УДК 622.284

В.Л.ТРУШКО, *д-р техн. наук, профессор, trushko@spmi.ru*
А.Н.ШОКОВ, *студент, ntl2000@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

V.L.TRUSHKO, *Dr. in eng. sc., professor, trushko@spmi.ru*
A.N.SHOKOV, *student, ntl2000@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ТАМПОНАЖА ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ В ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГЛИНАХ

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния пород призабойной зоны при разных отставаниях вступления крепи в работу от забоя с использованием метода конечных элементов. Построены графические зависимости напряжений, смещений, конфигурации зоны неупругих деформаций пород призабойной зоны, из которых получена зависимость влияния первичного тампонажа на напряженно-деформированное состояние.

***Ключевые слова*:** тоннели, протерозойские глины, смещение, тампонаж.

QUALITY INFLUENCE OF GROUTING PROCESS FOR VOLUME STRESS-STRAIN CONDITION OF THE SOILS MASS NEAR THE TUNNEL'S FACE WHICH SITUATED IN THE PROTEROZOIC CLAYS

The analysis of soils stress-strain condition for different lining including in work period retards from tunnel's face with applying of finite-elements method is adduced. The graphical relations of stresses, displacements, soils inelastic area configuration were obtained. According to these relations final graphical relation of temporary grouting influence for permanent lining stress-strain condition was developed.

***Key words*:** tunnel's, proterozoic clays, displacements, grouting.

Строительство выработок большого сечения в протерозойских глинах сопряжено с опасностью вывалообразований в призабойной зоне, особенно на участках, где мощность протерозойских глин от кровли выработки до контакта с четвертичными отложениями относительна мала. Порода разрабатывается отбойными молотками на полное сечение с уступов, с временным креплением лба забоя. При отступлениях в технологии разработки и крепления не исключено продавливание глин весом четвертичных отложений в забой тоннеля.

В связи с этим актуальна оценка влияния первичного нагнетания тампонажного раствора за обделку на устойчивость обнажений призабойной зоны. Чем быстрее и качественнее будет проведен тампонаж пустот за обделкой, тем быстрее крепь вступит в работу. Это играет важную роль в уменьшении деформаций пород в призабойной части тоннеля и осадок поверхности. Пер-

