УДК 622.284

Н.А.БЕЛЯКОВ, *студент, nike-bel@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

N.A.BELYAKOV, *student, nike-bel@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Представлено обоснование временной крепи, применяемой при проходке новых выработок, строительство которых предусматривается типовыми проектами реконструкции старых железнодорожных тоннелей.

Методом конечных элементов выполнен анализ изменения напряженно-деформированного состояния вмещающего тоннельный комплекс массива в период проходки новых выработок.

На основании выполненного анализа сделан ряд выводов, позволяющих изыскать возможности уменьшения толщины постоянных обделок новых выработок тоннельного комплекса: нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни.

Ключевые слова: тоннель, обделка, крепь, напряжения, деформация, реконструкция, моделирование.

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE FASTENING OF RAILWAY TUNNELS IN THE CONDITIONS OF THE NORTH CAUCASUS

The article presents the rationale of temporary supports used in the drilling of new mines, which provides for the construction of model projects of reconstruction of old tunnels.

Finite-element method analyzed the changes of stress-strain state containing tunnel complex array during the drilling of new mines.

Based on the analysis, a number of findings to explore the possibility of reducing the thickness of the permanent support of new mines in tunnel complex - the new tunnel, and transport and drainage culvert.

Key words: tunnel, temporary support, permanent support, stresses, deformation, reconstruction, modeling.

На Северном Кавказе активно ведутся работы по строительству новых и реконструкции уже существующих железнодорожных тоннелей. Это главным образом связано с крупномасштабным строительством, приуроченным к проведению в городе Сочи в 2014 г. зимних Олимпийских игр.

Необходимость проведения реконструкции ряда действующих в составе Северо-Кавказской железной дороги тоннельных комплексов вызвана целым рядом причин. Среди них стоит выделить следующие: несоответствие большинства старых (чаще всего двухпутных) тоннелей современным габаритам приближения строений, принятым на железных дорогах РФ; невозможность обеспечения должного уровня безопасности ввиду недостаточной несущей способности старых (чаще всего каменно-блочных) обделок тоннелей (например, при обследовании обделки существующего Новороссийского тоннеля были выявлены отдельные кольца обделки, прочность материала в которых не превышала прочности бетона класса В10); невозможность обеспечения необходимого уровня гидроизоляции.

При проведении реконструкции такого типа чаще всего используется следующая схема проведения работ. Существующий двухпутный тоннель после реконструкции будет действовать как однопутный. Лотковая часть существующего тоннеля дорабатывается до тех пор, пока в сечение выработки не впишется габарит приближения строений «С» по высоте (ввиду того, что существующий тоннель изначально был двухпутным, необходимость доработки сечения по ширине отсутствует). Доработанная лотковая часть существующего тоннеля крепится с помощью анкерной крепи (чаще всего применяют железобетонные анкеры). В качестве постоянной используется монолитная железобетонная обделка, возводимая под защитой временной крепи после завершения проходческих работ.

Для пропуска поездов по встречному направлению предусматривается проходка новой выработки однопутного железнодорожного тоннеля. Процесс предполагается выполнять по уступной технологии, которая состоит из следующих основных этапов. Производится разработка верхней (калоттной) части железнодорожного тоннеля на размер заходки. Затем на некотором расстоянии от забоя выработки устанавливается металлическая анкерная и набрызгбетонная крепь (на участках трассы тоннеля со сложными горно-геологическими условиями используется аркобетонная крепь с рамами из двутаврового профиля и бетонной затяжкой межрамного пространства). После калоттной части начинают разрабатывать нижнюю (штроссовую) часть железнодорожного тоннеля с оставлением защитных берм. После ядра сечения нижнего уступа приступают к разработке защитных берм малыми заходками с последующей установкой крепи штроссовой части. Далее цикл повторяется. Отставание установки крепи от забоя определяется технологией ведения работ и установки крепи, а также устойчивостью пород кровли.

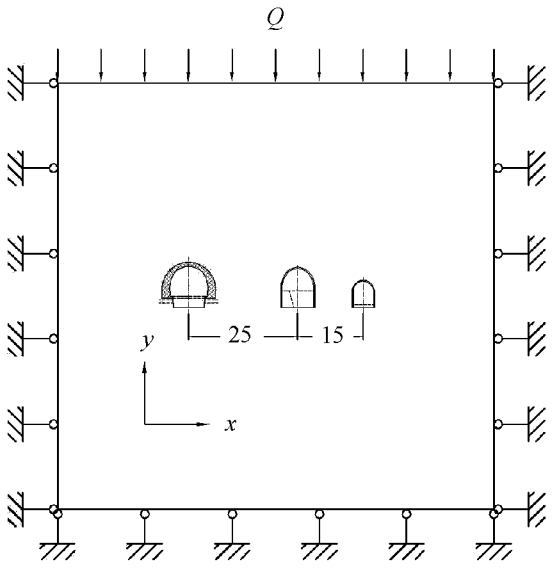


Рис. 1. Принципиальная расчетная схема

При возможности больших сезонных (или дождевых) водопритоков в тоннельный комплекс, помимо двух транспортных выработок, включается дренажная (или дренажно-транспортная) штольня. Проходка дренажной штольни также осуществляется по уступной технологии аналогично проходке новой тоннельной выработки, но с учетом меньшей площади ее сечения (в этом случае защитные бермы не оставляются, а штроссовая часть штольни разрабатывается на всю площадь поперечного сечения нижнего уступа с последующей установкой крепи).

