

Полянкин Геннадий Николаевич — завкафедрой «Тоннели и метрополитены» СГУПС.

В 1971 г. окончил Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта по специальности «Мосты и тоннели», после окончания аспирантуры в 1982 г. в совете ЛИСИ защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Подземные сооружения, основания и фундаменты». С 1985 г. по настоящее время работает на кафедре и НИЛ «Тоннели и метрополитены». В 1986 г. присвоено ученое звание старшего научного сотрудника, а в 1990 г. — доцента.

Автор более 80 научных и учебно-методических работ по проблемам транспорта, в том числе учебника «Буровзрывные работы в тоннелестроении» для транспортных вузов РФ.

Области научных интересов: обследование, экспертиза, расчеты и проектирование транспортных объектов; геомониторинг, научно-инженерное сопровождение и технадзор строительства с оценкой контроля качества выполненных работ; выявление причин и разработка рекомендаций по устранению влияния природно-климатических факторов (обводненности, воздействие отрицательных температур, морозное пучение грунтов и т.п.) на ВСП и конструктивные элементы тоннелей и других ИССО; оценка строительных рисков при сооружении тоннелей и объектов метрополитена.

E-mail: polyankin@stu.ru



Кузнецов Анатолий Олегович родился в 1990 г. Аспирант-стажер кафедры «Тоннели и метрополитены» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Область научных интересов — численные расчеты подземных сооружений и совершенствование проектирования тоннельных конструкций.



Полянкин Александр Геннадьевич — младший научный сотрудник НИЛ «Тоннели и метрополитены».

В 2012 г. окончил факультет «Мосты и тоннели» Сибирского государственного университета путей сообщения. По окончании института поступил в аспирантуру по кафедре «Геология, основания и фундаменты».

Область научных интересов — расчеты подземных сооружений, в том числе свайных фундаментов, и оценка рисков строительства подземных и подпорных сооружений.

E-mail: polyankin_alex@mail.ru



Аношенко Дмитрий Александрович — научный сотрудник НИЛ «Тоннели и метрополитены» СГУПС.

В 2008 г. окончил факультет «Мосты и тоннели» Сибирского государственного университета путей сообщения, в 2011 г. — аспирантуру по специальности «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей».

Область научных интересов — обследование, экспертиза, расчеты и проектирование транспортных объектов; оценка строительных рисков при сооружении тоннелей; численные расчеты подземных сооружений и совершенствование проектирования тоннельных конструкций.

УДК 658.012:625

Г.Н. ПОЛЯНКИН, А.О. КУЗНЕЦОВ, А.Г. ПОЛЯНКИН, Д.А. АНОШЕНКО

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ ТК № 1 СОВМЕЩЕННОЙ ДОРОГИ АДЛЕР — ГОРНОКЛИМАТИЧЕСКИЙ КУРОРТ «АЛЬПИКА-СЕРВИС»

В статье отражен вопрос расчета тоннельных конструкций методами строительной механики и численных решений механики сплошной среды, рассмотрены условия их применения.

Выполнен расчет и численный анализ изменения напряженно-деформированного состояния с учетом и без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи.

По результатам расчета сделаны выводы о работе конструкции и экономическом эффекте применяемого метода.

Ключевые слова: *расчетный метод, нагрузка, обделка, горный массив, численный анализ, напряженно-деформированное состояние, податливая временная крепь, деформации, экономический эффект.*

Процесс проектирования и строительства должен сопровождаться научно обоснованными расчетными методами, позволяющими обеспечить решение различных вопросов, связанных как непосредственно с конкретными условиями строительства тоннелей, так с обеспечением достаточной надежности и долговечности их работы.

В рамках выполнения научно-исследовательских работ на объектах ИССО совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» были проведены оценочные расчеты конструкций обделок тоннелей комплекса № 1.

Цель расчета тоннельных конструкций — исключить наступление предельных состояний, недопустимых при эксплуатации подземного сооружения.

Согласно СНиП 32-04–97 п. 5.25 расчетными моделями для определения внутренних усилий в обделке должны служить модели с заданной нагрузкой, основанные на положениях строительной механики или модели, основанные на положениях механики сплошной среды.

