

*А.В. Дуванский, аспирант
ГП «Донецкий ПромстройНИИпроект»*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА С ГРУНТОВЫМ МАССИВОМ В ЗОНАХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Рассмотрена актуальная проблематика определения напряжений в грунтовом массиве, образованных тектоническими процессами. На расчетных моделях отражен механизм возникновения тектонических нарушений. Получены модели участков массива с различными видами нарушений и соответствующие им напряженно-деформированные состояния.

Ключевые слова: горный массив, тектонические нарушения, напряженно-деформированное состояние массива, тектонические напряжения.

*О.В. Дуванський, аспірант
ДП «Донецький ПромбудНДІпроект»*

ВЗАЄМОДІЯ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРЕГІННИХ ТУНЕЛІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ З ГРУНТОВИМ МАСИВОМ У ЗОНАХ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

Розглянуто актуальну проблематику визначення напружень у ґрунтовому масиві, утворених тектонічними процесами. На розрахункових моделях відображено механізм виникнення тектонічних порушень. Отримано моделі ділянок масиву з різними видами порушень і напружено-деформовані стани, що їм відповідають.

Ключові слова: гірський масив, тектонічні порушення, напружено-деформований стан масиву, тектонічні напруги.

*A.V. Duvansky, aspirant
DE «DONETSK PROMSTROYNIIPROEKT»*

INTERACTION DESIGN TUNNELS WITH THE SOIL MASS IN THE ZONES OF TECTONIC DISTURBANCES

The actual perspective of determination of tension in the soil massif, formed by tectonic processes is considered. The mechanism of emergence of tectonic violations is reflected in settlement models. Models of sites of the massif with different types of violations and the intense deformed conditions corresponding to them are received.

Keywords: massif, tectonic disturbance, strain-stress distribution of the massif, tectonic stress.

Введение. Современное развитие коммунального и промышленного строительства приводит к возникновению новых архитектурно-планировочных проблем, связанных с интенсивным освоением подземного пространства, включающим как поддержание существующих, так и строительство новых тоннелей различного назначения, в том числе тоннелей метрополитенов. Необходимость сохранения окружающей среды, зданий и сооружений, а также архитектурных и исторических памятников делают целесообразным устройство тоннелей закрытым способом. Встречающиеся при этом тектонические нарушения массива создают

малоизученные особые воздействия на конструкции прокладываемых тоннелей. Тектонические нарушения являются деформациями массива в виде участков со складками и разрывами, вызванными дополнительными горизонтальными и вертикальными напряжениями в массиве, оказывающими дополнительную нагрузку на конструкции тоннелей. Для изучения и учета таких напряжений требуются исследования с целью выбора наиболее эффективного типа обделки и обеспечения конструктивной и геотехнической безопасности подземных сооружений в таких условиях.

Обзор последних источников исследований и публикаций. В работах Е.М. Пашкина [1], Н.С. Булычева [2], И.А. Турчанинова [3] изложены методики, применимые для установления величин напряжений вокруг выработки и вокруг конструкций обделки в массиве с тектоническими нарушениями. Также отмечается принцип образования таких напряжений в массиве. На основании проведенных исследований даются приблизительные коэффициенты по учету тектонических напряжений в виде нагрузок аналогично национальным нормам, где воздействие тектонических напряжений на обделки тоннелей учитывается лишь эмпирическим коэффициентом безопасности.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Работа выполнена применительно к Донецкому метрополитену, трассы которого пересекают 17 тектонических нарушений. Ввиду недостаточной изученности воздействий, оказываемых на конструкции тоннелей, устраиваемых в массиве с тектоническими нарушениями, выполнен поиск методики, позволяющей определить величины тектонических полей напряжений и учесть их в виде нагрузок на обделку.

Целью работы является установление напряженно-деформированного состояния массива с тектоническими нарушениями и разработка метода учета влияния такого состояния на конструкции прокладываемых тоннелей.