В качестве постоянных обделок выработок нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни используются монолитные железобетонные обделки. Монтаж постоянных обделок производится после завершения проходческих работ, т.е. изначально выработки проходят на проектную длину под защитой временного крепления.

Физико-механические свойства материалов обделок, крепей, анкеров и породного массива, приведенные в таблице, характеризуют наиболее тяжелые условия проведения выработок тоннельного комплекса.

Для геомеханического обоснования крепления выработок тоннельного комплекса (как постоянного, так и временного) при проведении реконструкции старых двухпутных железнодорожных тоннелей в условиях Северного Кавказа использовалось математическое моделирования с помощью метода конечных элементов.

Геометрические параметры и компоновочное решение рис.1 соответствуют данным

типового проекта организации комплекса работ по реконструкции существующего двухпутного тоннеля в условиях Северного Кавказа. Задача решалась в плоской постановке при следующих граничных условиях. Низ модели закреплен в вертикальном направлении (по оси $0Y$). Боковые поверхности массива закреплены в горизонтальном направлении (по оси $0X$). Верхняя поверхность модели оставлена свободно деформируемой. Рассматриваемый участок тоннельного комплекса расположен под толщей массива мощностью 120 м. Начальное поле напряжений получено с учетом гравитационного поля Земли, расчетной сейсмичности района строительства 9 баллов, а также с учетом влияния на конфигурацию поля напряжений существующего на момент начала комплекса работ по реконструкции выработки двухпутного тоннеля.

Нагрузка Q (см. рис.1), возникающая от веса вышележащей толщи грунта, составляет 2,83 МПа.

Физико-механические свойства материалов

Показатель	1	2	3	4
1. Объемный вес, кН/м^3	23,54	25	25	22
2. Статический модуль упругости, МПа	1800	–	–	–
3. Модуль общей деформации, МПа	970	–	–	–
4. Коэффициент поперечной деформации	0,35	–	–	–
5. Угол внутреннего трения, град	10	–	–	–
6. Сцепление, МПа	0,2	–	–	–
7. Модуль упругости, МПа		30000	30000	13050
8. Коэффициент Пуассона		0,2	0,2	0,25

Примечание. 1 – породный массив (переслаивание мергелей известковых, мергелей глинистых, песчаников известковых сильнотрещиноватых, до раздробленных); 2 – временная крепь нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни (бетон класса В25, толщина 240 мм в новом тоннеле и 200 мм в штольне; 3 – постоянная обделка нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни (монолитный бетон класса В25 толщиной от 460 мм в шелыге свода до 920 мм в боках для нового тоннеля и толщиной 300 мм для штольни); 4 – обделка существующего железнодорожного тоннеля (блочно-каменная обделка толщиной от 680 мм в своде до 850 мм в стенах).

Дополнительные напряжения от сейсмической активности вычислялись с учетом скорости распространения упругой волны во вмещающем массиве и составили 150,96 кПа*.

Составленная в итоге конечно-элементная модель учитывает технологию выполнения проходческих работ (последовательность выполнения комплекса горно-проходческих работ), пластические свойства породного массива и дополнительные динамические напряжения, возникающие в результате проявления сейсмической активности.

Для оценки устойчивости нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни, закрепленных временным креплением, по результатам моделирования были построены эпюры распределения радиальных напряжений на внешних контурах и нормальных тангенциальных напряжений на внутренних контурах временных крепей вышеуказанных выработок (рис.2).

Из представленных на рис.2 эпюр распределения нормальных тангенциальных напряжений на внутренних контурах временных крепей как нового тоннеля, так и транспортно-дренажной штольни можно заключить, что значения этих напряжений ни в одной из точек внутренних контуров не превышают расчетного сопротивления сжатию материала временных крепей даже с учетом возможных сейсмических воздействий (в качестве материала используется бетон класса В25 с прочностью на сжатие 14,5 МПа). Следовательно существующие конструкции временных крепей новых выработок рассматриваемого тоннельного комплекса полностью адекватны действующим на них нагрузкам.

Также на основании выполненного моделирования было выявлено, что в возводимых после завершения проходки под защитой временной крепи постоянных обделках возникают лишь незначительные по размеру напряжения, не превышающие 1,5-2 МПа.

* *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1994. 382 с.

Bulichev N.S. Mechanics of the underground constructions: The textbook for higher schools. The second edition. Moscov: Nedra, 1994. 382 p.

