

## ОСОБЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В ДОНЕЦКЕ НА ПОДРАБОТАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

к.т.н. Лысиков Б.А., инж. Лысиков Д.Б. (*Донецкий национальный технический университет*)

Метрополитен – сложный и дорогостоящий вид подземного транспорта, постройку которого могут себе позволить лишь большие города-мегаполисы.

Впервые в мировой практике линия метрополитена была построена в Лондоне в 1863 г., в Нью-Йорке 1868 г. На Европейском континенте метрополитены начали функционировать в Будапеште (1896 г.), Париже (1900 г.), в Москве (1935 г.).

На Украине строительство первой линии метрополитена завершилось к 6 ноября 1960 г. в г. Киеве. В 1975 г. этим удобным видом транспорта обзавелся г. Харьков. Третьим украинским городом, где был сооружен метрополитен стал Днепрпетровск (1995 г.).

Стоимость 1 км межстанционного тоннеля метро глубокого заложения составляет 12-15 млн. долл. США, мелкого заложения 5-7 млн. долл., а станций метрополитена 12-20 млн. долл. Поэтому строительство метрополитенов целесообразно осуществлять лишь в больших городах с населением более 1 млн. чел. и насыщенным уличным движением.

Город Донецк вместе с примыкающей Макеевкой образует единую взаимосвязанную городскую систему протяженностью 60 км и шириной 40 км.

Обоснованием необходимости сооружения метрополитена служит интенсивность пассажиропотоков, увеличивающаяся с развитием города и ростом его населения.

Необходимость в постройке линий метрополитена возникает в тот момент, когда исчерпывается провозная способность существующего городского транспорта и скорость его движения приводит к затрате на передвижение от периферии к центру более 30 мин. В Донецке этот параметр для 20% жителей составляет 60 мин., а для 60% - 40 мин.

Экономически оправданным считается (при существующей оплате проезда) сооружение линий метрополитена при перевозке на 1 км пути в одном направлении не менее 6-6,5 млн. пассажиров в год. Это соответствует максимальной интенсивности пассажиропотока в одном направлении в часы пик 20-30 тыс. чел. в час. С такой интенсивностью пассажиропотока не может справиться ни один из видов городского транспорта. В г.Донецке по данным обследования пассажиропотоки в центральном районе в настоящее время составляют 25 тыс. чел. в час, а в направлении Пролетарского и Петровского районов – свыше 15 тыс. чел. в час, что уже значительно превышает провозную способность существующего наземного транспорта и к 2010 г. увеличится в 1,5 раза [1].

Кроме того, уровень загрязнения атмосферы этого региона не позволяет развивать виды транспорта с двигателями внутреннего сгорания на углеводородном топливе, а сложившаяся застройка препятствует внедрению в существующую проезжую часть дополнительных видов электротранспорта.

На основе анализа альтернативных вариантов решения проблемы внутригородского транспорта, в Донцке с населением 1,2 млн. чел. было признано, что наиболее эффективным видом транспорта является метрополитен, включающий три линии (см. схему):

**Первая линия** – (Пролетарско-Киевская) 20,5 км – 14 станций, проходит через Пролетарский, Буденновский, Ворошиловский, Киевский и Куйбышевский районы;

**Вторая линия** – (Петровско-Красногвардейская) 30,7 км – 19 станций, проходит через Петровский, Кировский, Ворошиловский, Ленинский, Калининский районы Донецка с выходом в Красногвардейский район Макеевки;

**Третья линия** – (Горняцко-Макеевская) 35,8 км – 22 станции, соединяет Куйбышевский, Ворошиловский, Калининский районы Донецка с выходом в центр Макеевки.

В местах пересечения линий предусмотрено устройство пересадочных узлов:

- первой и второй линии на станции «Политехнический институт»;
- первой и третьей линии на станции «Белый лебедь»;
- второй и третьей линии на станциях «Мариупольская» и «Проспект Мира».

Проектом строительства метрополитена предусмотрены наземные линии и подземные: глубокого (30–40 м) заложения, сооружаемые горным способом и мелкого (8–10 м), сооружаемые открытым способом производства работ.