Основной материал и результаты. Все типы нарушений можно разделить на два вида [3]: складчатые (без нарушения структурной прочности) и разрывные (с нарушениями структурной прочности). При рассмотрении механизма образования нарушений установлены основные подвиды складчатых нарушений (моноклиналь, антиклиналь, синклиналь) и разрывных (надвиг, горст, грабен). Каждый из подвидов нарушений имеет свой механизм взаимосвязи горизонтальной и вертикальной силовой компоненты. Комбинации таких компонент вызывает характерную форму тектонического нарушения со свойственным ему напряженно-деформированным состоянием.

В первую очередь, для оценки влияний на прокладываемый тоннель устанавливалось напряженно-деформированное состояние массива с различными подвидами тектонических напряжений при помощи плоских моделей массива, реализованных в расчетных программных комплексах,

сертифицированных на территории Украины. Факт образования складчатых нарушений без нарушения сплошности массива дает возможность предполагать, что такие нарушения получаются в результате деформирования массива как сплошной упругой среды под действием горизонтальной и вертикальной тектонических компонент. В вычислительном комплексе Scad реализованы модели массива, позволяющие отражать напряженно-деформированное состояние путем решения плоского напряженного состояния ($\sigma_z=0$), на основании возможности плоских конечных элементов создать трансверсально-изотропную модель [4]. В результате создания в основании модели вертикальной тектонической компоненты в виде задачи разных жесткостей элементов и горизонтальной тектонической компоненты в виде перемещений были получены напряженно-деформированные модели массива со складчатыми тектоническими нарушениями (рис. 1). В отличие от складчатых нарушений, разрывные нарушения имеют разрывы в сплошности массива, что свидетельствует о полном разрушении структурной прочности грунтов или пород.

