

УДК 69.035.4:622.64

Ф.А. Бойко

**УСКОРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЕРЕГОННЫХ
ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ ТОННЕЛЕ-
ПРОХОДЧЕСКИМИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ
КОМПЛЕКСАМИ, ОБОРУДОВАННЫМИ
МАГИСТРАЛЬНЫМ КОНВЕЙЕРОМ
ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОРОДЫ**

Приводится методика расчетов для конвейерного транспорта и показан положительный эффект от его применения. Ускорение строительства перегонных тоннелей метрополитенов можно осуществить с широким применением конвейерного транспорта для разработанной породы ТПМК, взамен существующего в отечественной практике рельсового транспорта.

Ключевые слова: ускорение строительства, перегонные тоннели, конвейерный транспорт.

Создание эффективной сети транспортных коммуникаций, обладающей возможностью оперативного обслуживания мощных пассажиропотоков между промышленными зонами, жилыми районами и культурными центрами - одна из основных проблем развития современных городов.

По данным АНО «Объединённая дирекция заказчиков строящихся метрополитенов» России и СНГ, до 2020г. планируется ввод в эксплуатацию 260,88 км линий с 172 станциями в 12 городах Российской Федерации. В результате реализации Программы длина эксплуатационных линий должна увеличиться в 1,6 раза, а объём перевозок – в 1,4 раза. Общая длина перегонных тоннелей, сооружаемых шитовым способом, должна составить порядка 450 км.

Существующая технология строительства перегонных тоннелей с использованием отечественных механизированных проходческих щитов не позволяет достигать современных удовлетворительных скоростей строи-

тельства этих тоннелей. В настоящее время скорость проходки перегонных тоннелей в России составляет 60-80 метров в месяц, что обуславливает необходимость обновления технологий и средств механизации строительства.

Накопленный в мире опыт строительства перегонных тоннелей метрополитенов показывает, что важным аспектом в ускорении строительства данных тоннелей является совершенствование операций проходческого цикла работ по транспорту разработанной породы как непосредственно в тоннеле, так и в монтажной камере.

Перегонные тоннели с железобетонной типовой обделкой имеют внутренний диаметр 5,1 м, а с обделкой типа «Инсбрукское кольцо» - внутренний диаметр 5,4 м.

При рельсовом транспорте, повсеместно применяющемся при проходке отечественными щитовыми проходческими комплексами, используется две колеи по 600 мм, располагаемых на шпалах непосредственно на обделке тоннеля. Это объясняется установлен-

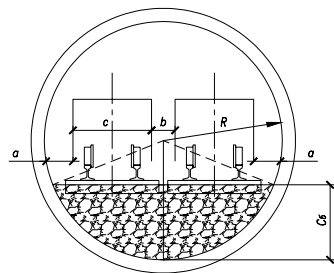


Рис. 1. Схема необходимых зазоров между подвижными составами рельсового транспорта в перегонных тоннелях и между составами и обделкой в соответствии с требованиями Госгортехнадзора России

ными требованиями Госгортехнадзора России, в которых определено чтобы зазор между габаритами встречных рельсовых транспортных средств (b) был не меньше 0,2 м и чтобы расстояние между габаритом подвижного состава и крепью выработки (a) было бы не меньше 0,2 м для обделки из железобетона (рис. 1).

С учётом указанных требований, при строительстве в перегонных тоннелях при двухстороннем движении рельсового транспорта, должно применяться оборудование в подвижных составах с максимальными габаритами по ширине до 1 м. В случаях использования в подвижных составах оборудования и обделок с максимальными габаритами по ширине от 1 м до 1,5 м, требуется обустройство балласта из щебня (Сб) объёмом от 1,05 до 1,66 м³ на 1 погонный метр тоннеля. Устройство такого балласта из щебня, который должен укладываться в призабойной зоне, не может быть рекомендовано к массовому применению из-за трудоёмкости и стоимости выполнения работ.

Для транспортировки разработанного грунта в настоящее время используются типовые контактный электровоз типа 11 КР, вагонетки УВГ-1,6

с глухим неопрокидным кузовом ёмкостью 1,6 м³ и обделка, ширина которых не превышает 1 м.

По требованию Госгортехнадзора максимальные скорости электровозов на прямых участках должны не превышать 10 км/час, на стрелках и разминовках - 5 км/час.

В зарубежной практике строительства тоннелей в настоящее время находит широкое применение конвейерный транспорт разработанной породы ТПМК, взамен рельсового. Оборудование конвейерного транспорта поставляется лидером в этой области - английской фирмой «Continental Conveyor», или немецкой «H+E Logistik».

