

**В.А.МАСЛАК**, зам.начальника управления по капитальному строительству,  
[n@sks.metro.spb.ru](mailto:n@sks.metro.spb.ru)  
Санкт-Петербургский метрополитен

**V.A.MASLAK**, Deputy Head of Board on Capital Construction, [n@sks.metro.spb.ru](mailto:n@sks.metro.spb.ru)  
The Saint-Petersburg Metro

## ОПЫТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАБОЯ И КРОВЛИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫРАБОТОК В ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГЛИНАХ

Приведена методика оценки состояния опережающего крепления забоя фиброглассовыми анкерами и кровли выработки – анкерами из труб. Представлены результаты экспериментальных наблюдений за усилиями в анкерах, смещениями пород в забое выработки и развитием нагрузки на опережающую крепь в ее кровле.

**Ключевые слова:** забой, грунт, анкер, глина, выработка, устойчивость, напряжения, деформация, мониторинг.

## EXPERIENCE IN PROVIDING THE STABILITY OF TUNNEL FACE AND ROOF DURING ITS DRIVAGE IN PROTEROZOIC CLAYS

Methodology for assessment of state of advance support of face with fiberglass anchors and the working's roof – with tube anchors, is given. The results of in-situ experimental observations for efforts in anchors, displacements of excavation and growth of load on the advance supports in its roof are shown.

**Key words:** face, ground, anchor, clay, mine working, stability, stress, deformation, monitoring.

Для повышения устойчивости забоя и кровли при строительстве выработок в протерозойских глинах может быть предусмотрено их опережающее крепление\*. При строительстве выработок метрополитена выполнены опытные работы по опережающему креплению забоя фиброглассовыми анкерами и опережающему креплению кровли анкерами из труб.

Исследование работы анкеров опережающего крепления забоя выполнялось при помощи струнных динамометров ПСАС 20, размещаемых в нескольких местах по длине анкера в процессе его уста-

новки. При этом один из фиброглассовых анкеров по оси выработки в нижнем ряду был заменен на железобетонный. В арматурный стержень анкера вваривали датчики и полученную конструкцию подавали в скважину с последующим заполнением раствором.

После установки анкеров в проектное положение и последующей разработки забоя выполняли измерения по датчикам после каждой заходки. Результаты этих измерений сведены в таблице, что позволяет сопоставить усилия в анкере в зависимости от расположения забоя. Анализ данных показывает, что датчики начинают включаться в работу при подходе к ним забоя на 4 м. При дальнейшем приближении забоя усилия в анкере возрастают.

\* *Маковский Л.В.* Под защитой экрана из труб // Метрострой. 1980. № 4. С.23-24.

*Makovsky L.V.* Under protection by screen of tubes // Metrostroy. 1980, No.4, pp.23-24.

**Результаты измерений по анкеру 1**  
(в числителе – нормальная сила, кН; в знаменателе – расстояние до забоя, м)

Номер	Дата наблюдения									
	20.11.07	21.11.07	22.11.07	23.11.07	24.11.07	26.11.07	27.11.07	28.11.07	29.11.07	30.11.07
1	0/5	-4,2/4,2	-9,9/3,3	-18,7/2,5	-35,1/1,6					
2	0/7	-0,7/6,2	-2,5/5,3	-5,6/4,5	-21,6/3,6	-35,2/2	-55,7/1			
3	0/9	0,2/8,2	-0,6/7,3	-2,3/6,5	-6,9/5,6	-9/4	-12,8/3	-17,3/2	-24/1	-24,7/1

Расчет напряжений в анкерах показывает, что они существенны и могут достигать 190 МПа.

Анализ работы анкеров позволяет выполнить расчет действующих напряжений в призабойной части массива.

Продольные деформации массива (по напластованию)

$$\delta_D = \frac{\sigma_{adi}}{E_{adi}} = \frac{190}{2,1 \cdot 10^5} = 0,0009 \text{ мм},$$

где  $\sigma_{арм}$  – напряжение в анкере, МПа;  $E_{арм}$  – модуль упругости материала анкера, МПа.

Растягивающие напряжения в массиве

$$\sigma_D = \delta_D E_D = 0,0009 \cdot 770 = 0,693 \text{ МПа},$$

где  $E_D$  – модуль деформации глины, МПа.

Сжимающие напряжения в массиве, вызванные проходкой выработки,

$$\sigma_D = \frac{\delta_D}{\nu} E_{\perp} = \frac{0,0009}{0,2} 270 = 1,215 \text{ МПа},$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E_{\perp}$  – модуль деформации глин, перпендикулярный слоистости, МПа.

Природное поле напряжений

$$\sigma_{\text{ис}} = \gamma H = 0,021 \cdot 60 = 1,26 \text{ МПа},$$

где  $\gamma$  – удельный вес пород, кН/м<sup>3</sup>;  $H$  – расстояние от земной поверхности, м.

Тогда суммарные напряжения составят 2,48 МПа. Пересчет на деформацию показывает удлинение анкера до 8 мм.

Устойчивость лба забоя и определение глубины разуплотнения грунтового массива в призабойной зоне оценивалась положением глубинных реперов.