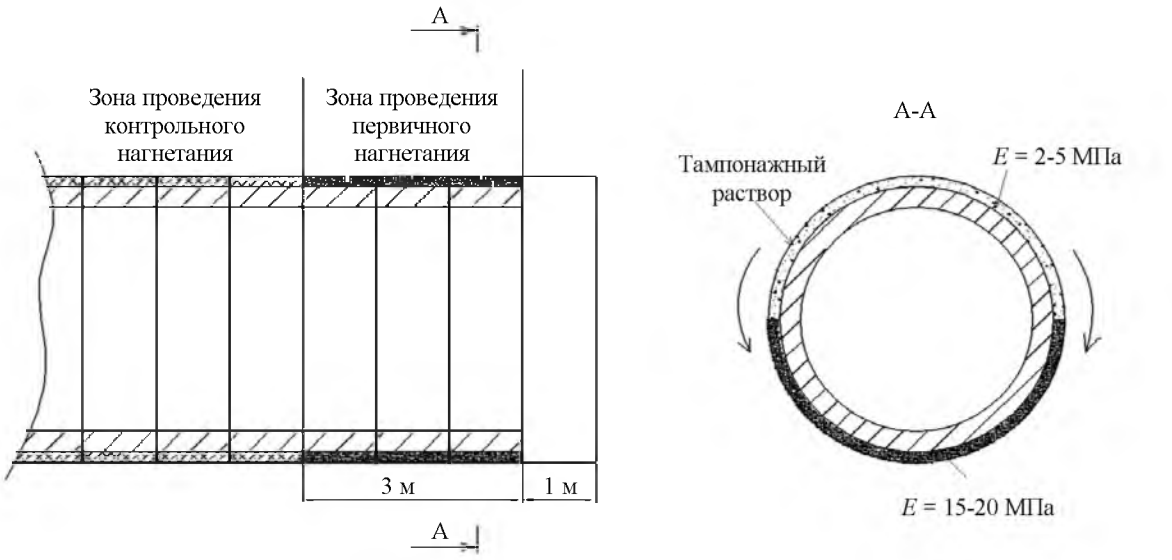


Рис.1. Схема тампонажа закрепного пространства

вичное нагнетание производят сразу после монтажа кольца, а контрольное – с отставанием от забоя на 3 м (рис.1). При первичном тампонаже закрепного пространства не обеспечивается равномерная укладка раствора за обделку, так как раствор стекает в нижнюю часть закрепного пространства. Модуль деформации тампонажного материала в верхнем и нижнем секторах отличается примерно в 3-4 раза. В зависимости от качества пикотажа зазора между обделкой и породой, давления нагнетания и полноты заполнения пустот в кровле тампонажным раствором момент контакта обделки с породой может отставать от 1 до 3 м и более.

Для установления зависимости влияния качества проведения первичного тампонажа закрепного пространства на напряженно-деформированное состояние пород призабойной зоны использована пространственная конечно-элементная модель* участка массива с размерами 90 × 90 × 90 м. Принята упругопластическая модель поведения массива, так как протерозойским глинам свойственно проявление пластических деформаций. Нагрузка в модели зависит от веса пород. Диаметр тоннеля (9,8 м), соответствует размерам среднего станционного тоннеля метрополитена. Тип обделки – сборная из блоков шириной 1 м, устанавливаемых под забой. Мощность защитной потолочины протерозойских глин в кровле тоннеля составляет 20 м. Временное крепление лба забоя тоннеля, состоящее из трубчатых телескопических расстрелов с деревянной затяжкой, имитируется на модели распределенной нагрузкой по всей площади забоя. Основные характеристики свойств вмещающих пород выбраны для наиболее неблагоприятных участков строительства тоннеля**:

* *Протосеня А.Г.* Постановка задач по расчету напряженного состояния около выработок / А.Г.Протосеня, М.О.Лебедев // Межвузовский сборник научных трудов «Устойчивость и крепление горных выработок»; СПГГИ. СПб, 1999. С.115-118.

Protosenya A.G., Lebedev M.O. The definition of the tasks in the field of definition of stress condition near the minings // The digest of the scientific works «The stability and mounting of the minings»; Saint Petersburg State Mining Institute. 1999. P.115-118.

** *Протосеня А.Г.* Определение пространственного напряженно-деформированного состояния слабого грунтового массива в призабойной части при проходке тоннеля с использованием пригруза забоя / А.Г.Протосеня, Н.А.Беляков // Записки Горного института. 2011. Т.190. С.149-163.

Protosenya A.G., Belyakov N.A. The determination of the volume stress-strain conditions of the soil massif in the face area of the tunnel in conditions of drafting with using of contledge of the face // Notes of Mining Institute. Saint-Petersburg, 2011. Vol.190. P.149-163.

Физико-механические свойства пород	Четвертичные отложения	Протерозойские глины
Объемная плотность, кН/м^3	21,56	23,52
Модуль общей деформации, МПа	50	120
Коэффициент Пуассона	0,3	0,3
Угол внутреннего трения, град.	12	18
Сцепление, МПа	0,1	0,15

Различия в качестве первичного нагнетания тампонажного раствора за обделку на модели представлены путем изменения расстояния вступления крепи в работу от забоя (1, 2, 3 м).

На моделях получены зависимости вертикальных и продольных напряжений и смещений пород в призабойной зоне по центральной оси тоннеля от расстояния до плоскости забоя (рис.2).

По изменениям вертикальных напряжений по центральной оси тоннеля следует, что в призабойной зоне находится обширная зона пониженных напряжений, простирающаяся от плоскости забоя в глубину на расстояние, соизмеримое с диаметром тоннеля. Аналогичны изменения и продольных горизонтальных напряжений. Однако значения напряжений в породах призабойной зоны при отставании обделки на 1 и 3 м отличаются незначительно – до 5 %.

