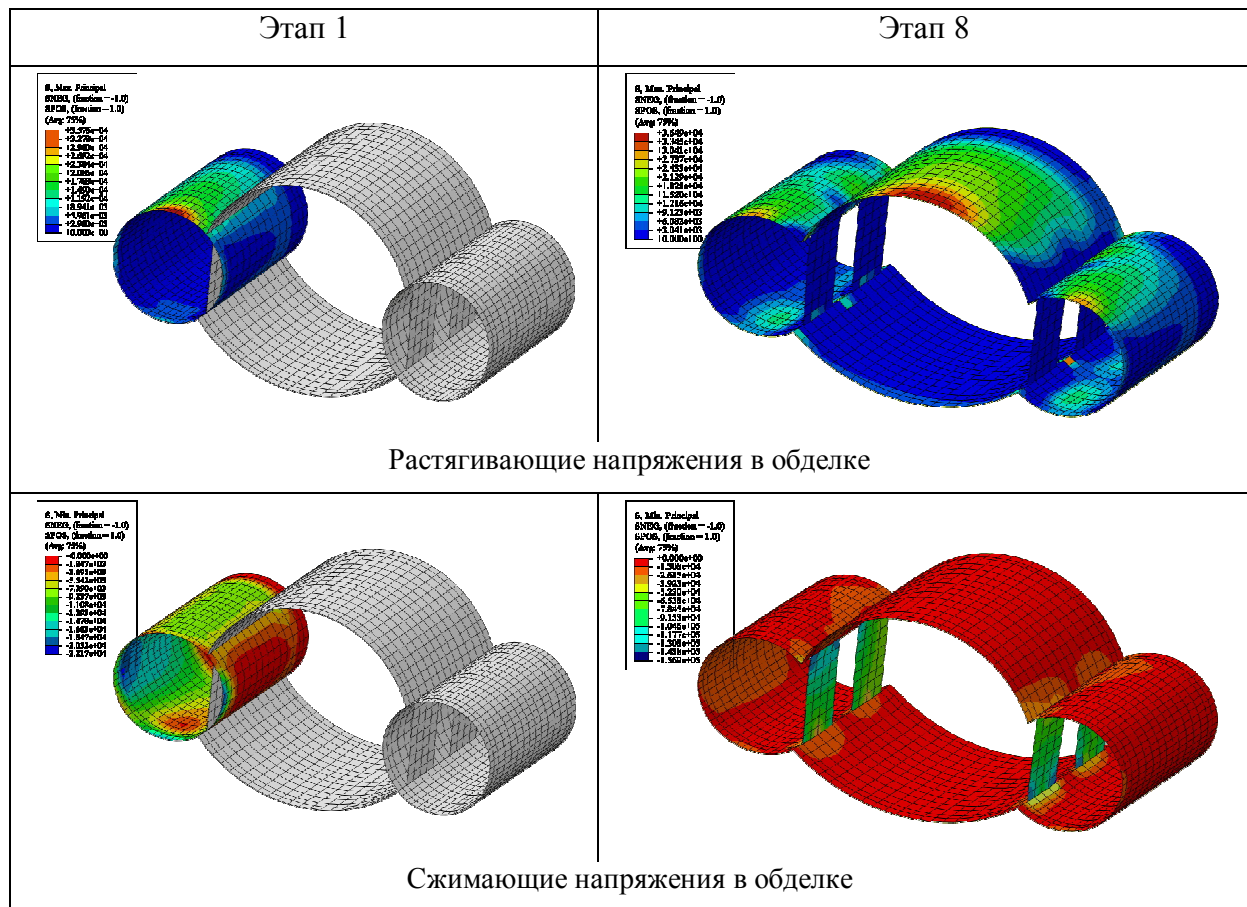
Рис. 3. Динамика изменения смещения обделки (а) верхнего свода среднего стационарного тоннеля и напряжений в ней (б) по мере строительства станции

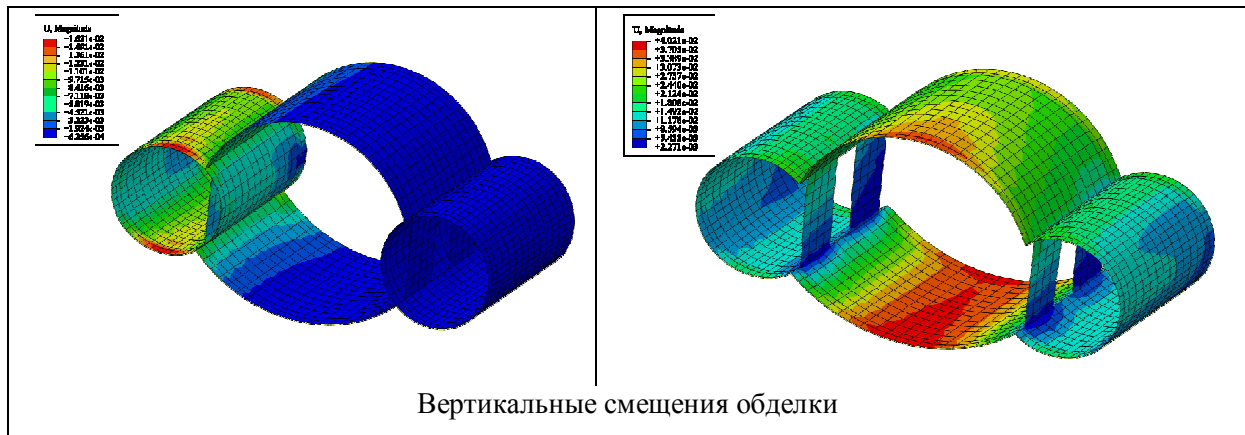
Rys. 3. Dynamika przemieszczeń obudowy części stropowej środkowego tunelu (a) i przyrost naprężeń (b) w trakcie budowy stacji

