

Немного об устойчивости проходческого забоя Алексеев А. В.

*Алексеев Александр Васильевич / Alekseev Aleksandr Vasilievich – аспирант,
кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений,
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

Аннотация: в этой статье приведены некоторые методы, которые могут быть использованы для определения поведения забоя туннеля во время проходки. Приведены способы повышения устойчивости забоя.

Abstract: in this article are some methods that can be used to determine the behavior of the tunnel face during excavation. There are ways to improve the stability of tunnel face.

Ключевые слова: устойчивость забоя; метод оценки устойчивости забоя; забой туннеля.

Keywords: stability of tunnel face; method of evaluation of the tunnel face stability; face of the tunnel.

Устойчивость забоя при проходке является одной из самых важных статических задач в области туннелестроения. В настоящее время туннель обычно разрушается из-за неприятностей в проходке забоя. Это явление наблюдается как в туннелях, пройденных в грунте, так и тех, что пройдены в скальных породах [2, с. 1995]. Кроме того, обвалы в туннеле были зафиксированы как в туннелях мелкого, так и в туннелях глубокого заложения.

Устойчивость забоя может быть оценена через численные методы расчета (с осесимметричной двумерной или трехмерной геометрией) или аналитические. Численные методы позволяют получить очень подробную оценку напряжений и деформаций (в условиях грунта или скальной породы) в опорах, предусматривающих учет структуры и армирующих элементов. Упрощенные аналитические методы широко используются в туннелестроении т.к. они быстры в расчете и интерпретации результатов.

Теория блока описывает устойчивость выработок в трещиноватых скальных массивах [3].

Это трехмерный метод расчета, который использует подход аналитической геометрии для тщательного изучения, как самих систем трещин, так и их взаимодействия, в целях выявления устойчивости «ключевых блоков», определяющих устойчивость всей незакрепленной выработки (рис. 1) [1].

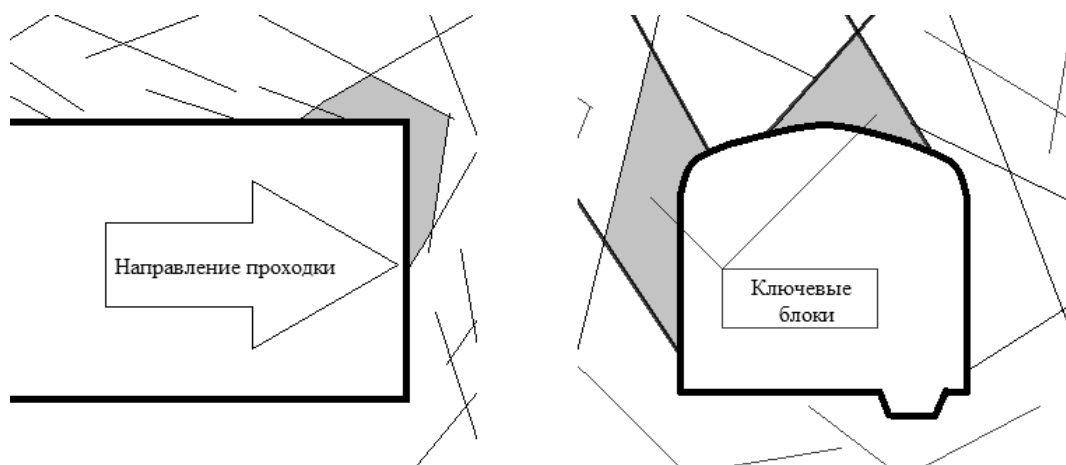


Рис. 1. «Ключевые блоки» в скальных породах

Таким образом, чтобы обеспечить устойчивость забоя в таком случае, необходимо обеспечить устойчивость самих блоков, так как в случае, когда блок потеряет равновесие, система трещин начнет разрушаться по пути наименьшего сопротивления.