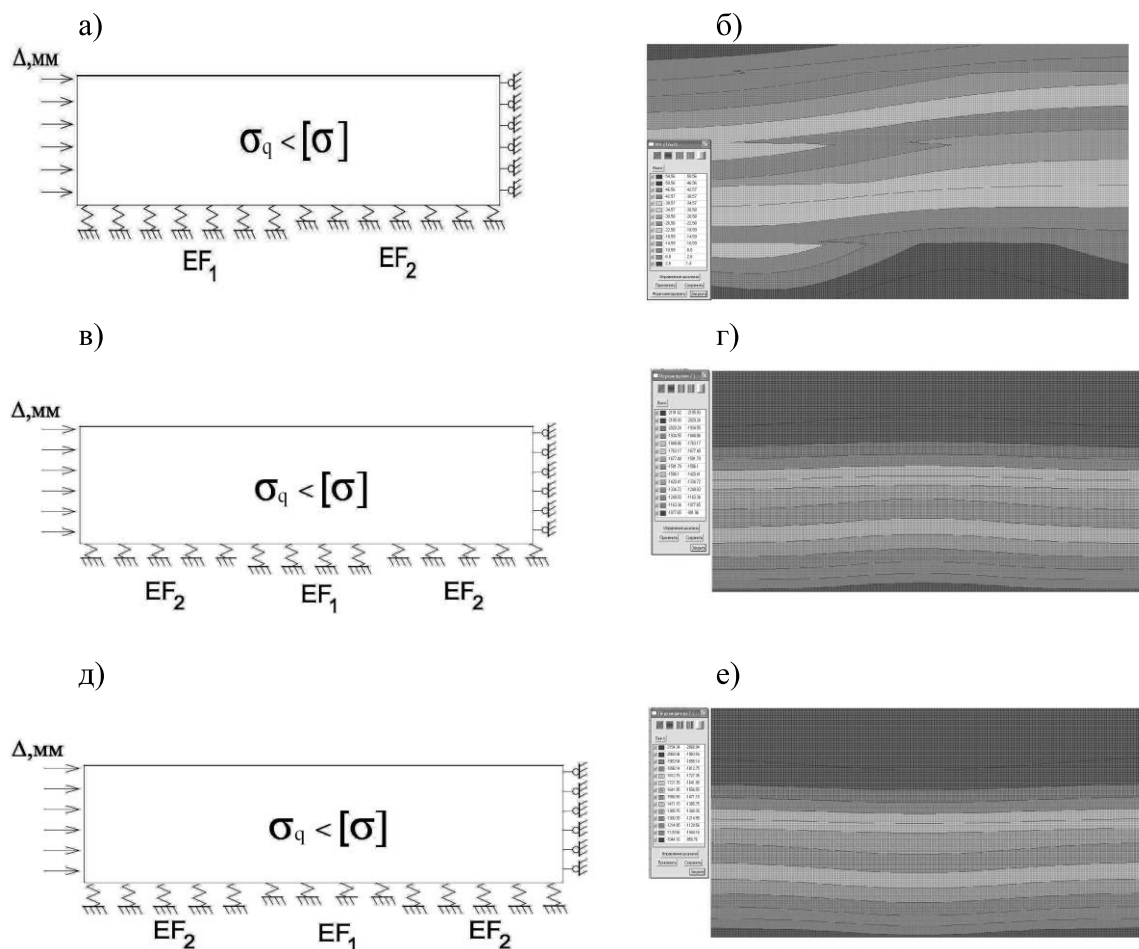


Рис. 1. Образование складчатых нарушений в плоских упругих моделях массива: а, в, д – идеализированные схемы образования моноклинали, антиклинали и синклинали; б, г, е – полученные деформации модели массива

Учитывая данный факт, в моделях массива для разрывных нарушений вводился критерий пластичности [5], позволявший установить места образования разрывов. Так, используя возможности вычислительного комплекса Alterra (GeoSoft), плоским конечным элементам задавались свойства с критерием Кулона – Мора. Для создания разрывных нарушений данным способом служит обоснование, что разрывные нарушения являются результатом развития складчатых нарушений, поэтому подход в моделировании тектонических компонент был аналогичен подходу в моделировании складчатых нарушений. В результате были получены напряженно-деформированные модели массива с разрывными тектоническими нарушениями (рис. 2).