Первая очередь включает строительство первой линии метрополитена на наиболее пассажиронапряженном направлении юго-восток – северо-запад, общей протяженностью 20,5 км. Ввод этой линии в эксплуатацию намечен тремя пусковыми комплексами (см. схему):

**1** – ст. «Пролетарская» - ст. «Политехнический институт» (10,3 км, 6 станций);

**2** – ст. «Политехнический институт» - ст. «Белый лебедь» (2,6 км, 2 станции);

**3** – ст. «Белый лебедь» - ст. «Октябрьская» (7,6 км, 5 станций).

Строительство метрополитена на 1-ом пусковом комплексе производится по нескольким направлениям. По трассе метрополитена сооружаются вертикальные стволы с околоствольными выработками и вентиляционными камерами для разворота строительства станций глубокого заложения и межстанционных тоннелей. На станции «Красный городок» сооружена монтажная камера, в которой собран проходческий комплекс тоннельный КТ-5,6 Е 22 и в направлении станции «Политехнический институт» ведется одновременно проходка двух перегонных тоннелей (левого и

Линии Донецкого метрополитена, совмещенные с выходами тектонических нарушений



Рис. 1. Линии Донецкого метрополитена.

правого), трасса которых залегает в толще выветренных аргиллитов, алевролитов и песчаников. Это позволяет для проведения тоннелей использовать как механизированный комплекс, так и буровзрывные работы.

В левом тоннеле разработку грунта, погрузку его, монтаж сборной блочной обделки осуществляется механизированным комплексом КТ-5,6Е22.

В правом - разработку грунта производят буровзрывными работами, погрузку его - породопогрузочной машиной, монтаж блочной обделки - блокоукладчиком.

Все станции на первом пусковом комплексе островного типа с длиной посадочной платформы 102 м под пятивагонные составы.

Перегонные тоннели мелкого заложения открытого способа производства работ (между ст. «Пролетарская - Красный городок») сооружаются с цельносекционной обделкой закрытого (горного) способа производства работ (между ст. «Красный городок - Октябрьская») - со сборной железобетонной блочной обделкой обжатой в породу и чугунной - в зонах тектонических нарушений

В тектоническом отношении территория трассы метрополитена относится к сложным, т.к. расположена между Первомайским на востоке и Французским на западе надвигами и рассечена в центральной части Мушкетовским и Калининским надвигами. Основные надвиги сопровождаются более мелкими геологическими нарушениями. Мушкетовский надвиг характеризуется повышенной активностью при подработке горными работами. Уже отмечены существующие повреждения зданий, связанные с проявлением этого нарушения: по улицам Заслонова и им. 50-летия СССР, по проспектам Ильича и им. Дзержинского. Во всех случаях наблюдалось аномальное распределение сдвижений и деформаций горных пород по сравнению с ненарушенным массивом.

Известно, что надвиги (скользящие разрывные смещения толщи пород наклонной поверхности) Донбасса образовались в условиях горизонтального сжатия. Поэтому надвиги всегда определенным образом связаны с отдельными складками или целыми складчатыми зонами дробления пород, в которых угольные пласты теряют свое промышленное значение. Зоны тектонических нарушений представлены глинисто-песчаным материалом с обломками песчаника. Массив в зоне тектонических нарушений приобретает блоковое строение и, естественно, неравномерную нагрузку на обделку тоннелей.

Существующие нормы проектирования и технические решения не предусматривают учета дополнительных воздействий от неравномерно деформирующихся грунтовых массивов. Отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства такого вида сооружений на подрабатываемой территории выдвигает новые задачи по приспособлению существующих типовых обделок тоннелей к условиям подработки с обоснованием необходимости проведения горно-строительных защитных мероприятий для безопасной проходки тоннелей метрополитена.

