



РОЗЕНВАССЕР ГРИГОРИЙ РУВИНОВИЧ

Заведующий научно-исследовательским отделом зданий и подземных сооружений в сложных геотехнических условиях, ДП «Донецкий Промстройиниипроект».

Основные направления научной деятельности: механика подземных сооружений, строительные конструкции зданий и сооружений в сложных геотехнических условиях.

Автор более 150 научных трудов.

E-mail: gir.dptm@mail.ru



ДУВАНСКИЙ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

Научный сотрудник научно-исследовательского отдела зданий и подземных сооружений в сложных геотехнических условиях ДП «Донецкий Промстройиниипроект».

Основные направления научной деятельности: механика подземных сооружений, строительные конструкции зданий и сооружений в сложных геотехнических условиях.

Автор 10 научных трудов.

E-mail: gir.dptm@mail.ru



МАЛИКОВ СЕРГЕЙ СТАНИСЛАВОВИЧ

Ассистент кафедры «Инженерная геодезия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры; инженер I категории ДП «Донецкий Промстройиниипроект».

Основные направления научной деятельности: деформационный мониторинг уникальных сооружений, исследование земельного законодательства Украины и других стран, оценка недвижимости и бизнеса.

Автор нескольких научных трудов.

E-mail: malikov_s_s@mail.ru

УДК 624-048.033.26.621.55

ТОННЕЛИ МЕТРОПОЛИТЕНОВ В ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ

Ключевые слова: тектонические нарушения; тоннели; поля напряжений; мероприятия по защите.

Траси Донецького (Україна) метрополітену перетинають 17 тектонічних порушень. Це істотно ускладнює будівництво, так як проблема недостатньо унормована. У статті розглядається напружено-деформований стан (Н.Д.С.) масиву з тектонічними порушеннями різних видів і розподіл напружень навколо виробок на момент влаштування конструкцій тунелів у масиві. Запропоновано методи з обліку тектонічних впливів на конструкції тунелів і вибір оптимальних конструктивних рішень для захисту оброблення.

Трассы Донецкого (Украина) метрополитена пересекают 17 тектонических нарушений. Это существенно осложняет строительство, так как проблема недостаточно нормирована. В статье рассматривается напряженно-деформированное состояние (н.д.с.) массива с тек-

тоническими нарушениями различных видов и распределение напряжений вокруг выработок на момент устройства конструкций тоннелей в массиве. Предложены методы по учету тектонических воздействий на конструкции тоннелей и выбор оптимальных конструктивных решений для защиты обделки.

Trails Donetsk (Ukraine) underground cross 17 tectonic faults. This greatly complicates the construction, because the problem is not enough normalized. The article examines the stress-strain state (n.d.s.) array of different types of tectonic disturbances and stress distribution around the workings at the time of device structures in the array of tunnels. The methods of accounting tectonic influences on the design of tunnels and the choice of optimal design solutions to protect the lining.

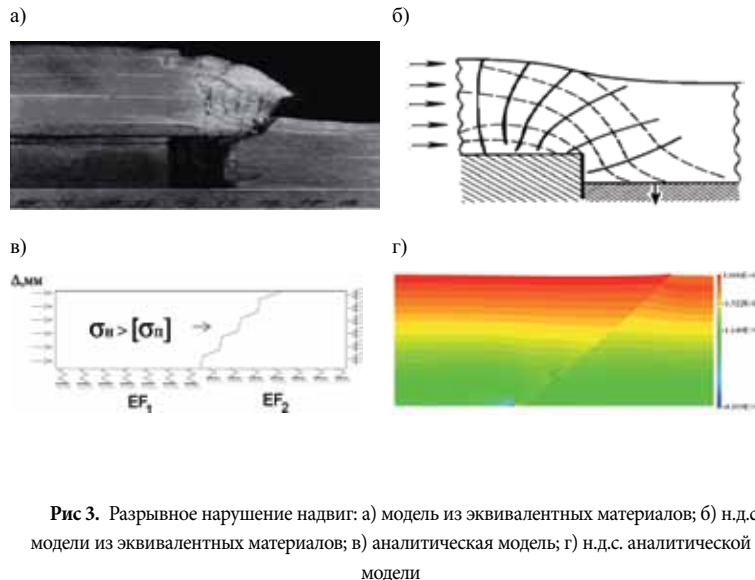


Рис. 3. Разрывное нарушение надвиг: а) модель из эквивалентных материалов; б) н.д.с. модели из эквивалентных материалов; в) аналитическая модель; г) н.д.с. аналитической модели

ем развития складчатых нарушений (Рис. 3). Тектонические воздействия формируют складчатые нарушения за счет деформаций грунтов массива без трещин и разрывов. Со временем, в результате нарастания напряжений, структурные связи грунтов разрушаются с последующим образованием цельной плоскости разрыва (смещителя), по которой далее идет сдвигение образовавшихся крыльев.