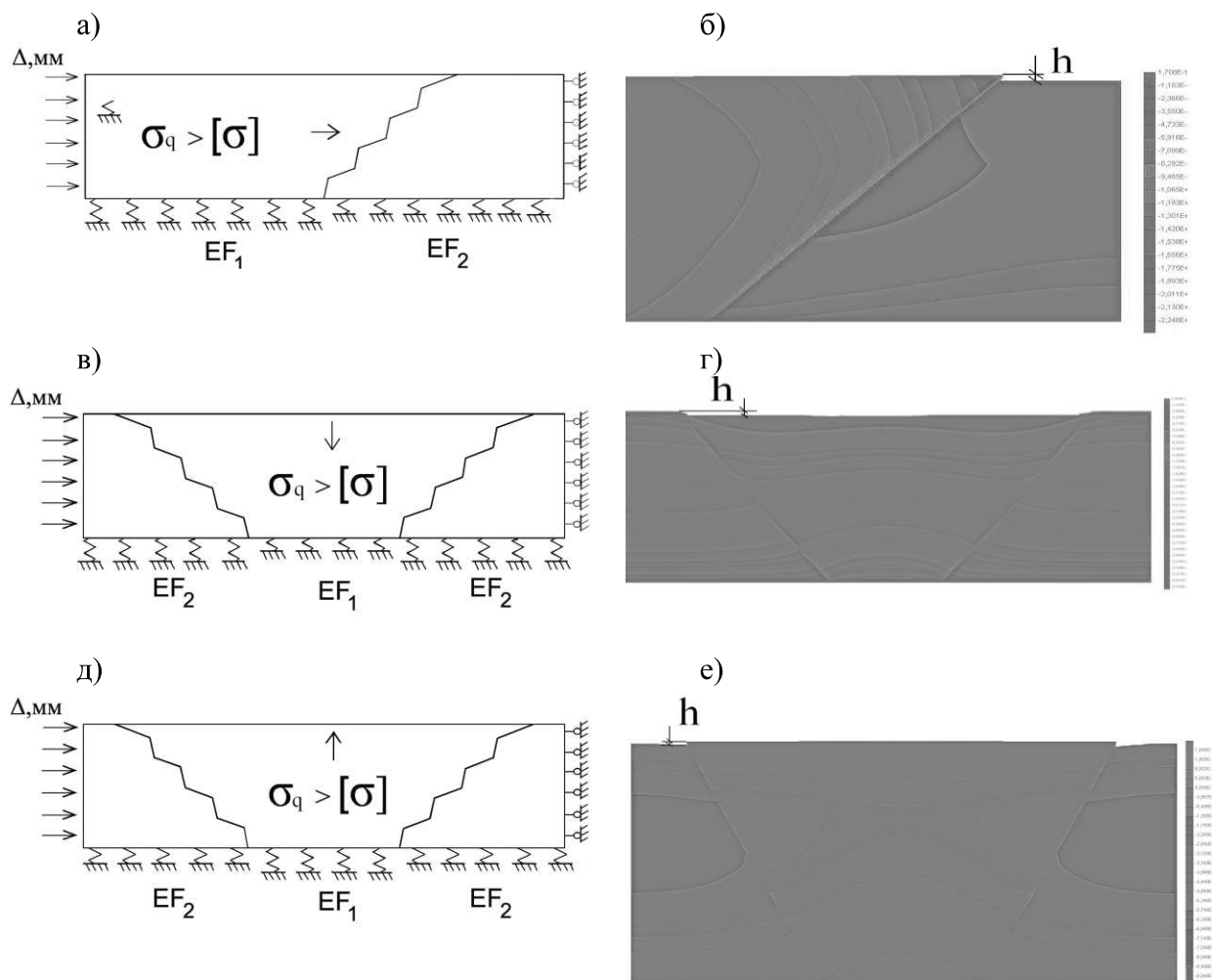


Рис. 2. Образование складчатых нарушений в моделях массива с использованием критерия пластичности: а, в, д – идеализированные схемы образования надвига, грабена и горста; б, г, е – полученные деформации модели массива

Предварительное установление напряженно-деформированного массива с нарушениями выполнялось вследствие того, что выработка образуется в заранее напряженном массиве с установившимся полем начальных напряжений, поэтому одновременное исследование системы

«выработка – обделка – нарушенный массив» практически невозможно, в ином случае оказалось бы, что напряжения приложены к массиву после проведения выработки.

В соответствии с рис. 3 тензор главных напряжений для какого-либо участка плоского массива преобразуется для моделей массива в зоне тектонических нарушений в следующий вид

$$T_{\sigma} = T_{\Gamma} + T_{\tau} = \begin{vmatrix} \gamma h & 0 \\ 0 & \lambda \gamma h \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \Delta \sigma_z^m & 0 \\ 0 & \Delta \sigma_x^m \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где T_{Γ} , T_{τ} – тензоры напряжений, обусловленные соответственно действием гравитационного и тектонического полей напряжений.

