

Peter A. DEMENKOV¹⁾, Maxim A. KARASEV¹⁾, Marek JENDRYŚ²⁾

¹⁾Mining and Underground Structures Construction Department SPSMI (TU), Petersburg

²⁾Silesian University of Technology, Gliwice

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА, СОВМЕЩЕННОГО СО СТАНЦИЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

Аннотация. В работе рассматривается геомеханическая задача взаимодействия подземного сооружения (многофункциональный подземный комплекс) с окружающим его грунтовым массивом и станцией метрополитена. Выполнен численный анализ работы системы «крепь-массив» методом конечных элементов. Моделирование выполнялось с учетом стадийности строительства в объемной постановке задачи.

OCENA STANÓW NAPRĘŻENIOWO-ODKSZTAŁCENIOWYCH W OBUDOWIE WIELOFUNKCYJNEGO KOMPLEKSU PODZIEMNEGO POŁĄCZONEGO ZE STACJĄ METRA

Streszczenie. W artykule, za pomocą modelowania numerycznego, przeanalizowano stan naprężeniowo-odkształceniowy w obudowie wielofunkcyjnego kompleksu podziemnego, zlokalizowanego w pobliżu stacji metra. Modelowanie numeryczne przeprowadzone zostało za pomocą metody elementów skończonych, z uwzględnieniem etapów budowy analizowanych budowli podziemnych, co umożliwiło symulację procesów zachodzących w układzie obudowa-górotwór.

В центральной части крупных городов возникают серьезные проблемы с поиском свободного пространства для размещения автомобильных парковок, торговых центров, станций и пересадочных узлов метрополитена. В связи с этим становится актуальным комплексное решение этой проблемы путем активного использования подземного пространства – строительства многофункциональных подземных комплексов [1].

Многофункциональный подземный комплекс с конструктивной точки зрения представляет собой опускной колодец большого диаметра, совмещенный с существующей линией метрополитена. Рассмотрено два варианта объемно-планировочных решения подземного многофункционального комплекса: первый вариант представляет собой совмещение ствола опускного колодца с перегонными

тоннелями метрополитена; второй вариант включает в себя совместную работу станции метрополитена и опускного колодца.

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния несущих элементов подземных многофункциональных комплексов, разработаны численные модели, на основе метода конечных элементов.

Ниже представлены две разработанных конечно-элементных модели. Первая модель позволяет описать совместную работу оболочки опускного колодца совмещенной с перегонными тоннелями метрополитена (рис. 1). Вторая модель описывает совместную работу станции метрополитена и оболочки опускного колодца (рис. 2). Расчетные модели состоят из трех типов конечных элементов. Оболочка опускного колодца представлена восьмиузловыми объемными элементами с несовместной формулировкой конечного элемента. Для описания грунтового массива выбраны восьми узловые объемные элементы с упрощенной формулировкой конечного элемента. Обделка перегонного тоннеля и станции метрополитена моделировалась четырех узловыми элементами оболочками. Применение несовместных элементов обосновано тем, что они очень хорошо работают в искаженных элементах и дают возможность учитывать изменения напряжений по длине и ширине элемента, а также изгибающие моменты [2].

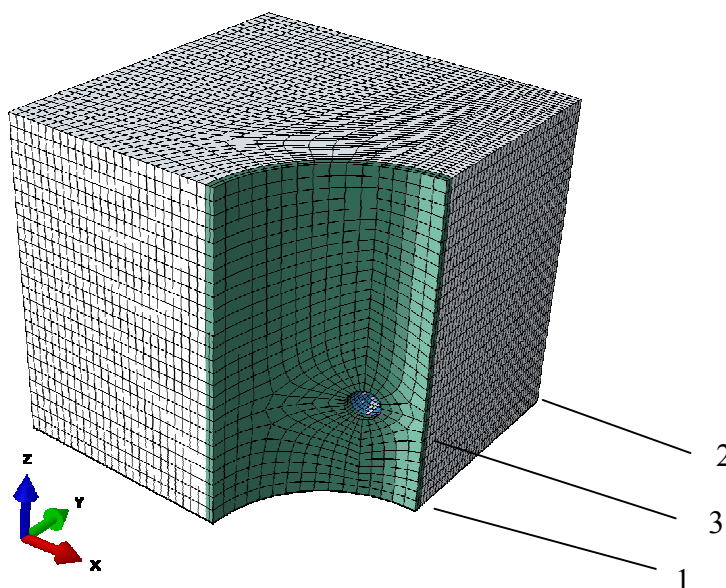


Рис. 1. Фрагмент конечно-элементной модели подземного многофункционального комплекса (оболочка опускного колодца совмещена с перегонным тоннелем метрополитена): 1 – оболочка опускного колодца; 2 – грунтовый массив; 3 – обделка перегонного тоннеля метрополитена