По характеру взаимодействия конструкции и вмещающего сооружение горного массива методики расчета можно разделить на три группы:

1. Взаимодействие не учитывается, конструкция рассчитывается на заданные нагрузки; горный массив вокруг выработки частично или полностью переходит в предельное состояние, обделку нагружает свод давления или вывал, образующийся над выработкой разрушенными грунтами (*режим детерминированного загрузения*).

2. Нагрузка от грунта разделяется на активную и пассивную (отпор), горное давление считается известным, а отпор определяется расчетом в зависимости от схемы действия нагрузок и соотношений деформационных характеристик конструкции и грунта.

3. Нагрузка на обделку от горного давления не задается, а определяется в результате решения контактной задачи о взаимодействии обделки и горного массива, при этом горный массив нагружает обделку силами упругой и реологической деформации, которым обделка сопротивляется (*режим взаимовлияющей деформации*).

Группа методов № 1 и в значительной степени группа методов № 2 основаны на аппарате строительной механики, третья группа методов расчета использует классические или численные решения механики сплошной среды.

Наличие нескольких групп методов, которые отличаются по точности и трудоемкости расчетов, обуславливает необходимость определить, в каких случаях достаточно применение простых методов, а в каких необходимо применение более точных.

Группы методов расчета № 1, 2 в основном используются на стадии предварительных расчетов, а методы третьей группы — в моделировании ситуации.

При разделении строящихся сооружений на сооружения с простой конструктивной схемой и четко определенными нагрузками при отсутствии дополнительных влияющих факторов, сооружения с простой конструктивной схемой при наличии дополнительных факторов влияния и сооружения со сложной конструктивной схемой, для первого вида сооружений допустимо применение второй группы расчетных методов. Для второй и третьей групп сооружений необходимо применение более точных методов третьей группы, позволяющей применять более экономически выгодные конструктивные схемы сооружений.

Рассмотрим примеры расчета конструкций методами третьей группы, позволяющие получить весомый экономический эффект при проектировании транспортных тоннелей.

Расчет крепи с определением изменения смещений контура выработки во времени

На основании полученных данных делается статический расчет и проверка прочности в опасных сечениях обделки по первой группе предельных состояний. Расчеты должны быть выполнены с учетом современных представлений о загрузении бетона в раннем возрасте, что вносит существенные коррективы в искомые величины. Расчет арочно-бетонной крепи необходим для определения напряжений в крепи и на контакте с грунтом на разные моменты времени и этапы сооружения тоннеля. Поскольку одним из наиболее просто контролируемых параметров совместной работы системы крепь—массив являются смещения, то в результате расчетов также определяются закономерности изменения и максимальные величины смещений подкрепленного контура выработки.

Эти расчеты производятся как на прогнозном этапе, так и после уточнения тех или иных величин, характеризующих взаимодействие системы крепь—массив. Расчет произведен с использованием программного комплекса Plaxis 8.2, основанного на методе конечных элементов с учетом конкретных условий и параметров строительства тоннеля. Выполнен численный анализ изменения напряженно-деформированного состояния с учетом поэтапного выполнения технологических процессов проходки железнодорожного тоннеля в известняках средней и малой прочности.

Программа Plaxis 8.2 предлагает удобную опцию для создания тоннелей круглого сечения и сечения, состоящего из набора дуг и прямых. Для моделирования обделки тоннеля и ее взаимодействия с окружающим грунтом используются плитные элементы и интерфейсы. Для моделирования криволинейных границ внутри сетки используются изопараметрические элементы.

Результаты расчета. Фазы разработки грунта, эпюры продольных сил и моментов показаны на рис. 1–3.