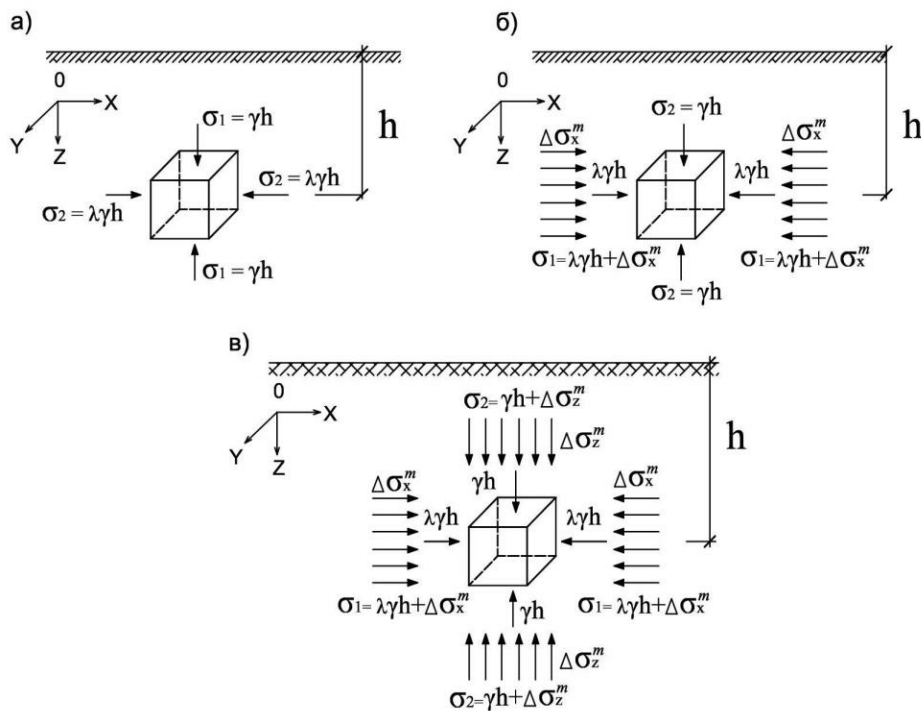


Рис. 3. Схема плоского напряженного состояния грунтового массива:
 а) только от собственного веса массива; б) от собственного веса массива и горизонтальных тектонических воздействий; в) от собственного веса массива, горизонтальных и вертикальных тектонических воздействий; σ_1 – главное напряжение большее по величине; σ_2 – главное напряжение меньшее по величине

Выражение (1) отражает возможность получения величин тектонических напряжений путем вычитания из полученных напряжений в моделях массива с нарушениями величин гравитационных напряжений на той же глубине (2), что позволяет определить конкретные значения тектонических напряжений, которые будут воздействовать на обделку тоннеля, устраиваемого в таком массиве

$$\Delta \sigma_z^m = \sigma_z - \gamma h; \quad \Delta \sigma_x^m = \sigma_x - \lambda \gamma h, \quad (2)$$

где γ – усредненный удельный вес массива; h – глубина рассматриваемого участка; $\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$ – коэффициент бокового давления.

Так как напряжения в массиве есть внутренние силы, то найденные тектонические напряжения и горное давление [6] можно выразить как внешнюю нагрузку на обделку, либо передать найденные нагрузочные величины путем создания эквивалентных напряжений на контуре обделки посредством дискретной схемы. В исследованиях взаимодействия массива с обделкой принималась дискретная схема, разработанная в ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект» [7] (рис. 4).

На контакте обделки с массивом выполнялось условие непрерывности напряжений и условие непрерывности перемещений, что позволяет реализовать в дискретной схеме механизм взаимовлияющих деформаций обделки и массива.

Введение шарниров в местах стыков сборной обделки позволило существенно снизить усилия изгибающих моментов в обделке (рис. 5), на основании чего сделан вывод о возможности использования сборных обделок в массиве с тектоническими нарушениями без применения дорогой чугунной обделки.