Вне зон тектонических нарушений применена железобетонная блочная обделка 0,66 м. На правом перегонном тоннеле - обжатая в породу, на левом

– не обжатая. Максимальные деформации грунтовых массивов на этих участках составляли: наклоны на отдельных интервалах  $i_p = \pm 2,5$  мм/м; горизонтальные деформации  $E = \pm 2$  мм/м; радиусы кривизны  $R_p = \pm 15$  км.

Обделка представляет собой блочные кольца длиной 1 м, собираемые из лоткового, шести нормальных ( $\delta = 200$  мм) и одного клинового блоков. Бетон класса В30, рабочая арматура класса А-III. Соединения блоков в кольце осуществляется на цилиндрических стыках.

Связевая железобетонная обделка представляет собой блочные кольца длиной 1 м, собираемые из аналогичных по наименованию, количеству, классам бетона и арматуры блоков. Каждый блок в заводских условиях оснащается по торцам цельнозамкнутой упругой уплотнительной прокладкой. При монтаже блоки в кольце между собой и блочные кольца друг с другом соединяются по типу чугунных – на болтах (связях растяжения), обжимая уплотнительные прокладки и организуя отсеки в продольном направлении тоннеля. Стыки блоков в кольце выполнены плоскими.

При строительстве I-го пускового комплекса на участке ст. «Красный городок» - ст. «Мушкетовская» проектом из общей длины рассматриваемого участка 818 м в зонах тектонических нарушений (Заперевальный и Мушкетовский надвиг) применена чугунная связевая блочная обделка диаметром 5,5 м и длиной 220 м. По уточненным данным УкрНИМИ максимальные деформации грунтового массива в этой зоне:  $i_p = \pm 4$  мм/м;  $E = \pm 3$  мм/м;  $R_p = \pm 3,1$  км [2].

При проходке перегонных тоннелей щитовым способом с применением не обжатой в породе обделки и буровзрывным способом с применением связевой обделки возникает проблема своевременного ввода блочных колец в работу с грунтовым массивом с целью исключения вывалообразования, снижения осадок земной поверхности и обеспечения эффекта взаимодействия системы «обделка-массив».

При строительстве Донецкого метрополитена этот эффект достигается обжатием обделки по одной из двух технологий – «распорная обделка» или распорный тампонаж.

По технологии «распорная обделка», т.е. обделка обжатая в породе, реализуемая на правом перегонном тоннеле, проводимого с помощью БВР, предусматривается увеличение наружного диаметра блочного кольца до величины равной диаметру контура выработки или незначительно больше его. По технологии «распорный тампонаж», реализуемой в левом перегонном тоннеле, сооружаемым щитовым комплексом, обжатие блочного кольца осуществляется равномерным распорным давлением тампонажного раствора между контуром выработки и наружной поверхностью обделки.

Обжатием обделки в грунт достигается предотвращение развития деформаций контура выработки за счет более быстрого включения кольца обделки в совместную работу с окружающим грунтом. Это стабилизирует грунтовой массив вокруг тоннеля и тем самым снижает горное давление на обделку, исключая или сводя к минимуму осадки поверхности земли над тоннелями метрополитена.

Трасса первой очереди метрополитена от станции «Пролетарская» до станции «Октябрьская» размещена на площади залегания угля с балансовыми запасами 30,8 млн. т, в том числе первый пусковой участок от станции «Пролетарская» до станции «Политехнический институт» располагается на территории с запасами 6,4 млн. т. Из них 4,5 млн. т оставляется в целиках под центральной частью города. Оставшиеся запасы в объеме 1,9 млн. т размещаются под участком трассы между станциями «Пролетарская» - «Левобережная». Принято решение о консервации запасов угля под трассой метрополитена, ввиду сложности осуществления защитных мероприятий и отсутствия опыта эксплуатации метрополитенов на подрабатываемой территории. Для исследования особенностей деформирования подработанного массива по трассе строительства метрополитена было произведено бурение разведочных скважин с целью пересечения очистных и подготовительных выработок, пройденных на глубине до 80 м от отметки заложения тоннелей метрополитена, произведен анализ физико-механических свойств пород и состояния старых горных выработок.