Rys. 1. Fragment modelu numerycznego (połączenie obudowy projektowanego kompleksu z tunelem metra): 1 – opuszczana obudowa kompleksu podziemnego, 2 – górotwór, 3 – obudowa tunelu metra

Моделирование производилось в три этапа: на первом этапе моделировалось возведение опускной крепи с передачей нагрузки на нее от окружающего массива; второй этап включал разработку грунта по проектным границам станции метрополитена, с установкой постоянной обделки; третий этап заключался в разработке проема в оболочке опускного колодца.

Для оценки изменения напряжений в оболочке опускного колодца в окрестности проема по мере строительства подземного многофункционального комплекса, были выбраны 5 точек на внешнем и внутреннем контуре проема (рис. 3). Несмотря на то, что лишь на третьем этапе строительства осуществляется разработка проема в оболочке опускного колодца, на первом и втором этапах, замеры производились в этих же точках.

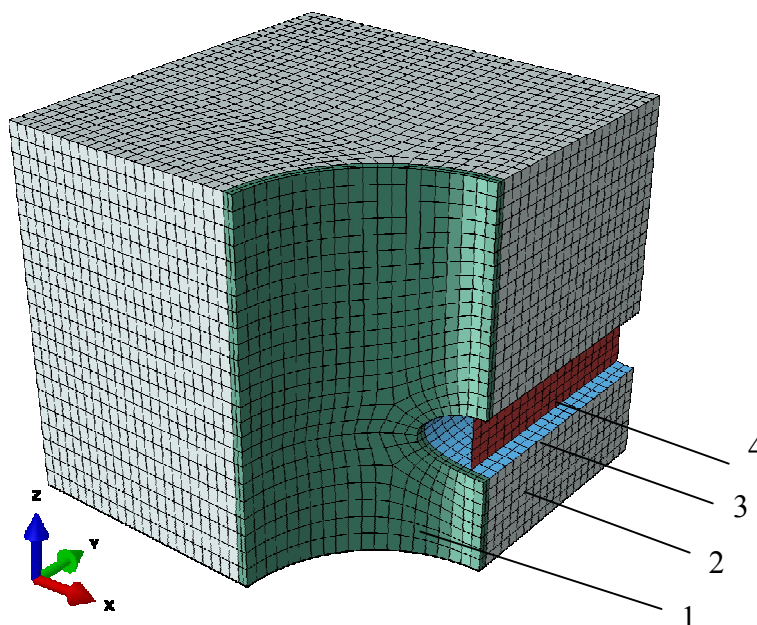


Рис. 2. Фрагмент конечно-элементной модели подземного многофункционального комплекса (оболочка опускного колодца совмещена со станцией метрополитена): 1 – оболочка опускного колодца; 2 – грунтовый массив; 3 – обделка станции метрополитена; 4 – колоно-прогонный комплекс

Rys. 2. Fragment modelu numerycznego (połączenie projektowanego kompleksu z tunelem metra): 1 – opuszczana obudowa kompleksu podziemnego, 2 – górotwór, 3 – obudowa stacji metra, 4 – kompleks kolumn i dźwigarów

После передачи нагрузки от грунтового массива на оболочку опускного колодца, в ней возникли сжимающие напряжения. Сжимающие напряжения, действующие на внутренней поверхности оболочки опускного колодца, практически не изменились после строительства станции метрополитена. Увеличение наблюдалось только в боках проема (рис. 4). Раскрытие самого проема, в значительной степени изменило картину

напряженного состояния оболочки опускного колодца. На отдельных участках сжимающие напряжения увеличились вдвое.