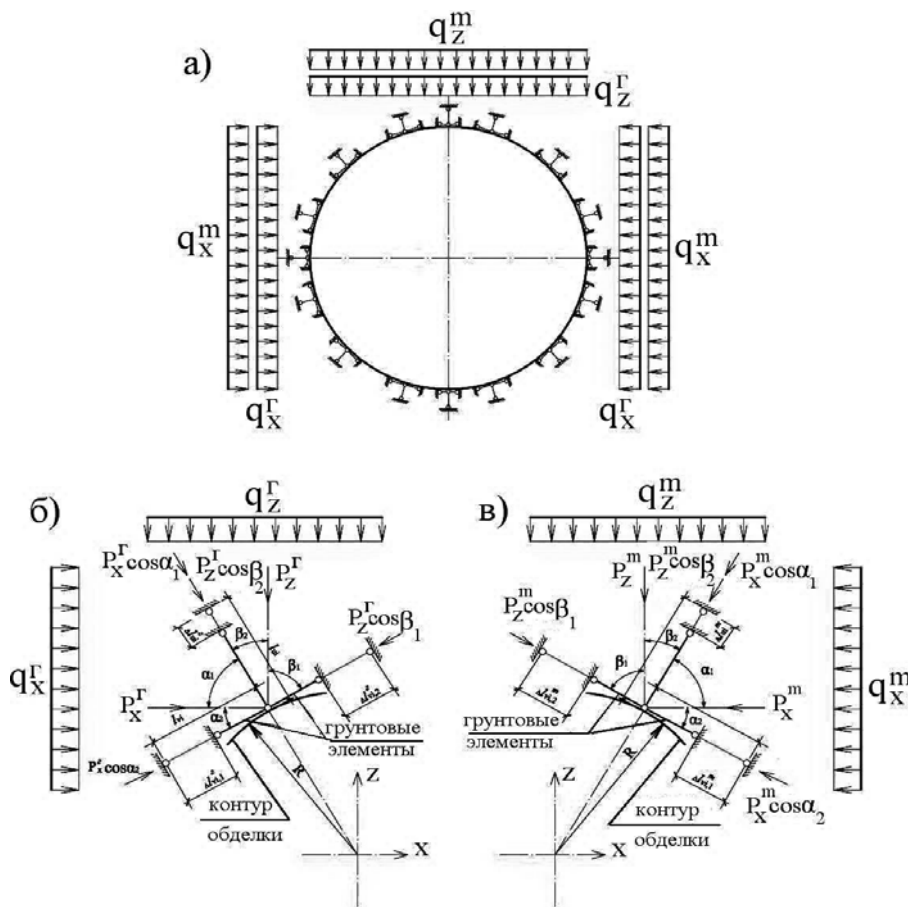


Рис. 4. Нагрузочная схема взаимодействия обделки с грунтовым массивом в зонах тектонических нарушений: а) общая схема; б) передача нагрузки от веса грунта; в) передача нагрузки от тектонических воздействий

Для проверки зависимости величин усилий от жесткости обделки проведены исследования обделки с большей толщиной сечения. Оказалось, что при увеличении толщины обделки возрастают и величины моментов. В работе при исследованиях уже была установлена зависимость изменения усилий в обделках и напряжений в массиве в зависимости от их жесткости, что соответствует выражению (3)

$$1 < \frac{E}{E_c} \left(\frac{\delta}{r_e} \right)^3 < 1, \quad (3)$$

где E и E_c – модули деформации обделки и грунта; δ – толщина сечения обделки; r_e – часть радиуса активной зоны выработки, содержащей грунт.