К разрывным нарушениям одного вида можно отнести сброс, взброс, надвиг, сдвиг. К другому виду общих разрывных нарушений можно отнести грабены и ступенчатые сбросы, которые удобно рассматривать при моделировании грабена. Отдельно необходимо рассматривать разрывные нарушения вида горст.

Исследования позволили установить, что деформации массива, обусловленные тектоническими процессами, сопровождаются нарастанием или снижением горизонтальных и вертикальных напряжений. Поэтому в зонах расположения тектонических нарушений, помимо напряжений от собственного веса массива, преобладают дополнительные тектонические поля напряжений. Соответственно, при строительстве подземных сооружений в зонах тектонических нарушений необходимо устанавливать величины тектонических полей напряжений и учитывать их как дополнительные нагрузки на конструкции сооружений.

3 НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫРАБОТКИ, ОБРАЗОВАННОЙ В МАССИВЕ С ТЕКТОНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ

Применение упругих моделей массива с выработкой позволяет по принципу суперпозиции учесть работу системы «выработка-массив» [4]. В результате, напряжения в массиве, ослабленном

выработкой, выглядят как сумма начальных напряжений σ_z^0, σ_x^0 и дополнительных (снижаемых) напряжений $\sigma_\theta^0, \sigma_r^0$ (Рис.4).

Концентрация напряжений около выработки приводит к образованию «свода обрушения», формирующего горное давление. Поэтому для определения его параметров удобно использовать упругопластическую модель массива с выработкой. Такая задача решена [5] при помощи современных геотехнических инженерных комплексов.

На рис. 5 отмечены зоны значительных деформаций грунта на контуре выработки, что соответствует разрыхлению грунта (конвергенции) и приводит к образованию «свода обрушения». В результате исследования участков массива с нарушениями, отмечено, что различные комбинации напряжений σ_z и σ_x в массиве с нарушениями, оказывают влияние на формирование величин

напряжений σ_r и σ_θ в активной зоне выработки, в результате чего это отражается на значениях горного давления. Установлено: для модели ненарушенного массива с выработкой свод обрушения - 1,8R, а в массиве с нарушением надвиг - «свод обрушения» составил 2,5R, где R - радиус выработки.

Исследования упругопластических моделей с выработкой подходит при проходке в дисперсных грунтах, а при проходке в скальных породах «свод обрушения» в активной зоне выработки можно установить при помощи жесткопластических моделей по Протоdjяконову.

4 УЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЕЙ

Величины тектонических напряжений $\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_x$ можно установить путем вычитания из экспериментально определенных или аналитически установленных напряжений в массиве с нарушением, гравитационных, определяемых по известным формулам (1):

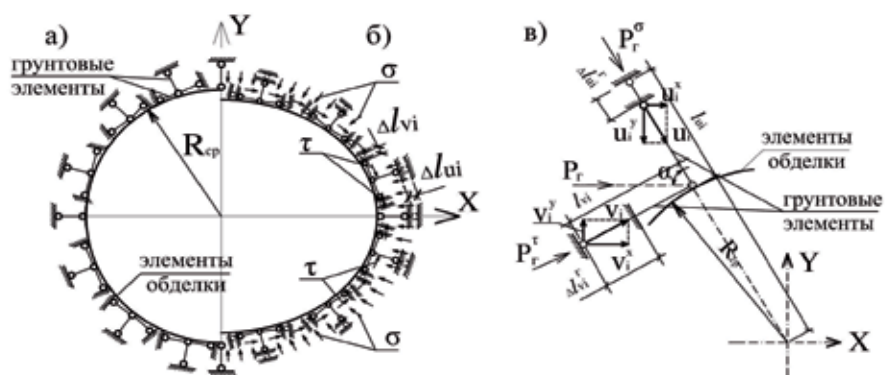


Рис.6. Дискретная модель взаимодействия обделки с грунтовым массивом по Розенвассеру: а – общий вид; б – напряженное состояние; в – принцип нагружений.

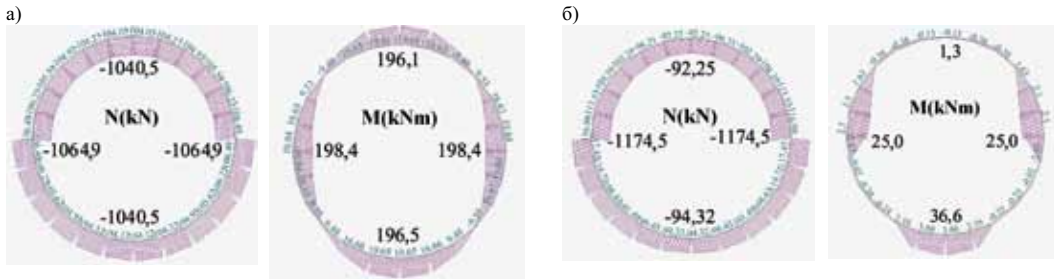


Рис.7. . Усилия в обделке в массиве с тектоническим нарушением надвиг: а – в монолитной; б – в сборной.

