

УДК 69.035.4

**А.М. Павленко**

## **УПРОЧНЕНИЕ ГРУНТОВ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

*Предложен способ закрепления грунтов во время проходки тоннеля под зданиями и сооружениями для повышения их устойчивости, заключающийся том, что за счет создания нескольких защитных контуров с использованием закрепляющего быстротвердеющего раствора в регулируемом диапазоне и расчетных концентраций, упрочняются рыхлые грунты по полупериметру впереди проектной зоны проходки.*

*Ключевые слова: тоннель, раствор, проходка, концентрация, грунт, устойчивость, упрочнение.*

**A.M. Pavlenko**

### **THE SOIL STABILIZING DURING CONSTRUCTION OF A TUNNEL IN THE CONDITIONS OF DENSE URBAN AREAS**

*A technique for soil stabilization during tunneling under buildings and constructions is proposed. The technique is based on building several safe contours made of fixative quick-hardening solution, the time of hardening and concentration is calculated. The loose soils along the perimeter of planned zones of tunneling are stabilized.*

*Key words: Tunnel, solution, tunneling, concentration, soil, hardness, stabilization.*

**В** условиях плотной городской застройки спецификой геомеханических процессов происходящих при сооружении городских подземных магистралей, зачастую проектируемых неглубоким заложением в толще рыхлых, неустойчивых породах, является возникновение больших по площади зон неравномерных осадок земной поверхности, на которых построены здания и сооружения, представляющие большую историческую ценность. Возникаемые деформационные возмущения, достигая земной поверхности, образуют мульду

сдвижений (оседаний). Обеспечение сохранности подобных объектов возможно без снижения или минимизация сдвижений земной поверхности, достигающих земной поверхности.

Ряд тоннелей имеют неглубокое заложение в связи с особенностями горно-геологических условий, поэтому мульда сдвижения охватывает незначительную площадь земной поверхности, тем не менее, вызывая деформации и повреждения, зданий и сооружений.

Появление любой полости в массиве горных пород нарушает природное равновесие, определяемое системой гравитационных и тектонических нагрузок на массив, возникающие около выработки сдвижения, распространяясь в массиве с затуханием, при этом достигают земной поверхности, образуя мульду сдвижений.

Проблема охраны зданий, сооружений и разветвленной сети инженерных коммуникаций от вредного влияния горнопроходческих работ по-прежнему актуальна и в наши дни. В зону влияния проходческих работ зачастую, попадают целые кварталы

мегаполиса, представленные зданиями постройки XVIII в., начала XX в. и требующие определенных мер защиты. Здания и сооружения, имеющие конструктивные меры защиты, рассчитываются на определенные деформации поверхности, от надежности расчета которых зависит вероятность повреждения объектов при их подработке. Меры защиты определяются на стадии перспективного планирования проходческих работ по сооружению тоннеля.

Таким образом, задачу разработки способов защиты сдвижений на земной поверхности, возникающих на стадии строительстве подземных сооружений, следует признать по-прежнему актуальной, особенно в свете наметившихся перспектив проведения тоннеля в старых частях города.

Сооружение тоннелей даже в сухих и устойчивых горных породах воздействует, как на грунтовый массив, непосредственно окружающий выработку, так и на всю подрабатываемую толщу вплоть до действующего здания и сооружения расположенного над участком сооружения тоннеля. Степень этого воздействия зависит от многих факторов, среди которых играют те, что связаны с укреплением окружающих сооружаемый тоннель грунтов. Характерной особенностью процессов происходящих при сооружении тоннелей является наличие рыхлых грунтовых масс и не тщательное крепление выработок крепью рассчитанной на длительное восприятие горного давления.

Однако прежде чем сооружать тоннель необходимо сделать прогнозный расчет сдвижений и влияния его на конкретные здания и сооружения, необходимо изучить особенности горно-геологических условий грунтов на участке разработки.

Среди огромного многообразия геологических условий, в которых сооружаются транспортные тоннели и тоннели метрополитенов, встречаются породные толщи преимущественно осадочного происхождения до глубин порядка 20-50 м с наличием достаточно неустойчивых грунтовых массивов, где и сооружаются тоннели.

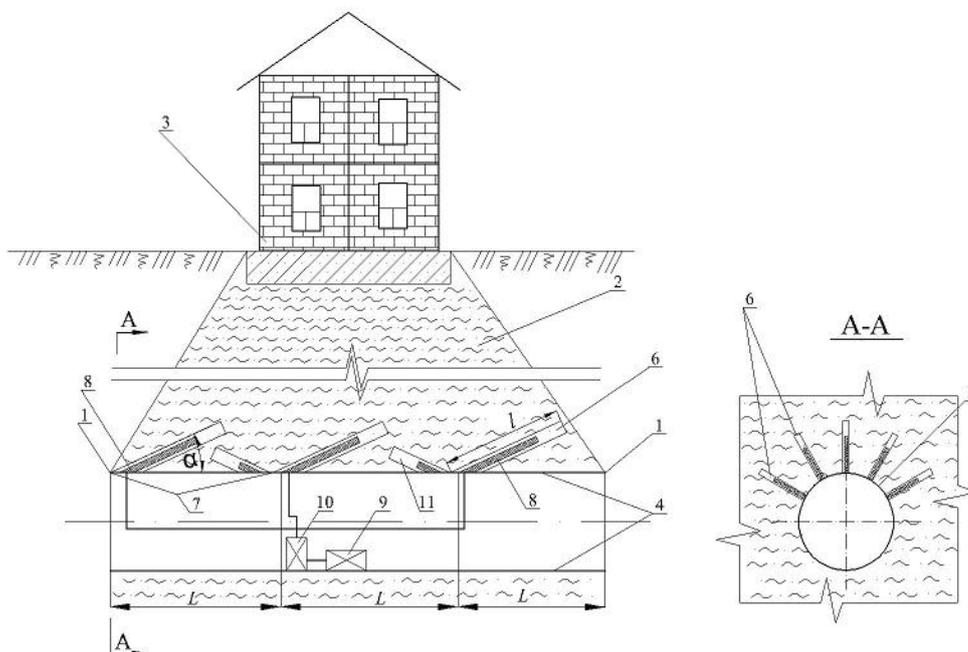
Среди особенностей сооружения можно отметить: большое сечение выработок и совместная работа нескольких тоннелей, зачастую находящихся в сложных геометрических соотношениях.

