УДК 622.831

В.А.МАСЛАК, *зам.начальника управления по капитальному строительству*, *n@sks.metro.spb.ru*
Санкт-Петербургский метрополитен

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

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВРЕМЕННОЙ КРЕПИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СТАНЦИОННЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

Приведена методика проведения натурных испытаний временной крепи, представлены результаты определения напряжений и нормальных усилий в сводовой части и боковых элементах стальной крепи. Выполнена оценка вертикальных нагрузок на крепь. Установлено, что при установке крепи на расстоянии 16 м от забоя выработки, вертикальная нагрузка на нее снижается в 1,54 раза.

Ключевые слова: временная крепь, тоннель, метрополитен, напряжение, арка, свод, нагрузка.

ASSESSMENT OF STRESS-STRAIN STATE OF TEMPORARY SUPPORT DURING CONSTRUCTHION OF STATION TUNNELS OF THE METRO

In-situ testing technique of temporary support is given. The values of stress and normal force in arch and sides of steel support are shown. Determination of vertical load magnitude is done. It was determined that vertical load on support decreases by 1,54 times, if lag of support installation from the face is 16 m.

Key words: Temporary support, tunnel, underground railway, stress, arch, vault, load.

Для повышения эффективности горно-проходческих работ при строительстве подземных сооружений Санкт-Петербургского метрополитена выполнены опытно-промышленные испытания новой технологии строительства.

Технология включает предварительное крепление лба и кровли забоя и комплексную механизацию горно-проходческих работ при возведении временной и постоянной крепи.

В качестве временной крепи были использованы стальные арки и набрызг-бетон.

В работе приведены результаты натурных исследований напряженного состояния несущих элементов стальных арок.

На опытных участках элементы крепи оснащены струнными датчиками[*] линейных деформаций, которые представляют собой струну, закрепленную между двумя опорными шайбами внутри тонкостенной трубы. Измеряемым параметром является период колебания струны в микросекундах. Первым (нулевым) показанием является информация

[*] *Лебедев М.О.* Горно-экологический мониторинг на примере большого петлевого тоннеля СКЖД / М.О.Лебедев, В.В.Басыкин // Метро и тоннели. 2006. № 6. С. 24-26.

Lebedev M.O. Mining-ecological monitoring by the example of the large loop tunnel SKGD / M.O.Lebedev, V.V.Basykin // The Metro and Tunnels. 2006. No.6, pp.24-26.

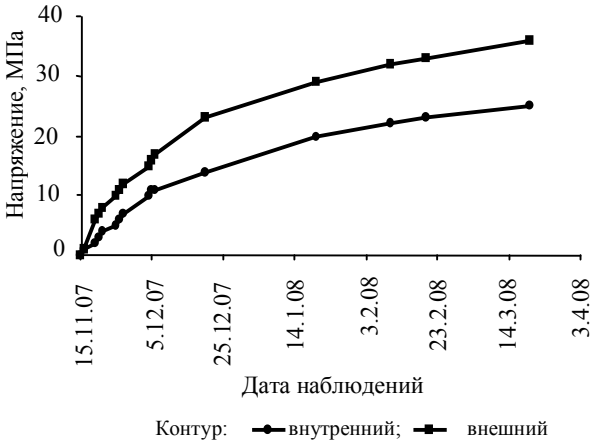

Рис.1. Развитие нормальных тангенциальных напряжений в сводовой части крепи (узел 1)

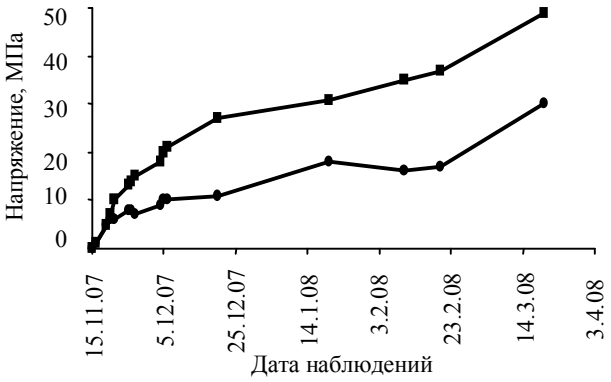

Рис.2. Развитие нормальных тангенциальных напряжений в левом боку крепи (узел 3)

Усл. обозначения см.рис.1

сразу после установки крепи. Далее, с учетом интенсивности проходки и формирования напряженно-деформированного состояния, выполняются дальнейшие измерения.

При установке на стальные двутавровые арки датчики крепились сваркой после соединения сегментов стальной арки, при этом к арке приваривались опорные шайбы датчиков, расположенные по торцам датчиков. При установке на стальные арки в каждом «узле» датчики приваривались к полкам двутавра по одну сторону от стенки. На эту же сторону приваривались датчики в других «узлах».

В поперечном сечении крепи измерительными приборами (по два датчика) оснащено четыре узла.