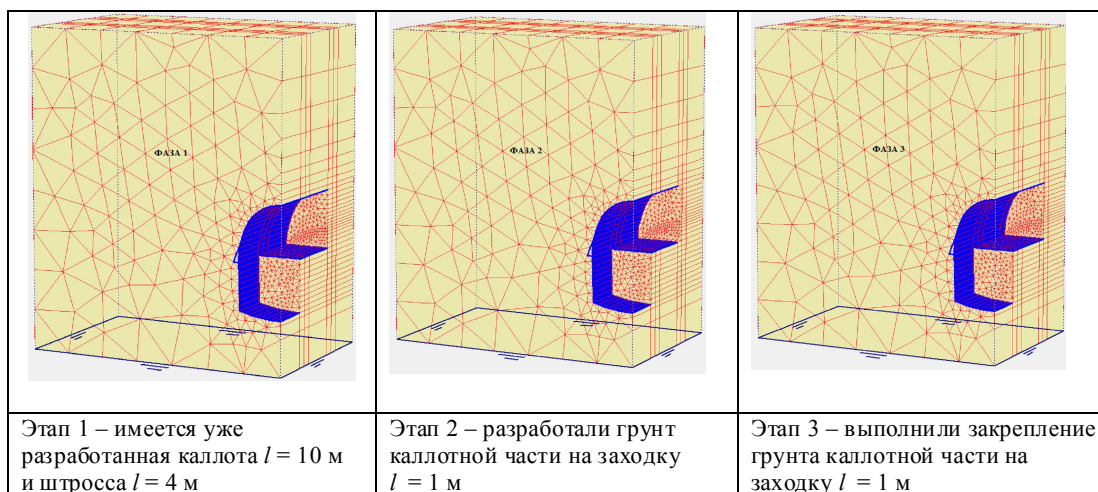


Рис. 1. Этапы разработки грунта

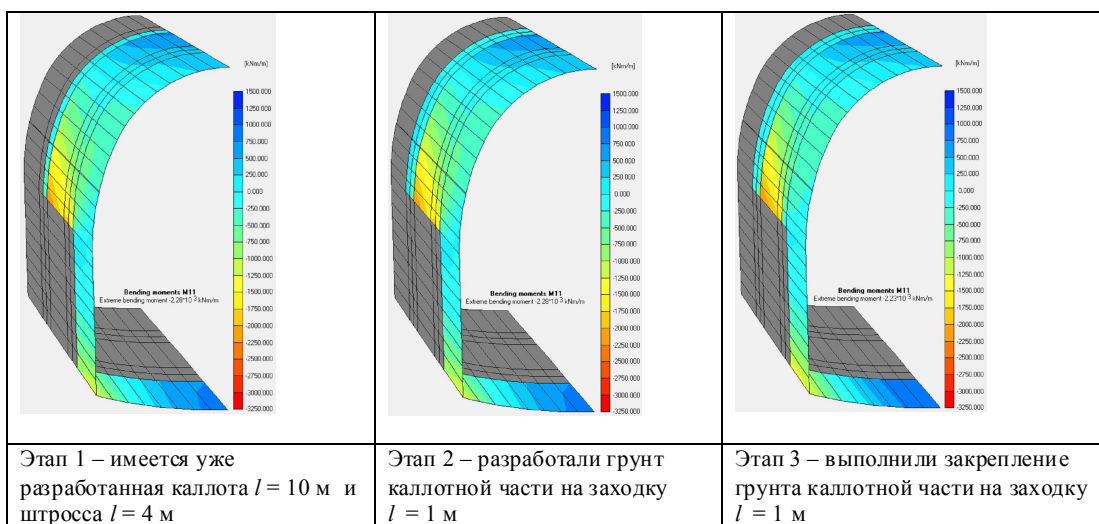


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов M

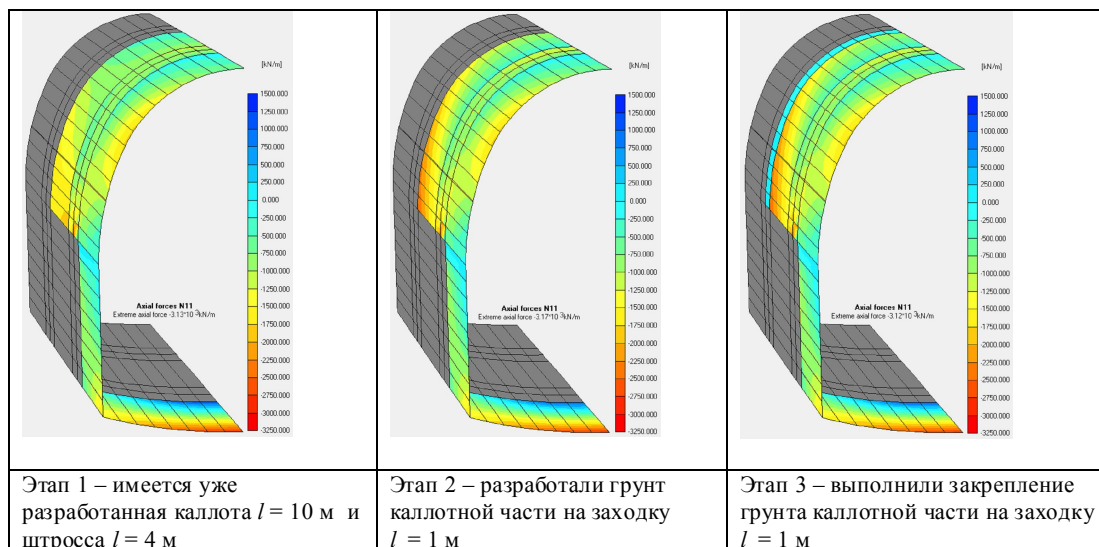


Рис. 3. Эпюры нормальных сил N

Выполненная проверка прочности в опасных сечениях подтверждает значительный запас проектной конструкции обделки особенно с учетом полученных результатов исполнительной геологии.

В данной статье представлены результаты численного анализа напряженно-деформированного состояния обделки автодорожного тоннеля комплекса тоннелей № 1 совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» методом конечных элементов с учетом и без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи.

Разработка методики учета податливой временной набрызг-бетонной крепи в расчетах напряженного состояния обделок тоннелей, сооружаемых горным способом, является весьма актуальной задачей, поскольку внедрение в практику проектирования тоннельных конструкций данной методики должно дать значительный экономический эффект, сокращая сроки строительства и затраты на него.

Для проведения численного анализа напряженно-деформированного состояния обделки автодорожного тоннеля комплекса тоннелей № 1 совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» с учетом и без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи использовали специализированный программный комплекс Plaxis (Нидерланды), основанный на методе конечных элементов и предназначенный для расчетов деформации и устойчивости различных геотехнических объектов. При этом реальная ситуация может быть воссоздана с помощью модели плоской деформации или осесимметричной модели.

В процессе исследования были решены две задачи:

1) проведен численный анализ напряженно-деформированного состояния обделки автодорожного тоннеля комплекса тоннелей № 1 совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи;

2) проведен численный анализ напряженно-деформированного состояния обделки автодорожного тоннеля комплекса тоннелей № 1 совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» с учетом влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи.

Фрагмент конечно-элементной модели представлен на рис. 4. Задача решалась в объемной постановке. Боковые и торцевые грани модели закреплены в направлении осей x и z соответственно. Нижняя грань модели закреплена в направлении оси y . Верхняя грань модели оставалась свободно деформируемой.

Тоннельная обделка при решении второй задачи была смоделирована при помощи программного инструмента Tunnel designer, позволяющего создавать конструкции типа «сэндвич», состоящие из нескольких слоев.