Технология внутритоннельного конвейерного транспорта породы позволяет разделить потоки грузов: блоки обделки, тампонажный раствор и звенья наращиваемых по мере продвижения ТПМК технологических трубопроводов, рельсового пути и людского хода перемещаются к забою рельсовым транспортом с использованием локомотива, а выдача разработанной породы к порталу и на поверхность осуществляется конвейерным транспортом непрерывного действия. Поперечное сечение перегонных тоннелей с магистральным конвейером представлено на рис. 2.

Локомотивная откатка разработанной породы периодического действия, занимающая по времени около половины проходческого цикла и существенно ограничивающая скорость проходки с увеличением длины тоннеля, при конвейерном транспорте становится излишней.

Оборудование фирмы «H+E Logistik» применено вначале на строительстве правого перегонного тоннеля от реконструируемой станции «Кунцевская» до действующей станции «Парк Победы» длиной около 3 км, а

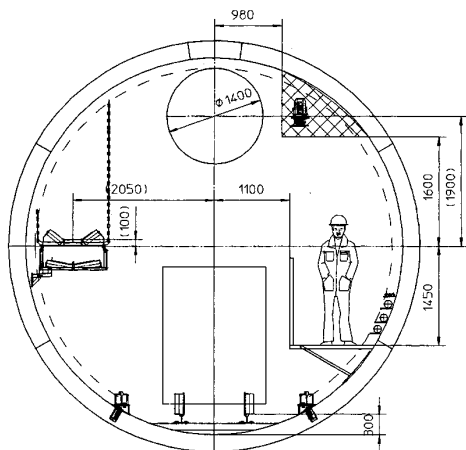


Рис. 2. Поперечное сечение перегонного тоннеля с магистральным конвейером

затем и левого перегонного тоннеля от ст. «Кунцевская» до ст. «Славянский бульвар» длиной 1500 м.

Максимальная месячная проходка на правом перегонном тоннеле составила 635 м и максимальная суточная скорость - 30,8 м.

Левый перегонный тоннель 1114 м был пройден за 2,5 месяца. Максимальная месячная скорость, которая установлена на этом тоннеле составила 704 м, что является рекордом отечественного тоннелестроения для проходки перегонных тоннелей в сложных гидрогеологических условиях.

В 2009 году конвейерный транспорт был успешно применён на строительстве левого перегонного тоннеля длиной 2,4 км от тупиков ст. «Марьино» до ст. «Шепиловская» и правого перегонного тоннеля длиной 1,1 км от тупиков ст. «Марьино» до ст. «Борисовская». Средние скорости строительства составляли 350 - 400 пог.м. тоннеля в месяц.

В настоящее время ведётся строительство с применением конвейерного транспорта на перегонном тоннеле

длиной 2,8 км от ст. «Новокосино» до тупиков ст. «Новогиреево».

Увеличение производительности зарубежных ТПМК вызвано в первую очередь использованием конвейерного транспорта, взамен рельсового. При рельсовом транспорте, до 50 процентов от общего времени погрузо-разгрузочных работ затрачивается на транспорт.

Электровозная откатка не может обеспечить нормального функционирования проходческого щита, если его производительность равна $Q_{щ}=60$ т/ч и более.

В этом случае экономически целесообразным видом транспорта становится ленточный конвейер.

Для определения основных параметров ленточного конвейера применительно к отечественным ТПМК и уточнения параметров оборудования фирмы "H+E Logistik" выполнены современные расчёты по методике, позволившей проектировать конвейер с более высокими технико – экономическими показателями и получить данные о необходимости снижения завышенных показателей оборудования фирмы. Это, в первую очередь, относится к современному тяговому расчёту. Величина получаемого при расчете тягового усилия влияет на тип ленты, мощность привода, параметры натяжного устройства и т. д.

При заданной производительности $Q_{щ}=60$ т/ч, ширину ленты конвейера (В) определяем по формуле:

$$B=1,1 \left(\sqrt{\frac{Q}{K_{II} \times V \times \gamma}} + 0,05 \right), \text{ м}, \quad (1)$$

где $K_{II}=625$ – коэффициент производительности; γ – насыпная плотность груза, т/м³; $V=1,6$ м/с – скорость движения ленты конвейера.

Скорость движения ленты конвейера выбирается минимально допусти-

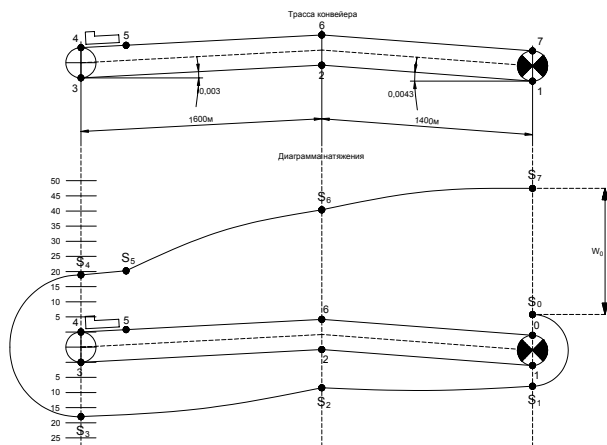


Рис. 3. Диаграмма натяжения конвейерной ленты в характерных точках по трассе конвейера