Суть методики заключается в определении изменения расстояния между глубинным

репером, установленным в призабойной зоне массива, и неподвижным репером, находящимся в пройденном участке выработки.

Глубинный репер представляет собой стальной цилиндр с приваренной к одному из торцов пластиной, на которую с внутренней стороны прикреплен специальная отражательная марка. Для центрирования репера в скважине по периметру цилиндра устанавливаются стальные отгибы, которые также позволяют зафиксировать его положение.

В ходе измерений оценивалось изменение расстояния от базового репера до глубинного репера по мере приближения забоя к глубинному реперу.

Глубинные реперы были установлены на четырех захватках в трех уровнях:

- захватка 22, уровень 3, заходка по 0,8 м;
- захватка 25, уровень 3, заходка по 1,6 м;
- захватка 28, уровень 1, заходка по 1,6 м;
- захватка 29, уровень 2, заходка по 1,6 м.

При этом в зависимости от разовой заходки и мощности целика между глубинным репером и лбом забоя устанавливалась качественная и количественная оценка разуплотнения и смещения грунтового массива.

На захватках 22 и 25 измерения велись в одном уровне, но при различной заходке. По результатам наблюдений построены зависимости (рис.1).

По результатам исследования установлено, что устойчивость лба забоя при заданных конструктивно-технологических параметрах крепления выработки обеспечена. Максимальные смещения грунтового репера составили 11 мм, а максимальные смещения в уровне 1 были получены при заходке 0,8 м, при увеличении заходки до 1,6 м максималь-

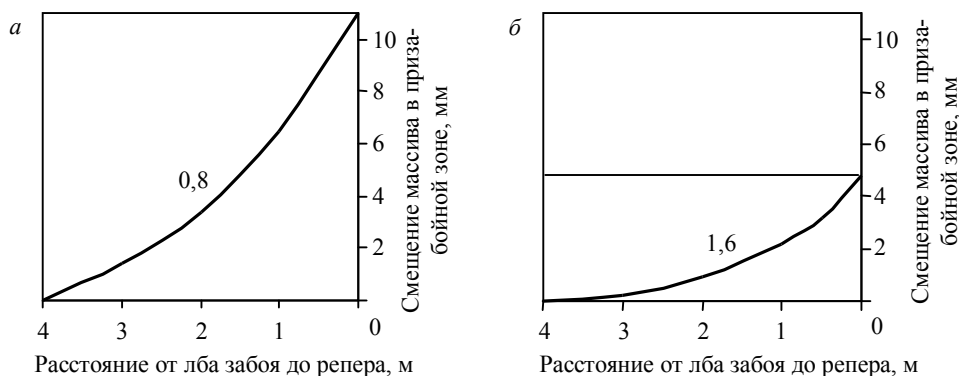


Рис.1. Смещения глубинного репера в уровне 1 при различной заходке: а – захватка 22, заходка 0,8 м; б – захватка 25, заходка 1,6 м

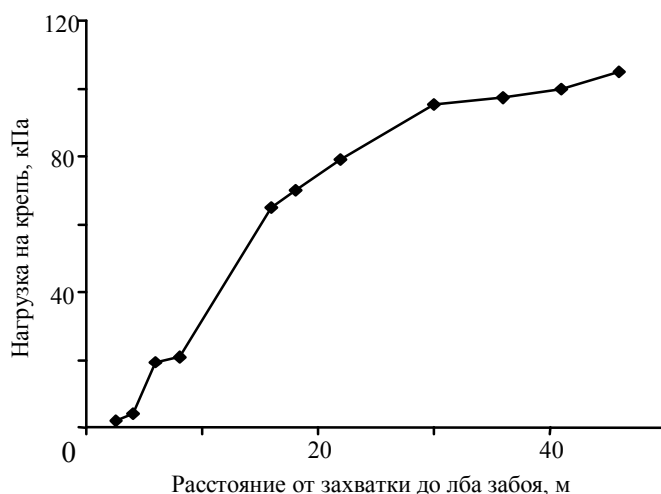


Рис.2. Формирование нагрузки на опережающую крепь кровли выработки

ные смещения снизились до 5 мм. Смещение реперов начинается за 4 м от забоя.

Для оценки усилий в трубах опережающей крепи кровли на них были установлены динамометрические базы. Динамометрические базы представляют собой установленные на трубах металлические штыри диаметром 4 мм и длиной 14-20 мм на расстоянии 297 мм друг от друга. В ходе измерений оценивались изменения базового расстояния между штырями. По изменению расстояний можно судить об изменениях напряженного состояния в трубах и нагрузке от горного давления на крепь. Базовые расстояния замерялись специальным прибором с индикатором часового типа с точностью до 0,01 мм.

В ходе мониторинга были получены относительные удлинения растянутого волокна труб. По результатам наблюдений была построена зависимость нарастания горного давления (распределенной нагрузки на опережающую крепь кровли) в зависимости от удаления забоя от наблюдаемого участка (рис.2).

По результатам мониторинга усилий в трубах опережающей крепи кровли установлено, что устойчивость кровли выработки была обеспечена, вывалов и значительных подвижек кровли не зафиксировано, а распределенная нагрузка на крепь от горного давления на 60-е сутки составила 100-110 кПа.