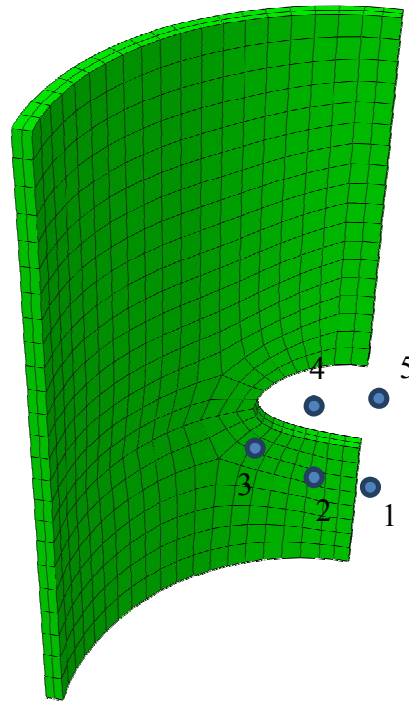


Рис. 3. Конечно-элементная модель оболочки опускного колодца с проемом в стене: 1, 2, 3, 4, 5 – точки, в которых производился замер напряжений

Rys. 3. Model obudowy projektowanego kompleksu z wlotem do stacji metra: 1, 2, 3, 4, 5 – lokalizacja elementów, w których rejestrowano zmiany naprężeń

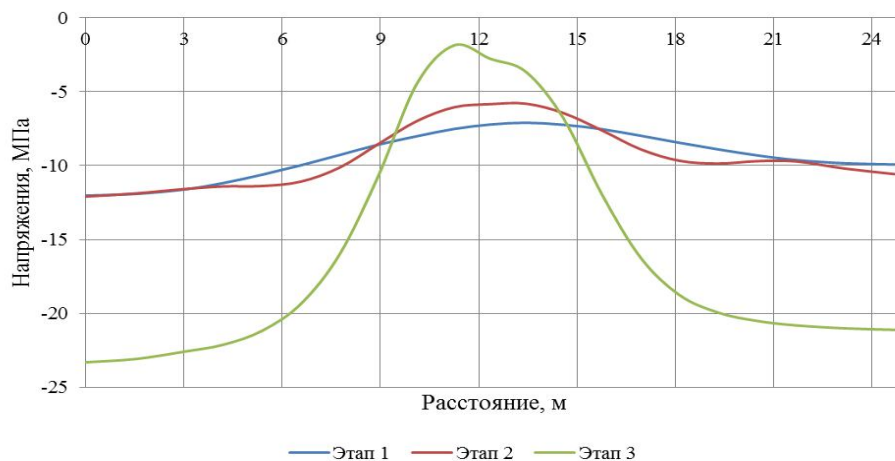


Рис. 4. Изменение главных сжимающих напряжений по длине проема на внутреннем контуре оболочки колодца на разных этапах строительства многофункционального подземного комплекса: начало координат соответствует точке 1 (рис. 3)

Rys. 4. Zmiana najmniejszych naprężeń głównych (naprężeń ściskających) na wewnętrznym obwodzie obudowy w rejonie połączenia kompleksu podziemnego i stacji metra. W różnych etapach budowy kompleksu

Схожая картина наблюдается и на внешнем контуре оболочки опускного колодца (рис. 5). После строительства станции метрополитена, напряжения в оболочке

практически не изменились, в то время как разработка проема привела к значительному росту главных сжимающих напряжений по всему контуру проема. Необходимо отметить, что после завершения строительства подземного многофункционального комплекса, напряжения на внешнем контуре все еще превышают напряжения, сформировавшиеся на внутреннем контуре оболочки. Это говорит о том, что строительство станции метрополитена и проема в оболочке опускного колодца, не сказалось на характере деформирования оболочки, а преобладающими напряжениями являются сжимающие. Такой характер деформирования оболочки опускного колодца является предпочтительным.