По изолиниям продольных смещений (рис.3) видно, что зона наибольших смещений образуется в центральной части тоннеля, с удалением от плоскости забоя линейно

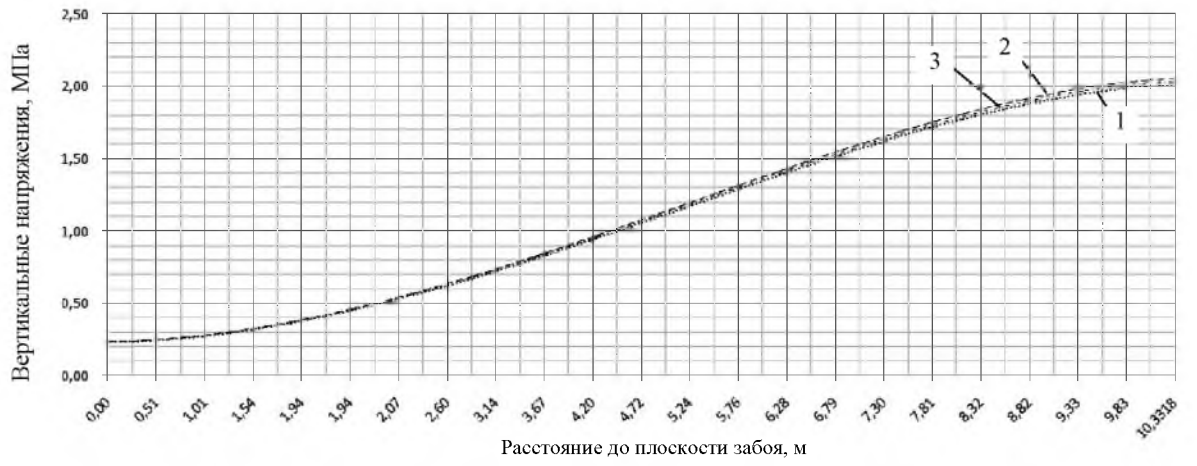


Рис.2. Зависимость вертикальных напряжений пород призабойной зоны от расстояния до плоскости забоя
1 – 1 м; 2 – 2 м; 3 – 3 м

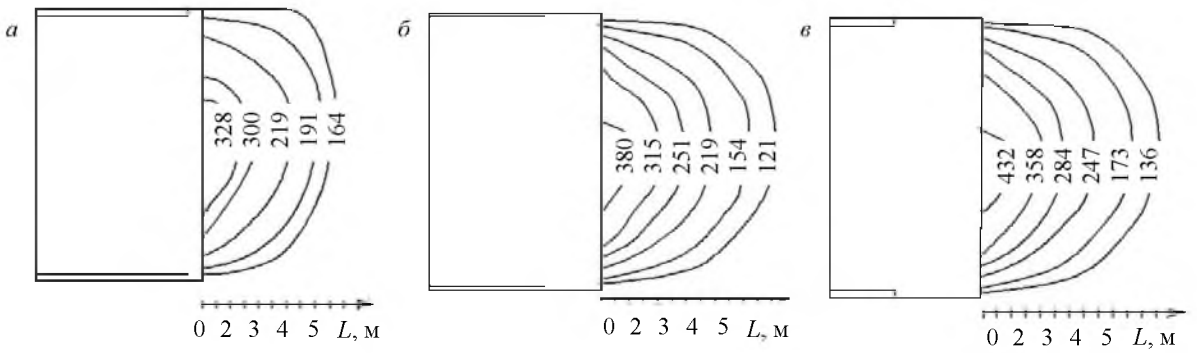


Рис.3 Изолинии продольных смещений (мм) в породах призабойной зоны при вступлении крепи в работу на расстоянии от забоя: *а* – 1 м; *б* – 2 м; *в* – 3 м

