

каменных конструкций. Представлен алгоритм данной модели, предоставляющий возможность получить сравнительно высокую точность результата при минимизации операций. Были рассмотрены основные проблемы проектирования и анализа каменных арок. Показано, что критерии прочности и устойчивости недостаточно удовлетворительны для каменных и кирпичных арочных конструкций и нуждаются в существенном пересмотре.

### Литература

1. Крамина, Т. А. Реконструкция арочных и сводчатых систем в памятниках архитектуры [Текст] / Т. А. Крамина // ДизайнРевю. – 2009. – № 4. – С. 59–62.

2. Дементьев, В.А. Усиление и реконструкция мостов на автомобильных дорогах [Текст]: учеб. пособие / В.А. Дементьев, В.П. Волокитин, Н.А. Анисимова; под общ. ред. проф. В.А. Дементьева; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2006-116 с.

УДК 624.1

## О МЕТОДАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОННЕЛЕЙ

*Михов Е.П., гр. КППС-М604н.*

*Научный руководитель – к.т.н., доцент Карнюк Ф.Р.*

Подземные сооружения являются неотъемлемой частью инфраструктуры современных городов и используются в качестве транспортных сетей, подземных стоянок, хранилищ и т.п. Сооружения, построенные в районах, с повышенной сейсмической активностью должны выдерживать и сейсмические нагрузки.

Одним из важнейших потребительских свойств тоннелей является их эксплуатационная надежность – способность пропускать грузовые и пассажирские потоки без ограничений в течение срока службы. Эксплуатационная надежность тоннелей обеспечивается полной изыскательских работ, проектными решениями, качеством строительного исполнения, системой содержания в период их эксплуатации.

Необходимый конструктивный ресурс создается при проектировании расчетными методами на различные сочетания

нагрузок и воздействий. Современные нормативные требования, опыт и практика проектирования транспортных сооружений, как в Украине, так и за рубежом, безусловно, учитывают особенности работы конструкций в сложных инженерно-геологических условиях. В связи с тяжелыми последствиями большое внимание при развитии нормативной документации в научно-практической литературе уделяется защите сооружений при сейсмических событиях. Считается, что сооружения сложно защитить при катастрофических землетрясениях выше 9 баллов по шкале MSK-64, а сейсмические события меньше 7 баллов не опасны для подземных сооружений. Однако, повреждения и трещины, проявляемые в транспортных тоннелях при их строительстве и эксплуатации даже в пределах нормативно учитываемых сейсмических параметров, показывают, что геодинамика горных массивов и ее влияние на работу транспортных тоннелей далеко не изучены. Землетрясения по разному проявляются в однородных горных массивах и породах, раздробленных блоковой структурой в результате разломной тектоники. Скольжение по границам блоков может оказать внешнее геодеформационное воздействие на обделку тоннеля, не предусмотренное при проектировании сооружения и изменить сложившееся напряженно-деформированное состояние обделок тоннеля. Представляют интерес вопросы геодинамики горных массивов и характер работы транспортных тоннелей в таких условиях.

**Особенности работы тоннелей в условиях геодинамики горных массивов.** Воздействие землетрясений на наземные и подземные сооружения разных типов исследовалось во многих странах, где землетрясения происходят довольно часто: Японии, США, Канаде и других. Отмечено, что по ряду причин подземные сооружения по сравнению с наземными в меньшей мере подвержены сейсмическим воздействиям [1]:

- подземные сооружения не входят в резонанс, а реагируют на землетрясения таким же образом, как окружающий их массив грунта;
- масса тоннелей не оказывает влияния на параметры сейсмических волн, так как погонная масса тоннеля мало отличается от замещенной им погонной массы грунта;
- подземные сооружения обладают большим коэффициентом демпфирования, так как энергия рассеивается в окружающий массив грунта, что существенно уменьшает колебания;
- демпфирование в подземных сооружениях в пересчете на вязкое трение может достигать 20% от критического значения, в то

время как в наземных строительных конструкциях (стальных и железобетонных) этот коэффициент не превышает 2-4%.

Несмотря на такие положительные, с точки зрения сейсмостойкости, свойства подземных сооружений, при землетрясениях конструкции тоннелей повреждаются.

### Экспериментально-теоретические основы расчетных методик.

При прохождении в грунтовом массиве сейсмических волн сжатия-растяжения и сдвига, распространяющихся от очага землетрясения, в каждом элементе грунта, помимо естественного напряженного состояния, формируются сейсмические напряжения. В местах контакта грунта с контуром обделки тоннеля (или другим препятствием) при прохождении плоской сейсмической волны возникает концентрация сейсмических напряжений, являющихся дополнительной сейсмической контактной нагрузкой. На основе этих положений разработаны методики расчета сейсмических напряжений для круговых и некруговых тоннельных обделок.