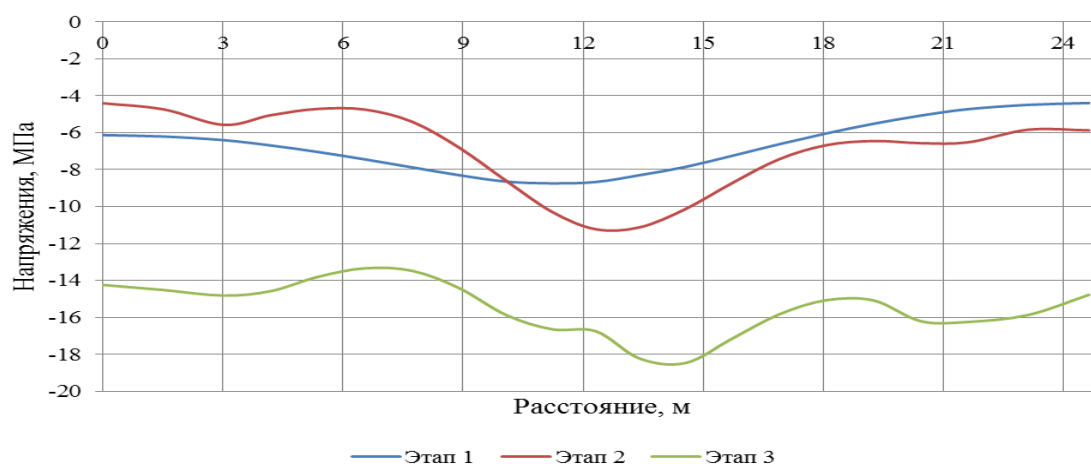


Рис. 5. Изменение главных сжимающих напряжений по длине проема на внешнем контуре оболочки колодца на разных этапах строительства многофункционального подземного комплекса: начало координат соответствует точке 1 (рис. 3)

Rys. 5. Zmiana najmniejszych naprężeń głównych (naprężeń ściskających) na zewnętrznym obwodzie obudowy w rejonie połączenia kompleksu podziemnego i stacji metra. W różnych etapach budowy kompleksu

При раскрытии проема, напряжения на его контуре возрастают в 2 раза. На расстоянии от проема примерно равном его поперечным размерам, увеличение напряжений все еще достаточно значительное. На расстоянии 15 м от контура проема, они возвращаются к фоновым значениям.

Полную картину распределения напряжений на внутреннем (рис. 6) и внешнем (рис. 7) контурах обделки станции метрополитена, как тангенциальных, так и продольных приведены ниже. Колонно-прогонный комплекс не показан.

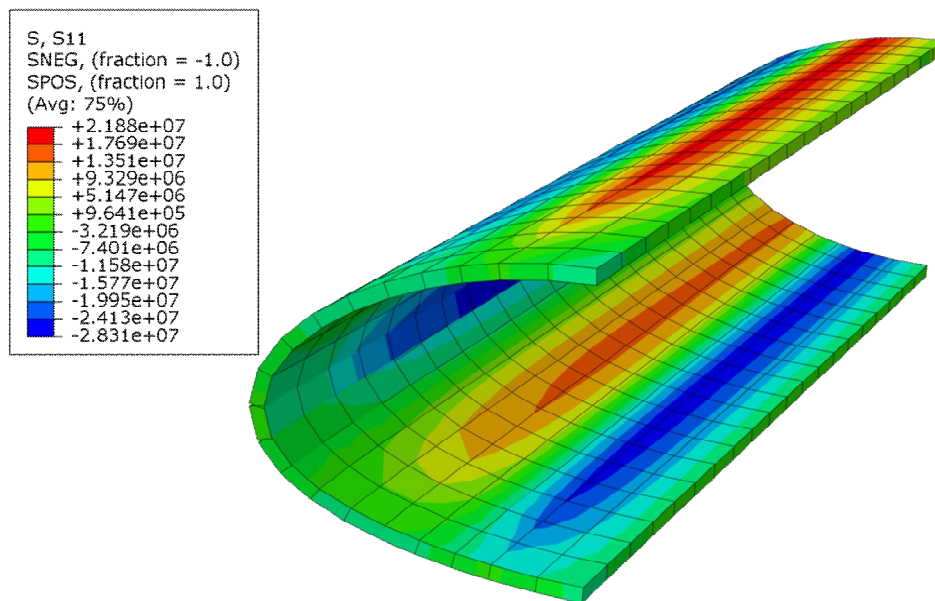


Рис. 6. Распределение тангенциальных напряжений в обделке станции метрополитена
Rys. 6. Rozkład naprężeń stycznych w obudowie stacji metra