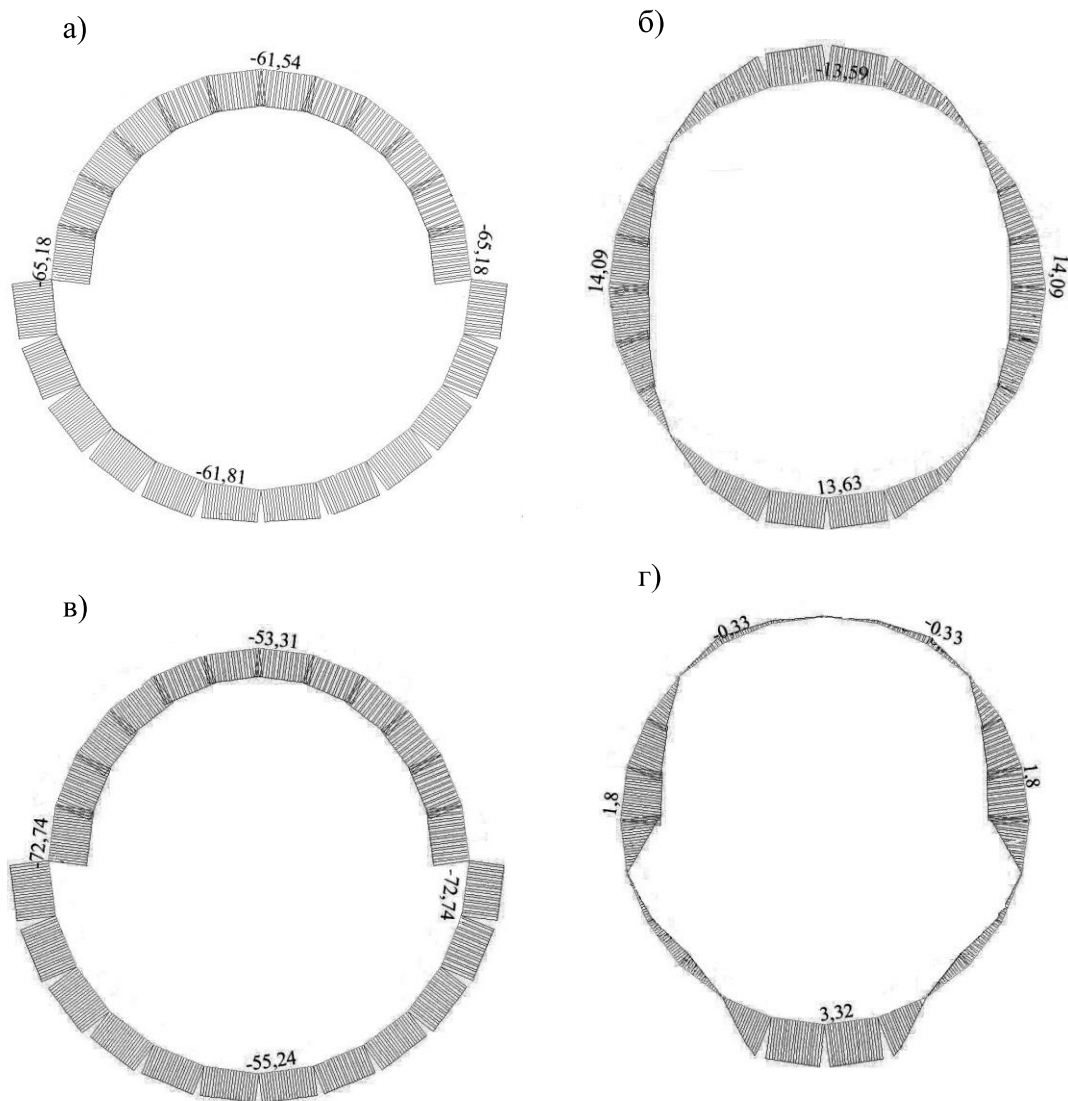


Рис. 5. Усилия в обделке тоннеля, расположенного в массиве с надвигом, найденные при помощи дискретной схемы, выполненной в программном комплексе Scad: а) эпюра нормальных усилий N (тс) в монолитной обделке; б) эпюра изгибающих моментов M (тс·м) в монолитной обделке; в) эпюра нормальных усилий N (тс) в сборной обделке; г) эпюра изгибающих моментов M (тс·м) в сборной обделке

Выводы. В результате исследований заключено, что при строительстве тоннелей в массиве с тектоническими нарушениями влияние тектонических полей напряжений наиболее удобно учитывать в виде дополнительных нагрузок на обделку тоннеля с применением известных типов дискретных расчетных схем. В ходе исследований установлены зоны в пределах различных подвидов нарушений с особым напряженно-деформированным состоянием, а также зависимость между конструктивными характеристиками обделки и возникающими в ней усилиями.

Литература

1. Пашкин, Е.М. *Инженерно-геологические исследования при строительстве тоннелей* / Е.М. Пашкин. – М.: Недра, 1981. – 145 с.
2. Булычев, Н.С. *Механика подземных сооружений* / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 270 с.
3. Турчанинов, И.А. *Основы механики горных пород* / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
4. Корноухов, Н.В. *Прочность и устойчивость стержневых систем. Упругие рамы, фермы и комбинированные системы* / Н.В. Корноухов. – М.: Госстройиздат, 1949. – 378 с.
5. Фадеев, А.Б. *Метод конечных элементов в геомеханике* / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
6. Динник, А.Н. *Устойчивость упругих систем* / А.Н. Динник и др. – М.: изд-во АН СССР, – 1950. – 120 с.
7. Розенвассер, Г.Р. *Несущая способность сборных обделок коммуникационных тоннелей при их совместной работе с грунтовым массивом* / Г.Р. Розенвассер и др. // *Подземное и шахтное строительство*. – М.: Стройиздат, 1991. – №2. – С. 25 – 26.

Надійшла до редакції 23.09.2013

© О.В. Дуванський