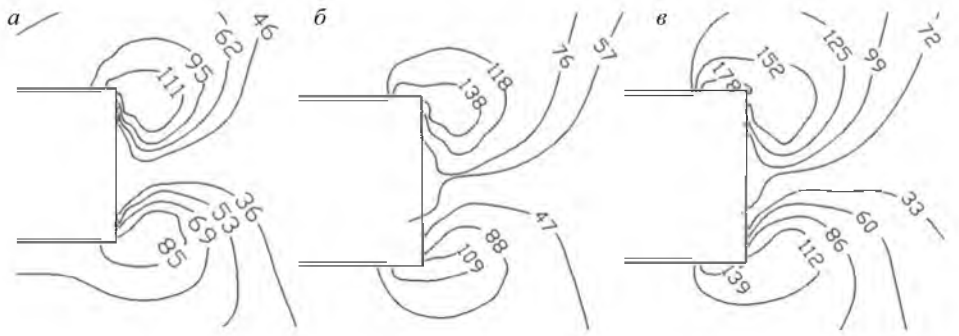


Рис.4 Изолинии вертикальных смещений в породах призабойной зоны при вступлении крепи в работу на расстоянии от забоя: *а* – 1 м; *б* – 2 м; *в* – 3 м

уменьшается. При качественно проведенном тампонаже закрепного пространства, когда длина обнаженной поверхности составляет 1 м и крепь вступает в работу сразу после установки, максимальные продольные смещения в центре выработки составляют 328 мм. При увеличении расстояния вступления крепи в работу от забоя до 2 и 3 м смещения возрастают на 16 и 25 % соответственно.

На рис.4 представлены изолинии вертикальных смещений пород в призабойной зоне. Область смещений располагается в верхней зоне забоя. В отличие от продольных смещений, зависимость вертикальных смещений от расстояния между крепью и забоем заметнее. Так, при вступлении крепи в работу на расстоянии от забоя от 1 до 2 и 3 м вертикальные смещения увеличиваются на 20 и 38 %.

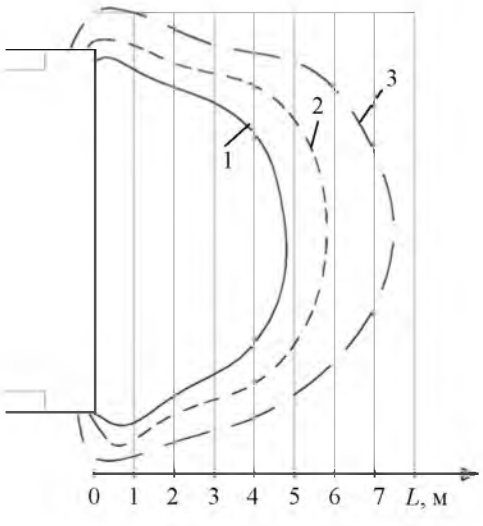


Рис.5. Конфигурация области неупругих деформаций пород призабойной зоны при различных расстояниях вступления крепи в работу от забоя

1 –1 м; 2 – 2 м; 3 –3 м

Конфигурация области неупругих деформаций пород в призабойной зоне по центральной оси тоннеля при различных отставаниях вступления крепи в работу представлена на рис.5. Область включает зону, в которой наиболее вероятны проявления пластических деформаций с потерей устойчивости, вывалообразованием и отслоениями крупных блоков глины из груды забоя. При вступлении крепи в работу сразу после установки глубина зоны пластических деформаций от плоскости забоя составляет 5 м. С отставанием вступления крепи в работу до 2 и 3 м зона увеличивается до 6 и 7,5 м соответственно.

Выполненные исследования напряженно-деформированного состояния пород призабойной зоны подтверждают, что увеличение расстояния между забоем и вступлением крепи в работу ведет к существенному увеличению смещений и размеров зоны неупругих деформаций в породах призабойной зоны, что, в свою очередь, негативно сказывается на устойчивости забоя тоннеля.

Таким образом, разработка улучшенных составов тампонажных смесей, повышение качества проведения первичного тампонажа закрепного пространства, сокращение отставания от забоя контрольного тампонажа являются приоритетными задачами при строительстве тоннелей большого поперечного сечения в сложных горно-геологических условиях.