Опираясь на натурные наблюдения, можно заключить, что сооружение тоннеля в грунтовой толще вызывает максимальные оседания происходящие над тоннелем, до 10-20 мм, а мульда сдвижения на поверхности ограничивается углами влияния примерно  $45^\circ$ .

Во многих случаях опасность для действующих зданий в зоне подработки выработками можно избежать различных смещений, применяя способы закрепления толщи окружающих выработку грунтов.

Задачей способа закрепления грунтов под зданиями и сооружениями для повышения их устойчивости может осуществляться за счет создания нескольких защитных контуров по мере продвижения тоннеля в зоне воздействия на него нагрузки, создаваемой вышележащим грунтом, зданием и сооружением.

Так предлагаемый способ защиты грунтов, зданий и сооружений осуществляется следующим способом. Через скважины (рисунок), пробуренные из контура тоннеля по полупериметру впереди проектной проходки, под высоким давлением нагнетают определенного состава закрепляющий быстротвердеющий раствор в регули-



### Закрепление грунтов в контуре сооружаемого тоннеля

руемом диапазоне расчетных концентраций.

Процесс инъецирования проходит в несколько этапов.

Перед проходкой тоннеля под зданием и сооружением предварительно определяют зону 1 воздействия нагрузки, создаваемой вышележащим грунтом 2, зданием 3 и/или сооружением (на рис. не показано), на тоннель 4 по известной методике. Место бурения скважин в контуре тоннеля принимают на участке вхождения его в зону воздействия нагрузки на тоннель. Затем из тоннеля по верхнему контуру 5 бурят скважины 6 на одинаковом расстоянии друг от друга.

В зависимости от физико-механических свойств грунта и заданного

запаса прочности кровли выбирают угол  $\alpha$  наклона скважин к оси тоннеля в соответствии с экспериментальными данными в диапазоне  $\alpha=10\div 20^\circ$ . Глубина скважин зависит от заданной величины проходки тоннеля в сутки, а количество скважин в контуре определяют исходя из размера диаметра тоннеля. Для обеспечения устойчивого положения здания и/или сооружения по всей длине зоны воздействия нагрузки на тоннель бурят несколько контуров 7 забуривания, шаг между которыми определяют из выражения:  $L = l \cos \alpha - 2$ , где  $L$  - шаг между контурами забуривания скважин, м;  $l$  - глубина скважины в контуре, м;  $\alpha$  - угол наклона скважины к оси тоннеля, град.

Далее осуществляют последовательно обработку каждого контура. Подают в скважины одного контура через герметизирующее устройство 8 кислоту, например, соляную. Для создания быстротвердеющего состава применяют смесительную установку 9. Закрепляющий раствор закачивают с помощью нагнетательного насоса 10 в грунт через скважины. При проходке тоннеля в слабых грунтах дополнительно бурят наклонные скважины 11 в противоположном направлении проходки тоннеля. Кроме того, при проходке тоннеля в слабых грунтах дополнительно бурят наклонные скважины в противоположном направлении проходки тоннеля.

Место бурения скважин в контуре тоннеля принимают на участке вхождения его в зону воздействия нагрузки на тоннель. Для обеспечения равномерного распределения нагрузки на тоннель, скважины бурят по верхнему его контуру на одинаковом расстоянии друг от друга и под уг-

лом к оси тоннеля. Глубина скважины в контуре находится в диапазоне 10-18 м при скорости проходке тоннеля 12-16 м в сутки. Для конкретных условий выбирается расстояние между скважинами и их количество, определяется свойствами грунтов находящихся в контуре тоннеля. Протяженность зоны воздействия на тоннель нагрузки вышележащего грунта и здания может составлять до 100 м.

Технический результат - предотвращение сдвижения земной поверхности, зданий и сооружений, находящихся на проектной трассе сооружаемого тоннеля, снижение их деформаций.

В результате закрепления грунта вокруг сооружаемого тоннеля исключаются деформационные сдвижения грунтов и смещения здания над строящимся тоннелем, что, в конечном итоге, позволит обеспечить повышение устойчивости зданий и сооружений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. М.: Недра, 1988.

2. Шуглик М.Н. и др. Строительство подземных сооружений. Справочное пособие. М. 1990. **ГИАЗ**

#### Коротко об авторе

Павленко А.М. – Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, E-mail: n44\_akira@mil.ru