ции в каждом отдельном контактном элементе (КЭ). Такая схема обеспечивает решение задачи класса «деформируемое тело к деформируемому телу» (схема взаимовлияющих деформаций) по типу «узел-узел».

После задания перемещений в дискретной

где h – глубина рассматриваемого участка;
 γ – усредненный удельный вес массива;
 λ – коэффициент бокового давления.

В результате формулы для определения величин тектонических полей напряжений примут вид:

$$\sigma_z = \gamma h; \quad \sigma_x = \lambda \gamma h, \quad (1)$$

$$\Delta \sigma_z = \sigma_{mz} - \sigma_z; \quad \Delta \sigma_x = \sigma_{mx} - \sigma_x, \quad (2)$$

где σ_{mz} , σ_{mx} – напряжения в массиве с тектоническим нарушением.

Исследования показали, что в массиве с тектоническими нарушениями преобладают горизонтальные напряжения, что связано с превышением горизонтальных тектонических напряжений над вертикальными в несколько раз.

Нагрузки от тектонических полей напряжений на обделку можно учитывать с помощью дискретных или дискретно-континуальных моделей, которые легко построить в современных программных комплексах.

При исследовании работы системы «обделка-массив» необходимо решить контактную задачу, путем выбора уже известных упругих или вязкопластических решений.

Используя расчетные дискретные модели МКЭ можно создать напряжения на контакте обделки от горного давления и отдельно – от тектонических напряжений (Рис. 6). При этом, соблюдая условия плоской упругой контактной задачи линейно упругих тел, граничная поверхность элементов обделки может иметь связи без кулоновского трения. При моделировании состояния контакта используются плоские рамно-стержневые контактные элементы. Условия на контакте выражаются через усилия и деформа-

модели от всех действующих нагрузок, в том числе и тектонических напряжений, достаточно точно можно определить усилия в конструкциях тоннелей.

Так как горизонтальные напряжения преобладают в нарушенном массиве, усилия будут отличаться от тех, которые получают в ненарушенном массиве. На Рис. 7 приведены эпюры усилий в обделке тоннеля.

Усилия в монолитной обделке (Рис.7а) ведут к утолщению конструкции и ее перearмированию, что свидетельствует о нецелесообразности ее применения в массиве с тектоническими нарушениями. Наиболее оптимальным является применение сборной железобетонной обделки. На Рис. 7б показаны эпюры усилий в стандартной сборной обделке, которые значительно меньше, чем в монолитной.

5 ВЫВОДЫ

Предложенные методы по учету воздействий на тоннели метрополитенов, устраиваемых в массиве с тектоническими нарушениями, могут применяться и к другим видам подземных сооружений, строящихся в таком массиве. Установление горного давления и тектонических напряжений в нарушенном массиве позволяет достоверно оценить, какие нагрузки будут испытывать тоннели в процессе эксплуатации. Решение таких задач значительно облегчает пользование развивающимися инженерными геотехническими комплексами, в которых можно создать модели с детальным отражением тектонических процессов и выполнить их нормирование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысиков Б.А., Розенвассер Г.Р., Шаталов В.Ф. (2003). Строительство метрополитена и подземных сооружений на подрабатываемых территориях. Учебное пособие для вузов. Украина, Донецк.
2. EUROCODE 7 (2007). Geotechnical design. Part 2:Ground investigation and testing. BS EN 1997-2:2007.
3. Хаин В.Е. (2001). Тектоника континентов и океанов. Россия, Москва.
4. Булычев Н.С. (1989). Механика подземных сооружений. Учебное пособие для вузов. СССР.
5. Дуванский А.В. (2012). Определение влияния тектонических напряжений на тоннели глубокого заложения. Сборник научных трудов «SWorld» 35

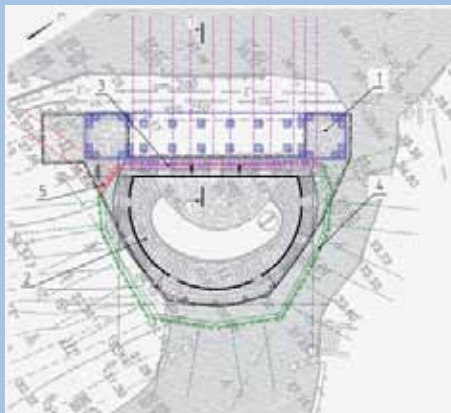


Рис. 1. Ситуационный план:

1 – существующая колоннада; 2 – проектируемое здание; 3 – проектируемое противооползневое сооружение; 4 – проектируемое подпорное сооружение укрепления вертикальных откосов котлована; 5 – участок устройства анкерных плит.