Основные положения этих методик (рис. 1) заключаются в следующем [2].

#### Методы, используемые при сейсмическом анализе и проектировании тоннелей



Рис. 1. Методы, используемые при сейсмическом анализе и проектировании тоннелей

1. Рассматриваются две плоские контактные задачи теории упругости для кольца, подкрепляющего вырез в упругой среде и

работающего в условиях совместности перемещений при следующих граничных условиях; сейсмические волны предполагаются упругими, гармоническими с плоским фронтом распространения, либо нестандартными, с незначительным отличием (по форме) реального импульса от синусоидального.

2. Плоский фронт волны является простейшим и широко используется для изучения распространения упругих волн в горных породах и массивах. В этой связи более сложные формы волнового поля представляют математически в виде суперпозиций плоских волн, распространяющихся в разных направлениях.

3. Грунтовой массив принимают сплошным, линейно деформируемым, однородным, характеризующимся модулем деформации  $E_0$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_0$ .

При решении динамических и квазистатических задач для вязкоупругих тел можно использовать решения, найденные для упругих тел. Достаточно лишь в этих решениях деформативные характеристики ( $E_0 \nu_0$ ) заменить соответствующими вязкоупругими параметрами при условии, что граничные условия будут идентичными. При рассмотрении грунтового массива как сплошного тела, а также при изучении механических процессов, происходящих в породных массивах, различают два понятия сплошности; физическое, которое подразумевает отсутствие в исследуемой области каких-либо дефектов, и математическое, суть которого состоит в непрерывности поля напряжений и деформаций.

Зернистость структуры грунта, слоистость, трещиноватость нарушают физическую сплошность массива, в результате он оказывается разбит на отдельные слои и блоки. Однако если все эти элементы деформируются внешне как единое целое, то с известной степенью идеализации такой массив можно рассматривать как сплошную среду в математическом смысле этого понятия.

При рассмотрении грунтового массива как линейно деформированной среды можно отметить, что линейная связь между напряжениями и деформациями у большинства горных пород сохраняется до достижения нагрузками определенной величины. И если в классической механике сплошной среды рассматривают модель идеально упругого тела, то в механике горных пород принимают геомеханическую модель линейно деформируемого грунтового массива, отражающую деформационные свойства различных по структуре пород в определенном диапазоне действующих напряжений.

Обделку рассматривают в условиях плоской деформации, т.е. в предположении, что длина тоннеля превосходит его поперечные размеры не менее чем в 5 раз и сейсмические волны распространяются в плоскости его поперечного сечения. Эти допущения относятся к тоннельным сооружениям, глубина которых превышает диаметр обделки не менее чем в 2 раза.

Основываясь на вышеприведенных фактах было принято решение в рамках дипломной работы провести ряд расчетов тоннелей с учетом сейсмического воздействия в программном комплексе MIDAS GTS NX, предназначенном для комплексных геотехнических расчетов. MIDAS GTS NX позволяет моделировать условия площадки с учетом нелинейности материала и начальных напряжений в грунте. GTS NX поддерживает все типы расчетов включая статические, динамические, расчеты фильтрации, совмещенный расчет НДС и фильтрации, консолидации, расчет с учетом последовательности возведения, а также расчеты устойчивости. Благодаря полностью интегрированному решателю, GTS NX обеспечивает максимально точные результаты для комплексных геотехнических расчетов.

### Литература

1. Быкова Н. М. Транспортные сооружения на активных геоструктурах. Технологии системного подхода [Текст] / Н. М. Быкова. – Новосибирск : Наука, 2008. – 212 с.
2. Зайнагабдинов Д.А. Измерения деформаций в стенах обделки и путевом бетоне Северо-Муйского тоннеля с использованием фотоупругих датчиков [Текст] / Н. М. Быкова, А. С. Исайкин, А. Н. Моргунов, Д. А. Зайнагабдинов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2007. – № 1 (13). – С. 69–74.

УДК 338.242

## СТАН ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УКРАЇНІ

*Мищенко В.С., гр. ЕП-604м(н).  
Науковий керівник – к.е.н., доц. Ракицька С.О.*

Одним із найбільш важливих питань, які визначають можливість сталого розвитку суспільства, є досягнення енергетичної безпеки. Теоретичні і прикладні наукові дослідження щодо розробки та