мой при условии ее разгрузки на приводном барабане. Для предотвращения скольжения груза при его прохождении через головной (разгрузочный) барабан, его скорость не должна быть менее 1,2 м/с, поэтому принимаем ближайшую большую скорость из ряда скоростей R10, т.е. 1,6 м/с.

$$V = 1,1 \left(\sqrt{\frac{60}{625 \times 1,6 \times 1,6}} + 0,05 \right) =$$

$$0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм.}$$

Затем, определяем ширину ленты по кусковатости транспортируемого груза:

$$B = 2a'_{\max} + 200, \quad (2)$$

где $a'_{\max} = 200$ мм – максимальный размер куса транспортируемого груза.

$$B = 2 \times 200 + 200 = 600 \text{ мм,}$$

следовательно, принимаем типовую ленту шириной $B = 0,65$ м.

Расчеты и обоснования параметров конвейерного транспорта выполнены на примере строительства левого перегонного тоннеля от ст. «Кунцевская» до ст. «Парк Победы» Митинско – Строгинской линии Московского метрополитена, длиной в одном направлении, равной 3000 м, который уста-

новлен под углом к горизонту. Для тягового расчета такого конвейера принят уточненный метод расчета. Определены необходимые для расчета константы и коэффициенты. С использованием полученного выражения для изменения натяжения по длине конвейера и метода обхода по контуру, определены распределенные сопротивления движению на грузовой и порожняковой ветвях (рис. 3).

Выполнен тяговый расчет, определена мощность привода конвейера и необходимая прочность конвейерной ленты. Уточненный метод тягового расчета ленточного конвейера выполнен с использованием современного подхода, основанного на рассмотрении суммы отдельных сил, возникающих на единичной роликоопоре – U_p , с последующим интегрированием этой суммарной силы по длине конвейера. Основными составляющими общей силы U_p являются:

- сила сопротивления от вращения трех роликов:

$$U_{вр} = U_{вр1} + 2U_{вр2} = ((C_1 + C_2)V + 1,6 \cdot 10^{-5} Q_1 + 2[(C_1 + C_2)V + 1,6 \cdot 10^{-5} Q_1]) K_\theta \frac{159}{D_p}, \text{ Н,} \quad (3)$$

где $C_1 = 1$, $C_2 = 0,15$ – константы, зависящие от типа подшипника; V – скорость движения конвейерной ленты, м/с; $Q_1 = 0,6$ – радиальная нагрузка на средний ролик, Н; D_p – диаметр ролика, мм; K_θ – температурный коэффициент;

- сила сопротивления от вдавливания роликов в ленту:

$$U_{вд} = C_{вд}(q_r + q_l)l_p' \cdot \gamma(\theta), \text{ Н}, \quad (4)$$

где $C_{вд}$ – константа вдавливания; l_p' – расстояние между роликоопорами, м; $\gamma(\theta)$ – температурный коэффициент; q_r, q_l – погонные нагрузки от груза и ленты, Н/м;

- сила сопротивления от деформирования груза и ленты:

$$U_{деф} = C_{деф} (q_r + q_l) \cdot \exp(-S/\varepsilon), \text{ Н}, \quad (5)$$

где $C_{деф}$ – константа деформирования, зависящая от ширины и скорости ленты, типа груза, угла наклона боковых роликов и пр.; ε – константа, зависящая от типа ленты, Н; S – натяжение ленты, Н.

Таким образом, суммарная сила сопротивления на единичной роликоопоре равна:

$$C_p = U_{вд} + U_{вд} + U_{деф} = C_1 + C_2 \cdot \exp(-S/\varepsilon), \text{ Н}. \quad (6)$$

Как видно из данной формулы, сила сопротивления движению зависит от натяжения ленты S , поэтому для определения характера его изменения по длине конвейера в работе выполнено интегрирование и получена следующая формула:

$$S(x) = S_r + C_1 x + \varepsilon \ln[1 + C_2/C_1 \cdot \exp(-S_0/\varepsilon) \times (1 - \exp(-C_1 x/\varepsilon))], \quad (7)$$

где S_0 – начальное натяжение на ветви.

Поскольку натяжение $S(x)$ зависит от начального натяжения на ветви S_0 , расчет выполнен в два этапа: ориентировочный и уточненный.

Для конкретных условий перегона выполнены числовые расчеты основных параметров ленточных конвейеров. Отражено, что для конвейера фирмы «H+E Logistik» при работе его с ТПМК «Herrenknecht» мощность приводов завышена примерно в 2,5 раза. Рассчитанный отечественный конвей-

ер для тех же условий эксплуатации имеет аналогичную ширину ленты, а мощность привода – почти в 2 раза меньшую по сравнению с конвейером фирмы «H+E Logistik».