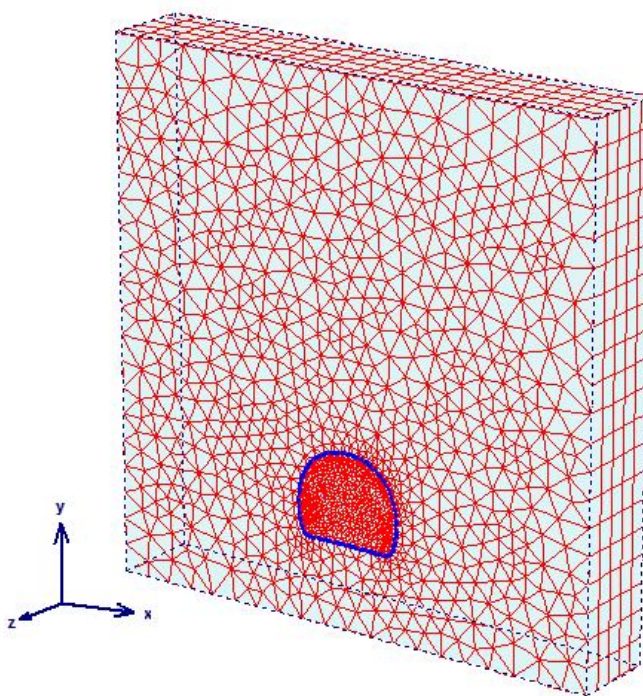


Рис. 4. Фрагмент конечно-элементной модели

Податливая временная набрызг-бетонная крепь (первый слой) моделировалась плитными элементами с заданными жесткостями. Постоянную обделку тоннеля (второй слой) задавали при помощи кластеров — областей, полностью замкнутых линиями, в пределах которых свойства материала однородны.

Для учета влияния прочностных и деформационных свойств пород, слагающих горный массив, и материала крепей решение выполняли:

1) в первом случае в два этапа:

— на первом этапе вычисляли начальное поле напряжений и смещений в нетронутом массиве под действием собственного веса при заданных граничных условиях;

— на втором этапе модель массива с напряженно-деформированным состоянием, определенным на первом этапе, ослабляли выработкой подковообразного очертания, подкрепленной постоянной обделкой;

2) во втором случае в три этапа:

— на первом этапе вычислялось начальное поле напряжений и смещений в нетронутом массиве под действием собственного веса при заданных граничных условиях;

— на втором этапе модель массива с напряженно-деформированным состоянием, определенном на первом этапе, ослаблялась выработкой подковообразного очертания, подкрепленной податливой временной набрызг-бетонной крепью;

— на третьем этапе моделировали постоянную обделку.

Проведенный численный анализ напряженно-деформированного состояния обделки автодорожного тоннеля комплекса тоннелей № 1 совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» показал, что:

— напряжения от горного давления, возникающие в постоянной обделке без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи, находятся в пределах от –3000 до 500 кПа (рис. 5);

— напряжения от горного давления, возникающие в постоянной обделке при учете влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи, находятся в пределах от –300 до 100 кПа (рис. 6).

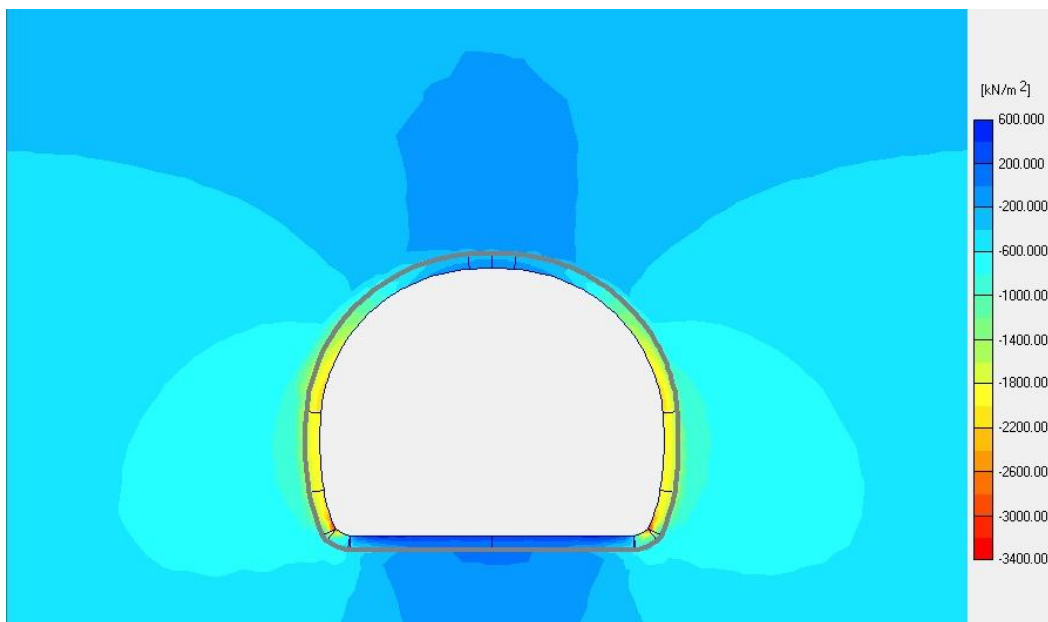


Рис. 5. Напряжения в постоянной обделке тоннеля и окружающем горном массиве без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи