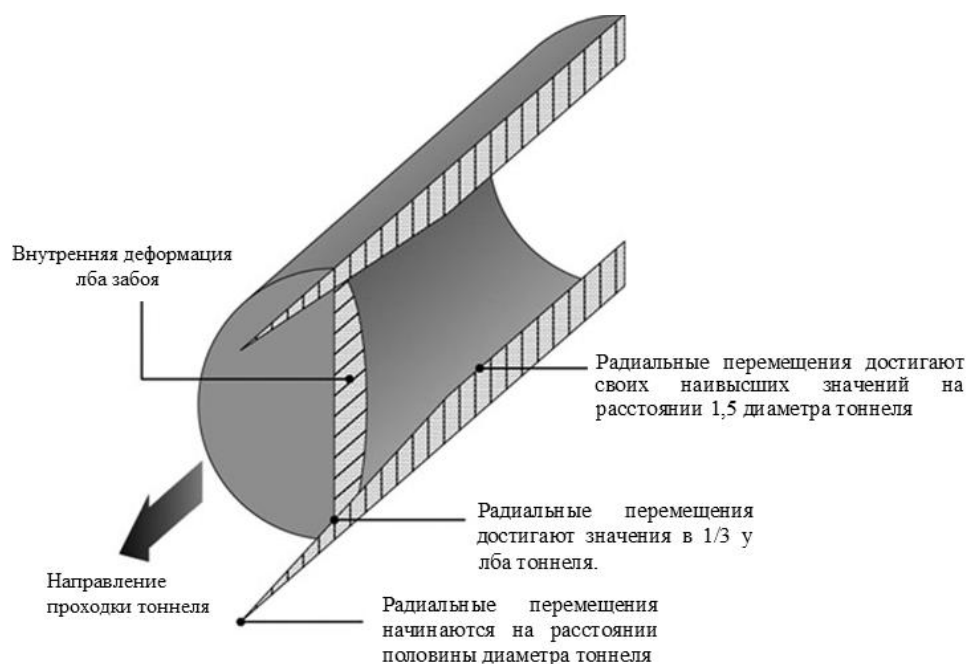


Рис. 2. Пример радиальной деформации сверху и снизу туннеля по мере проходки (Ноек 2013)

В случае отсутствия реологии, зависимость напряженно-деформированного состояния во времени, в сечении, перпендикулярном направлению проходки, может быть представлена как зависимость расстояния от забоя. В частности, выемочные работы предполагают радиальное перемещение периметра к центру полости, как позади, так и впереди забоя (рис. 2). Такое поведение будет характерно для упругих массивов, которые будут стремиться восстановить свою форму. В таком случае необходимо создать избыточное давление на стенки и забой туннеля, которые бы уравнивали все нагрузки.

Однако грунт является материалом с очень нелинейным, и часто необратимым (пластическим) поведением. Кроме того, в определенных условиях, почти все материалы (как горные породы, так и грунты, за исключением сыпучих грунтов) показывают важные реологические свойства (зависят от времени). Это говорит о том, что при расчете забоя на устойчивость необходимо учитывать время его обнажения и нахождения его в незакрепленном состоянии.

Устойчивость проходки забоя в глубоком туннеле может быть оценена с определенной степенью точности, используя метод схождения перемещений (рис. 3).



Рис. 3. Приближение забоя выработки с полусферой с радиусом, равным радиусу туннеля. Положение центра полусферы перенесено на $\frac{1}{2}R$ относительно забоя выработки, где R обозначает радиус туннеля

Суть этого метода в том, что на основе анализа напряжений, можно предсказать, будет ли грунт показывать полностью упругие свойства или же есть пластичные зоны (пластичная кора) на контакте с полусферической поверхностью, которая представляет лоб забоя. Для этого вводится радиус пластичности R_{pl} , в зависимости от значения которого определяется модель поведения массива впереди забоя. Если R_{pl} ниже нуля, вокруг сферы пластическая зона формироваться не будет, и весь материал будет иметь упругое поведение. Если, напротив, R_{pl} выше нуля, будет формироваться пластическая зона (между $r = R$ и $r = R_{pl}$), внутри которой радиальные напряжения снизятся с $\sigma_r = \sigma_{Rpl}$ для $r = R_{pl}$ до $\sigma_r = 0$ при $r = R$.

С помощью этой гипотезы, можно легко перейти к оценке напряжений, которые развиваются в грунте впереди проходческого забоя. Наличие пластической зоны впереди проходческого забоя обычно указывает на неустойчивость различной степени (в зависимости от толщины пластической зоны), с последующей возможностью разрушения породного обнажения, или, по крайней мере, показывает отрыв частей материала различного размера.

Приближение лба забоя к геометрии полушария делает возможным переход к оценке радиальных и кольцевых напряжений, так как можно воспользоваться сферической симметрией.

Так как грунт состоит из породы, воздуха (поры) и воды, то необходимо так же учитывать наличие влаги в массиве. Метод, предложенный Tamez можно применять как для сыпучих, так и для связных грунтов, и может быть адаптирован к различным условиям фильтрации. Этот метод рассматривает равновесную призму нагрузки на забой (рис. 5) и определяет коэффициент запаса устойчивости как соотношение стабилизирующих и дестабилизирующих сил.