На рис.1, 2 показаны графики развития во времени нормальных тангенциальных напряжений в поперечных сечениях стальной арки опытного участка 1.

В формировании напряженного состояния крепи опытного участка 1 особым является момент установки контрольно-измерительной аппаратуры. На первом опытном участке датчики были установлены на расстоянии 16 м от забоя выработки. На остальных опытных участках датчики устанавливали в забое выработки.

Анализ результатов наблюдений показывает, что в течение 4 месяцев напряжения в арке возрастают. На конец наблюдений стабилизации не наступает, но видно затухание роста напряженного состояния. Напряжения на конец наблюдений составляют:

- в сводовой части 30 МПа с левой стороны и 16 МПа с правой; на внешней и внутренней полках двутавра напряжения примерно одинаковы (весьма незначительный изгибающий момент);
- в боках на внутреннем контуре с обеих сторон 28 МПа, а на внешнем – 48 МПа.

Аналогичные графики были построены для опытного участка 2 (рис.3).

Анализ результатов показывает, что наиболее интенсивно напряжения в арке растут в течение 2 недель. За это время отход забоя составляет 15 м. В конце этого периода напряжения составляют:

- в сводовой части с левой стороны на внутреннем и внешнем контуре соответственно 38 и 10 МПа, с правой стороны аналогично 63 и 80 МПа;

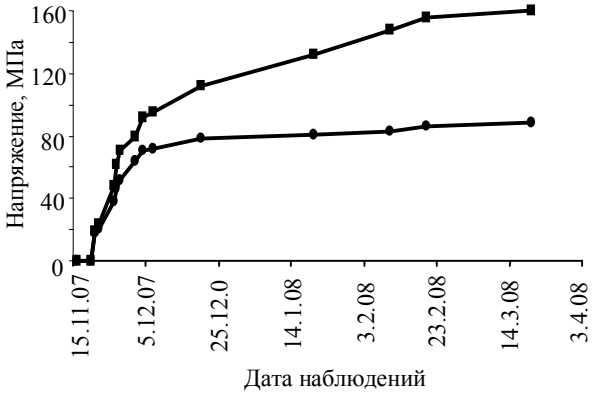

Рис.3. Развитие нормальных тангенциальных напряжений в сводовой части крепи (узел 2)

Усл. обозначения см. рис.1

Результаты расчетов

ПК	Нормальное тангенциальное напряжение σ , МПа			Нормальная сила, кН	Нагрузка на крепь, кПа
	на внешнем контуре	на внутреннем контуре	среднее		
0+47					
Справа	45	25	35	485,5	140,2
Слева	49	30	39,5	547,9	158,2
0+63					
Справа	50	35	42,5	589,6	170,2
Слева	65	82	73,5	1019,6	294,3

• в боках с левой стороны одинаково на внутреннем и внешнем контуре 38 МПа, с правой стороны на внутреннем и внешнем контуре соответственно 16 и 30 МПа.

В дальнейшем приращение напряжений менее значительно и постепенно скорость приращения уменьшается. На конец наблюдений (через 4 месяца после установки крепи) стабилизации не наступает, но видно затухание роста напряженного состояния. Напряжения на конец наблюдений составляют:

– в сводовой части 72 и 53 МПа с левой стороны на внутреннем и внешнем контуре соответственно;

– 90 и 160 МПа с правой стороны на внутреннем и внешнем контуре соответственно;

– в боках 82 и 65 МПа с левой стороны на внутреннем и внешнем контуре соответственно, 35 МПа с правой стороны на внутреннем контуре.

За весь период наблюдений отмечается изменение соотношения напряжений между внутренним и внешним контуром крепи, что говорит о нарастании нагрузки на арки.

Оценим нормальную силу в стойках арки от вертикальной нагрузки на крепь (см. таблицу). Нормальная сила в сечении арки (считая ее равномерное распределение по сечению) определяется по формуле

$$N(t) = \frac{[\sigma_1(t) + \sigma_2(t)]}{2} S_I ,$$

где $\sigma_1(t)$ и $\sigma_2(t)$ – напряжения на внешней и внутренней полках двутавра; S_1 – площадь поперечного сечения двутавровой балки (I № 30К3 по ГОСТ 26020-83).

Нормальные напряжения на контакте обделки с массивом, можно приближенно оценить по нормальной силе в стойках крепи, считая напряжения равномерно распределенными, по формуле

$$q = N/bR,$$

где q – действующая на обделку нагрузка кПа; N – нормальная сила в арке, кН; b – шаг установки рамной крепи, м; R – половина пролета выработки, м.

Анализ результатов натурных наблюдений показывает, что при установке крепи на участке с удалением от забоя нормальная сила будет меньше и вертикальная нагрузка также будет меньше.

Средняя вертикальная нагрузка на крепь при установке в забое составляет 232,2 кПа, а при установке на расстоянии 16 м от него равна 149,9 кПа.