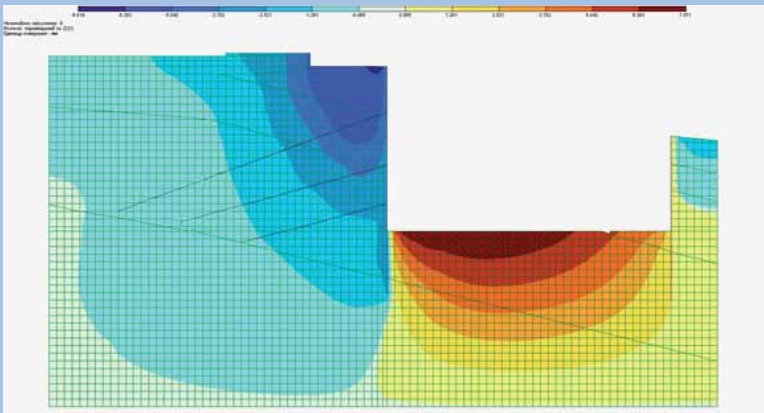


Рис. 3. Изополя перемещений по оси Z второго этапа расчётов.



Рис. 5. Этапы строительства объекта:

а – котлован на уровне фундамента; б – отделочные работы по зданию.

РИСУНКИ К СТАТЬЕ Г.Р. Розенвассера, С.В.Маликова, А.В.Дуванского «ТОННЕЛИ МЕТРОПОЛИТЕНОВ В ГРУНТОВЫХ МАССИВАХ С ТЕКТЕНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ»

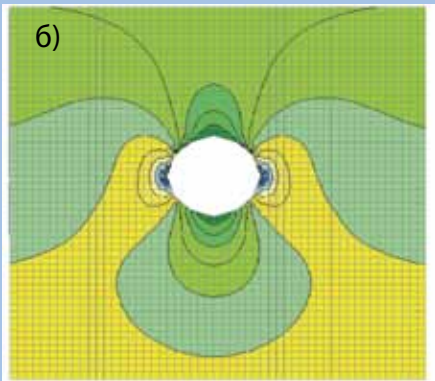
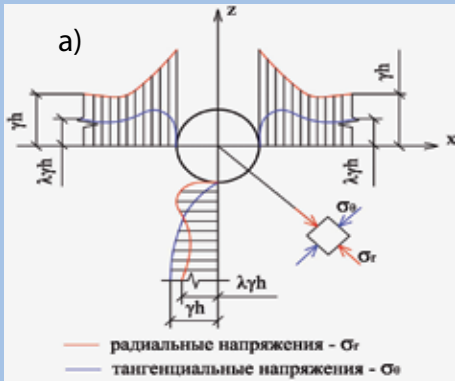


Рис. 4. Упругая модель массива: а– теоретическая; б – поля напряжений в программном комплексе Scad Украина).

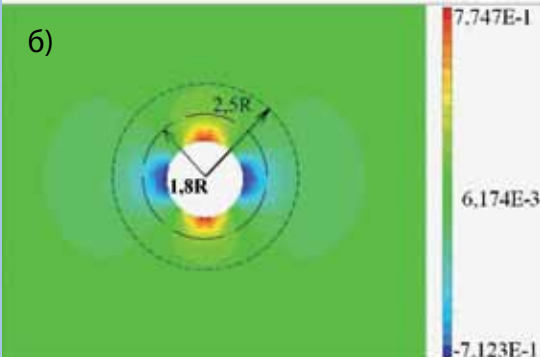
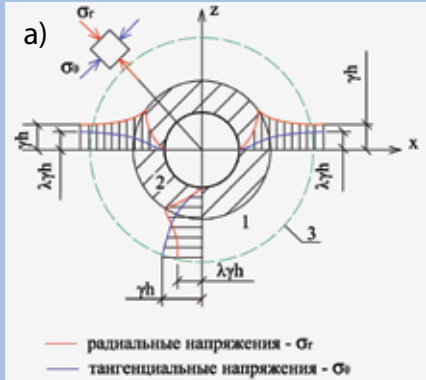


Рис. 5. Упругопластическая модель массива: а– теоретическая в задаче Лабасса– Рупенейта; б – «свода обрушения» в ненарушенном массиве и массиве с нарушением надвиг в программном комплексе GeoSoft (Россия).