После проведения первого тоннеля, когда влияние от соседних тоннелей отсутствует, распределение напряжений и деформаций в обделке тоннеля аналогичны распределению данных величин для одиночного тоннеля (таблица 1). Проходка второго бокового тоннеля мало сказывается на изменении напряженно-деформированного состояния в обделке как правого, так и левого тоннеля, что говорит о том, что размер грунтового целика (ширина среднего тоннеля), расположенного между тоннелями, позволяет исключить взаимное влияние тоннелей.

Таблица 1

Эпюры формирования главных растягивающих и сжимающих напряжений по наружной и внутренней поверхностям обделки, а также ее вертикальные смещения на этапах 1 и 8 строительства станции





При раскрытии верхней части среднего станционного тоннеля в местах сопряжения обделок образуются зоны повышенных напряжений, области концентрации напряжений в боковых тоннелях смещаются в сторону среднего тоннеля. Нагрузка со стороны обделки среднего тоннеля, в основном, передается на элементы колонно-прогонного комплекса [2]. Изменение напряжений в обделке боковых тоннелей со стороны среднего малозначительны. Это объясняется большей “жесткостью”, т.е. меньшей деформативностью, материала колонно-прогонного комплекса (модуль упругости чугуна 10^5 МПа) по сравнению с материалом обделки (модуль упругости бетона $3 \cdot 10^4$ МПа). Максимальные величины растягивающих и сжимающих напряжений наблюдаются в элементах колонно-прогонного комплекса в местах опирания на него обделок и составляют 67 и 106 МПа соответственно.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- влияние проходки боковых тоннелей друг на друга не значительно, очередность и скорость их проходки не оказывает серьезного воздействия на формирование напряженно-деформированного состояния станции;
- напряжения в обратном своде значительно ниже, чем в верхнем, что подтверждается натурными исследованиями. Такие результаты можно получить, только учитывая стадийность строительства станции. Расчет на вес горных пород без учета технологических особенностей сооружения станции дает неверные, противоположные результаты;
- необходимо применение шарниров в местах опирания сводов на колонно-прогонный комплекс. Это позволит значительно снизить в обделке горизонтальную составляющую напряжений и их максимальные значения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деменков П.А. Статическая работа основных несущих элементов колонной станции без боковых посадочных платформ глубокого заложения. Труды 7-й межрегиональной научно-практической конференции. «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». Воркута, 2009.
2. Деменков П.А. Анализ процесса формирования нагрузок на обделку колонной станции закрытого типа глубокого заложения. Труды 7-й межрегиональной научно-практической конференции. «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». Воркута, 2009.

Recenzent: Dr hab. inż. Piotr Czaja, prof. nzw. AGH

Omówienie

Przedmiotem artykułu jest konstrukcja obudowy stacji metra typu kolumnowego bez platform bocznych. W aspekcie konstrukcyjnym i geometrycznym jest to obiekt wysoce złożony, do analizy którego wykorzystane zostało modelowanie numeryczne za pomocą metody elementów skończonych. Głównym celem niniejszej pracy było określenie stanu naprężeniowo-odkształceniowego w obudowie stacji metra w kolejnych etapach jej budowy.

Uzyskane wyniki modelowania numerycznego pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- ✓ wzajemne oddziaływanie bocznych tuneli jest nieznaczące, a kolejność i tempo ich wykonywania nie ma dużego wpływu na stan naprężeniowo-odkształceniowy w obudowie stacji,
- ✓ naprężenia w części spągowej obudowy posiadają wartości niższe niż w części stropowej, co jest zgodne z obserwacjami in situ. Na poprawne określenie wielkość i rozkład naprężeń w modelowanej obudowie w dużej mierze ma wpływ zastosowana metoda modelowania z uwzględnieniem etapów jej budowy,
- ✓ konstrukcja obudowy wymaga zastosowania przegubów w miejscu połączenia kolumn z obudową, co pozwoli na obniżenie naprężeń poziomych w całym obiekcie.