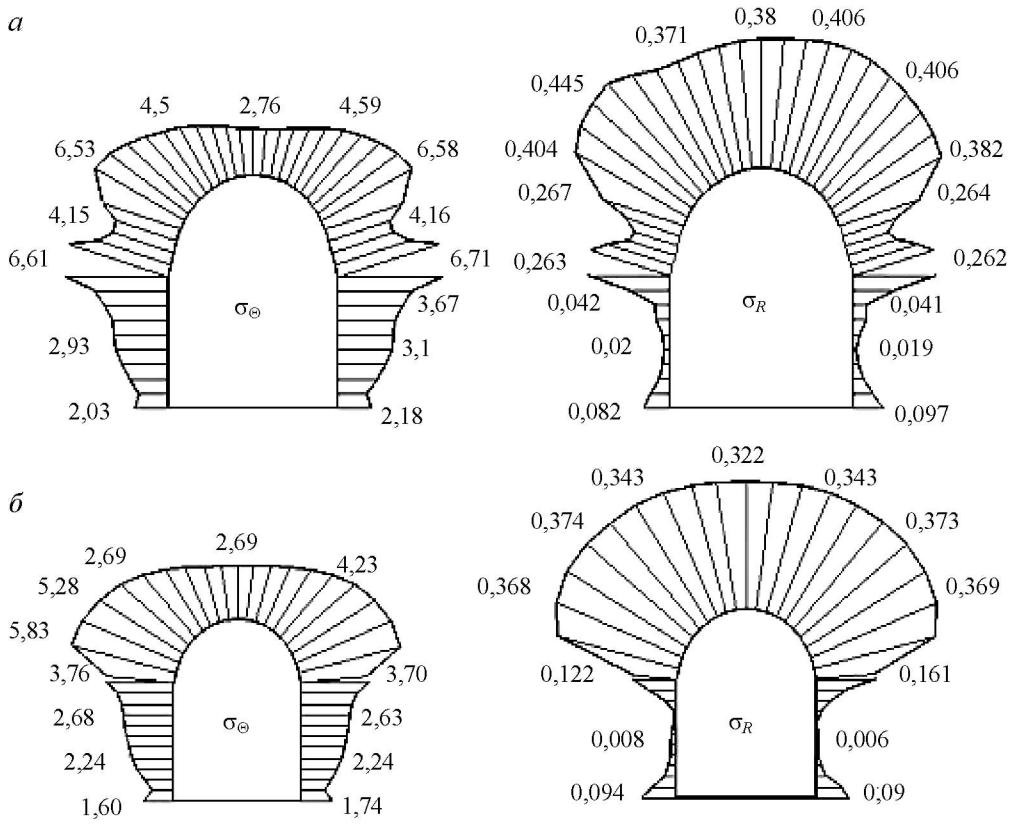


Рис. 2. Эпюры распределения нормальных тангенциальных и радиальных напряжений в мегапаскалях: *а* – новый тоннель; *б* – транспортно-дренажная штольня

На основании малости абсолютных значений напряжений, возникающих внутри постоянных обделок, можно заключить, что постоянная обделка возводится под защитой временной крепи в период, когда поле напряжений в массиве вокруг новых выработок и в самой временной крепи уже практически сформировалось. По результатам, полученным при моделировании, временные обделки являются способными воспринимать полностью сформировавшуюся во времени нагрузку в течение достаточно продолжительного периода.

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод о нецелесообразности использования постоянных обделок нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни толщиной, указанной в таблице.

По результатам выполненного в последующем моделирования выяснилось, что существует возможность уменьшения толщины постоянной обделки нового тоннеля и транспортно-дренажной штольни по отношению к типовому варианту, приведенному в таблице, на 35-50 % в зависимости от горно-геологических условий конкретного участка строительства тоннельного комплекса. При этом нет оснований ожидать проявления каких-либо негативных последствий.

С экономической точки зрения уменьшение толщины постоянной обделки новых выработок даст существенную экономию денежных средств за счет значительного уменьшения необходимого объема крепежного материала (около 40 % по отношению к типовой постоянной обделке, характеристики которой представлены в таблице), а также за счет уменьшения трудоемкости возведения постоянной обделки. Кроме того, принципиально существует возможность уменьшения площади поперечного сечения новых выработок на предлагаемое уменьшение толщины постоянной обделки, что уменьшит необходимый объем выработки грунта, а это самым благоприятным образом

скажется на общей стоимости всего комплекса работ по реконструкции тоннельного комплекса.

В заключение необходимо отметить, что точное геомеханическое и технологическое обоснование параметров комплекса работ по реконструкции существующих и строительству новых железнодорожных тоннелей представляется очень важным ввиду несовершенства имеющихся на сегодняшний день проектов такого типа. Научный подход к оптимизации отдельных параметров даст возможность получить значительный экономический эффект, повысить надежность тоннельных комплексов при эксплуатации и обеспечить более высокий уровень безопасности при их строительстве или реконструкции.

Научный руководитель д-р техн. наук, професор *А.Г.Протосеня*