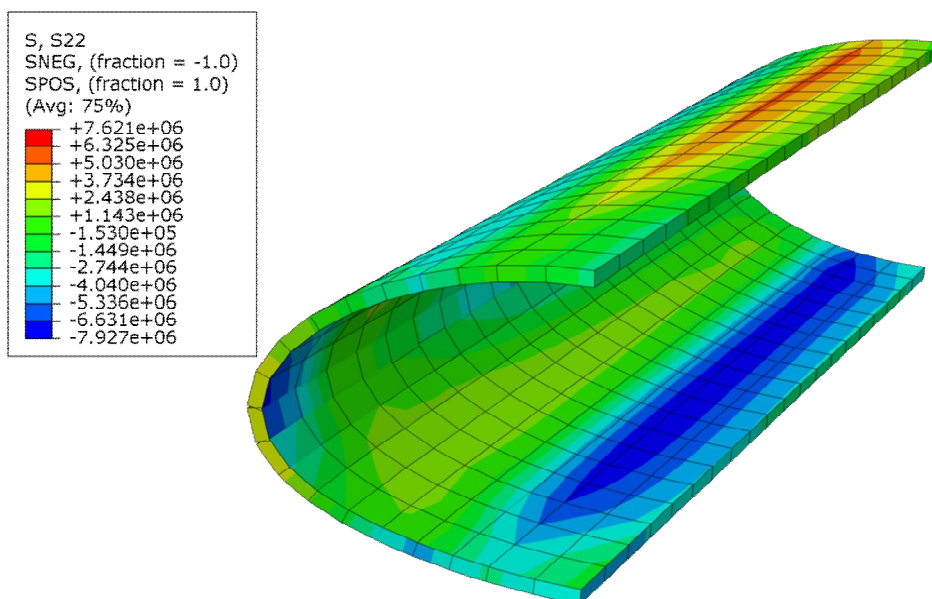


Рис. 7. Распределение продольных напряжений в обделке станции метрополитена
Rys. 7. Rozkład naprężeń normalnych w obudowie stacji metra

Примыкание станции метрополитена к оболочке опускного колодца приводит к снижению напряжений в обделке. Однако, раскрытие проема, ухудшает ее работу, так как напряжения на участке примыкания станции метрополитена к опускному колодцу локально увеличиваются в обделке на 25%, что с учетом общего напряженного состояния обделки не значительно, хотя и должно быть учтено при проектировании.

Зона влияния проема, не велика и при рассматриваемых поперечных размерах станции, примерно сравнима с ними.

Строительство станции оказывает лишь незначительное влияние на напряженное состояние оболочки опускного колодца, увеличение напряжений в оболочке находится в пределах 10%. Наибольшее влияние на напряженное состояние оболочки опускного колодца оказывает разработка проема в ней. В общем, напряжения в ней увеличиваются в 1,5 – 2 раза. На некоторых участках проема наблюдается снижение напряжений. Раскрытие проема, приводит к образованию изгиба на ее контуре, что может негативно сказаться на работе всей конструкции. Но надо отметить, что результаты моделирования не указывают на опасность строительства или эксплуатации такой конструкции.

Работа выполнялась при поддержке министерства образования и науки РФ.

BIBLIOGRAFIA

1. Кулагин Н.И. Пересадочные узлы на линиях метрополитена глубокого заложения. М.: Центр «ТИМР», 2000. 124 с.
2. Деменков П.А. Геомеханическое обоснование новых конструктивных и технологических решений строительства станций метрополитена глубокого заложения. Сборник материалов конференции «Российские технологии и инженерное дело: перспективные проекты». Сантьяго, 2010. 61-67 с.

Recenzent: Prof. dr hab. inż . Wiesław Piwowarski

Omówienie

W artykule przeanalizowano, za pomocą modelowania numerycznego, stan naprężeniowo-odkształceniowy w obudowie wielofunkcyjnego kompleksu podziemnego, zlokalizowanego w pobliżu stacji metra, z uwzględnieniem oddziaływania otaczającego go górotworu. Modelowanie numeryczne przeprowadzone zostało za pomocą metody elementów skończonych, z odwzorowaniem etapów budowy analizowanych budowli podziemnych, co umożliwiło symulację procesów zachodzących w układzie obudowa-górotwór. Wyniki symulacji zaprezentowano w postaci wykresów obrazujących wartości naprężeń w rejonie połączenia pomiędzy obudową projektowanego kompleksu podziemnego a stacją metra oraz w postaci rozkładu naprężeń w obudowie metra.

Jak wykazały wyniki modelowania, budowa stacji metra ma nieznaczny wpływ na stan naprężenia w obudowie podziemnego kompleksu, a wzrost naprężeń nie przekracza 10%. Największy przyrost naprężeń następuje po wykonaniu wyłomu obudowy kompleksu, jednak na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że wykonanie połączenia pomiędzy projektowanym podziemnym kompleksem a stacją i tunelem metra nie będzie stanowiło zagrożenia dla stateczności obudowy całego kompleksu.