Американская фирма Goodyear, имеющая 30-летний опыт эксплуатации ленточных конвейеров, для определения срока службы тканевых лент подземных конвейеров рекомендует следующую формулу:

$$T = \frac{D_{\min}^{5,35} \times L}{v^{0,5} \times \delta_{\Sigma}^{6,27} \times K_p^{4,12}} = \frac{K}{\sqrt{V}}, \quad (8)$$

где D_{\min} – диаметр наименьшего барабана; δ_{Σ} – толщина ленты.

$$T_1 = \frac{K}{\sqrt{3,0}}; T_2 = \frac{K}{\sqrt{1,6}};$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{K}{\sqrt{3}} : \frac{K}{\sqrt{1,6}} = \frac{K \times \sqrt{1,6}}{K \times \sqrt{3}} = \sqrt{\frac{1,6}{3}} = \sqrt{\frac{1}{2}} = 0,7$$

$$T_1 = 0,7 \times T_2, \text{ или } T_2 = 1,5 T_1.$$

Таким образом, срок службы конвейерной ленты (T) обратно пропорционален квадратному корню из скорости ее движения (\sqrt{V}).

Принимаем ленту с количеством прокладок, равным 3-м. В этом случае определяющим показателем является величина прочности σ .

$$S_p = B \times \sigma \times i, \text{ Н}, \quad (9)$$

где S_p – разрывное усилие (усилие, при котором происходит разрыв ленты); $i = 3$ – число прокладок.

$$S_{\max} = \frac{S_p}{n}, \text{ Н}, \quad (10)$$

где $S_{\max} = S_7 = 48546 \text{ Н}$ – максимальное усилие, действующее на ленту конвейера (получено на основании тягового расчета).

$$S_{\max} \cdot n = B \cdot \sigma \cdot i; \quad (11)$$

$$\sigma = \frac{S_{\max} \times n}{B \times i}, \text{ Н/мм}; \quad (12)$$

$$\sigma = \frac{48546 \times 10}{650 \times 3} = 249 \text{ Н/мм};$$

$$\sigma = \frac{48546 \times 10}{650 \times 4} = 187 \text{ Н/мм}.$$

При заданном типе ленты и максимальном натяжении, действующим в ленте конвейера, можно определить число прокладок ленты или, если задано число прокладок в ленте, можно определить ее тип. В качестве примера – для $i=3$ – лента ТА-300, для $i=4$ – лента ТА-200. По вышеприведенным расчетам можно определить нужный тип ленты или проверить пригодность имеющейся на складе ленты.

Таким образом, проведены исследования двух схем конвейерного транспорта для разработанного грунта ТПМК:

- схема строительства перегонного тоннеля от ст. «Кунцевская» до ст. «Парк Победы» Митинско – Строгинской линии Московского метрополитена с обоснованием и расчетами параметров оборудования фирмы "H+E Logistik";

- схема строительства аналогичного перегонного тоннеля с обоснованиями и расчетами параметров типового отечественного оборудования.

В результате исследований, выполнены обоснования параметров конвейерного транспорта грунта к ТПМК:

- ширина ленты конвейера – 650 мм;
- применительно к типовому отечественному оборудованию, мощность

двигателей приводных барабанов двухбарабанного привода $N=70$ кВт;

- применительно к оборудованию фирмы "H+E Logistik", мощность двигателей приводных барабанов двухбарабанного привода $N=126$ кВт;

- срок службы конвейерной ленты (в относительных единицах);

- прочностные характеристики принятой конвейерной ленты.

Строительство перегонных тоннелей метрополитенов, оборудованных магистральными конвейерами, осуществляется в России с помощью зарубежных ТПМК. Применение аналогичного оборудования к отечественным ТПМК позволит:

- ускорить строительство перегонных тоннелей в аналогичных гидрогеологических условиях как минимум в 2 раза;

- исключить из работы рельсового транспорта 20 вагонеток УВГ-1,6 и 2 электровоза;

- использовать для рельсового транспорта только один путь 900 мм большой грузоподъемности, взамен двухколейных путей по 600 мм;

- применить дизельные локомотивы, перемещающиеся по тоннелю по одному пути 900 мм со скоростью до 35 км/час, вместо контактных электровозов, перемещающихся со скоростью 10 км/час;

- использовать для крепления тоннелей обделку шириной до 1500 мм, взамен применяемой обделки шириной 1000 мм, что позволит увеличить скорость ее монтажа, а также повысить надежность сооружения за счет сокращения количества стыков.

Коротко об авторе

Бойко Ф.А. – аспирант,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