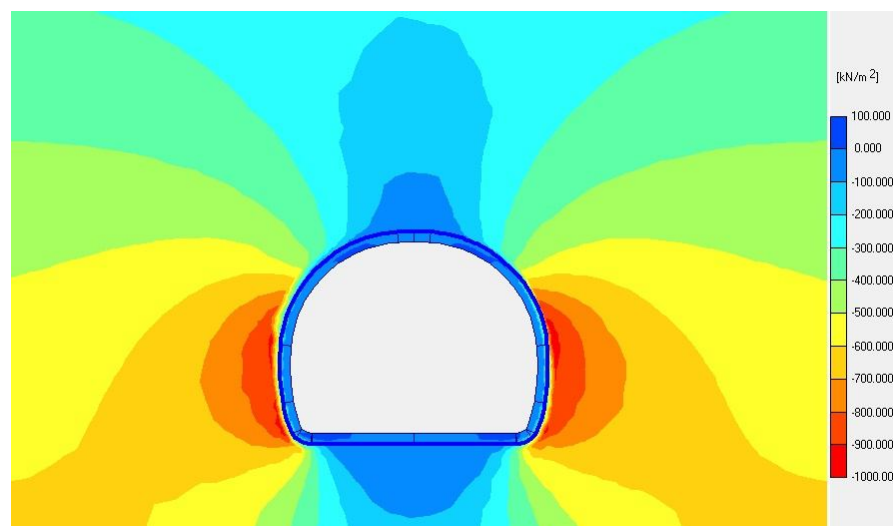


Рис. 6. Напряжения в постоянной обделке тоннеля и окружающем горном массиве с учетом влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи

Таким образом, численный анализ напряженно-деформированного состояния обделки автодорожного тоннеля комплекса тоннелей № 1 совмещенной дороги Адлер — горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» методом конечных элементов с учетом и без учета влияния податливой временной набрызг-бетонной крепи с помощью специализированного программного комплекса Plaxis показал, что к моменту возведения постоянной обделки тоннеля происходит перераспределение напряжений и стабилизация деформаций в горном массиве, при этом большую часть горного давления воспринимает податливая временная набрызг-бетонная крепь.

Применение современных расчетных методов третьей группы обосновано при расчетах сооружений со сложной конструктивной схемой и при желании учесть влияние на сооружение тоннеля дополнительных факторов, таких как порядок производства работ, наличие и податливость временной крепи. Правильное применение расчетных методов третьей группы может приносить экономический эффект, существенно превышающий затраты на проведение подобных расчетов.

Библиографический список

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. 2-е изд. М.: Недра, 1994. 278 с.
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.
3. Ларионов Р.И. Геомеханическое обоснование метода определения нагрузок на обделку железнодорожных тоннелей в горно-геологических условиях Кавказа: Автореф дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2009. 20 с.
4. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. М.: Недра, 1974.

G.N. Poliankin, A.G. Poliankin, D.A. Anoshenko, E.S. Borodina, A.O. Kuznetsov. Tunnelling Risk Assessment of Tunnel Complex №1 at Railway and Motorway (Adler — Ski resort “AlpicaService”).

The article describes tunneling calculation by the methods of structural mechanics and by continuum mechanics calculations and considers their application. Calculation and numerical analysis of deflected mode change with and without consideration of influence of movable temporary spray concrete support are carried out. The findings are resulted in estimation of structural behaviour and economic effect of the applied method.

Key words: *calculation method, load, lining, mountain group, numerical analysis, deflected mode, movable temporary support, economic effect.*