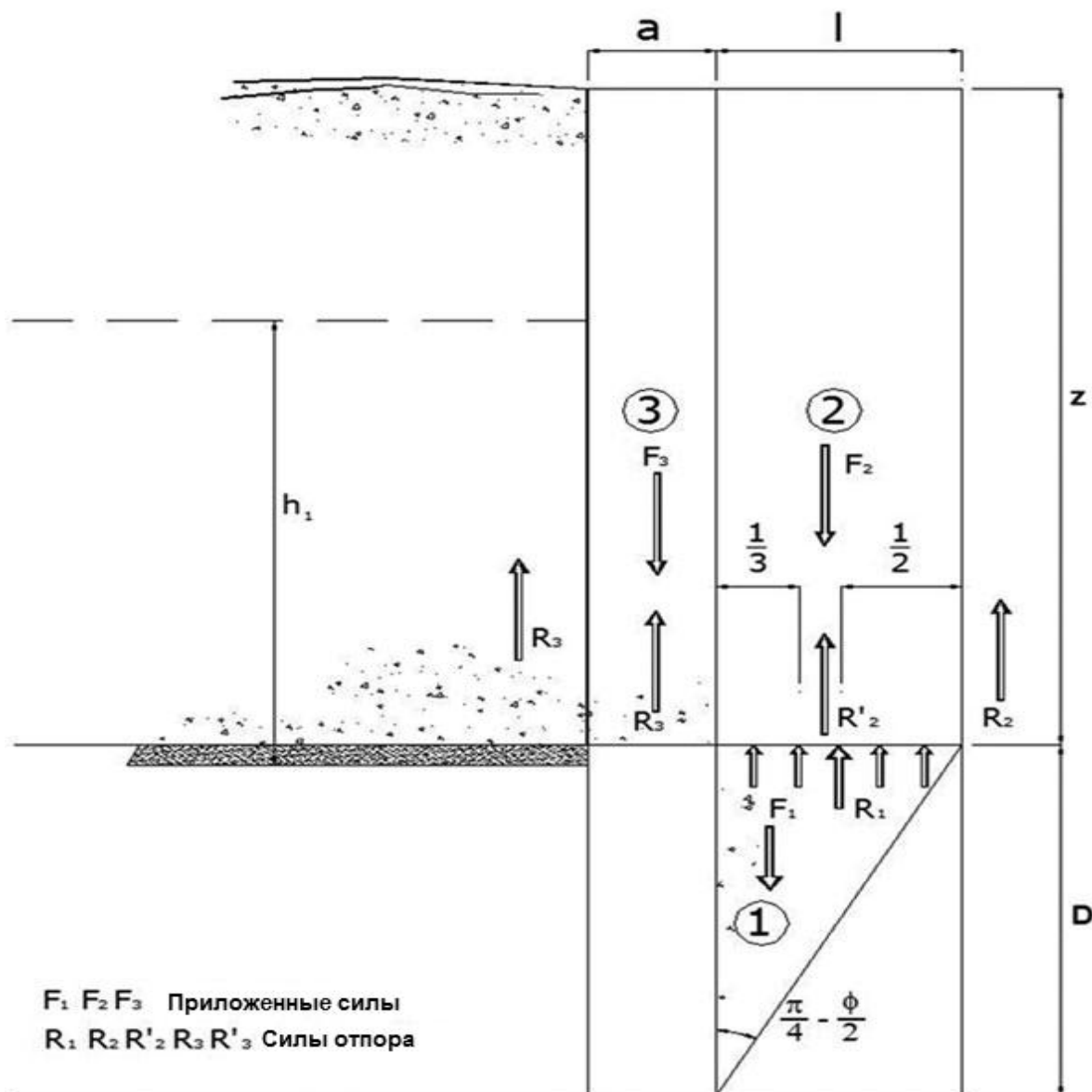


Рис. 4. Схема нагрузок по Tamez

В общем, коэффициент запаса должен быть более 1,3, чтобы гарантировать устойчивость [4]. Где это не выполняется без стабилизации давления в забое, величина давления, которая обеспечивает устойчивость забоя, должна быть найдена, и, в зависимости от нее, рассчитано количество поддерживающих элементов.

В этой статье приведены некоторые методы, которые могут быть использованы для определения поведения забоя туннеля во время проходки. Эти методы основаны на «основных» величинах, которые позволяют провести незамедлительную оценку. В общем, можно выделить следующие ситуации:

- Устойчивый забой: никакие усиливающие меры не требуются.
- Краткосрочно стабильный забой: для устойчивого состояния рекомендованы усиливающие конструкции.
- Нестабильный забой: необходимо выполнение стабилизирующих забой работ.

С аналитической точки зрения, меры по стабилизации забоя, это либо создание гидростатического давления на забой (в зависимости от напряжений), либо улучшение механических свойств основного материала (увеличение сцепления).

Тумепамыра

1. *Gattinoni P, Pizzarotti E. M., and Scesi L.* Engineering Geology for Underground Works. Dordrecht Heidelberg NewYork London: Springer, 2004.
2. *Oreste P.* Evaluation of the Tunnel Face Stability through a Ground Stress Analysis with a Hemispherical Geometry Approximation // American Journal of Applied Sciences. Dec 2014. No. 11. pp. 1995-2003.
3. *Shi G., Goodman R.* Block theory and its application to rock engineering. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1985.
4. *Tamez E.* Estabilidad de tuneles excavados en suelos. Mexico: Curso Victor Hardy 85, 1985.