Выявлено три участка, зафиксировавших старые горные выработки и потенциально опасных с точки зрения возможного образования провалов.

Первый участок (район станции «Пролетарская»), где выявлено, что все очистные и подготовительные выработки полностью обрушены и тампонируются горных выработок не требуется.

Второй участок (перегон «Левобережная» - «Политехнический институт»), где выявлено, что старые выработки обрушены с незначительным локальным разуплотнением до 0,3 м, которое не должно оказывать большого отрицательного влияния при строительстве и эксплуатации тоннелей метрополитена.

Третий участок (перегон «Площадь Ленина» - «Белый лебедь»), где выявлено, что очистные выработки обрушены (заполнены просевшей непосредственной кровлей), подготовительные выработки обрушены не повсеместно, зафиксированы пустоты высотой 1,8 м. На данном участке возможно образование провалов и, как следствие, деформация конструкций и осадка путей метрополитена.

Учитывая изложенные горно-геологические факторы необходимо выделить особенности сооружения Донецкого метрополитена:

- впервые в отечественной практике предпринято строительство метрополитена на подрабатываемой территории;

- проектируемые трассы метрополитена находятся в непосредственной близости от выходов на поверхность разрывных тектонических нарушений или пересекают их;

- наличие геологических нарушений, а также прохождение трассы на ранее подработанных территориях и подрабатываемых в настоящее время (в связи с частичной отработкой целиков угля) с большой вероятностью приведет к существенным подвижкам породного массива и недопустимому деформированию сооружений метрополитена за счет блокового строения массива в зоне тектонических нарушений;

– по трассе метрополитена выявлены участки бывших горных работ расположенных на глубинах до 80 м, на которых горные выработки обрушены не повсеместно и существующие пустоты могут привести к деформации конструкций и осадке путей метрополитена;

– отсутствие нормативной базы для проектирования и строительства метрополитена на подрабатываемой территории выдвигает новые задачи по приспособлению существующих типовых обделок тоннелей к условиям подработки с обоснованием необходимости проведения горно-строительных защитных мероприятий;

– в процессе строительства и эксплуатации метрополитена не исключена возможность появления газа метана в выработках при пересечении ими угольных пластов и пропластков особенно на участках дробления пород в зонах тектонических нарушений;

– территория прохождения трассы метрополитена расположена в пределах полей многих бывших шахт, выработки которых были пройдены в конце XIX и в начале XX веков на небольших глубинах (30-100 м), часть из которых в настоящее время являются коллекторами воды и представляют опасность прорыва, особенно при закрытии шахт, прекращении откачки воды и подъеме ее на верхние горизонты;

– в настоящее время в регионе возникла проблема закрытия шахт, что связано с затоплением их и активизацией процесса сдвижения породы как в ранее пройденных выработках, так и в зонах тектонических нарушений (которые являются местами ослабления массива), что явится причиной дополнительных, трудноопределяемых сдвижений и деформаций горного массива;

– оценка параметров сдвижения и их влияний на обделки тоннелей не имеют общего решения вследствие многообразия схем неизбежной отработки угольных пластов и наличия старых горных выработок под трассой метрополитена.

Исходя из особенностей строительства Донецкого метрополитена на подработанной территории в настоящее время разработаны и предложены следующие меры защиты сооружений метрополитена:

– проектные вертикальные габариты перегонных тоннелей принимаются с учетом максимальных неравномерных оседаний (20 мм для тоннелей глубокого заложения и 40 мм для тоннелей мелкого заложения) в результате подработки с тем, чтобы посредством вертикальной рихтовки и перепроектирования профиля рельсового пути обеспечить его нормальную эксплуатацию;

– в местах расположения станций метрополитена при необходимости подработки обеспечивается равномерное оседание соответствующим положением очистных забоев и порядком отработки лав;

– при проведении тоннелей используется технология безосадочной проходки, которая достигается обжатием обделки;

– для создания безопасных условий труда по газовому фактору при

строительстве и эксплуатации метрополитена рекомендуется обеспечивать непрерывное проветривание тупиковых выработок сооружений метрополитена в соответствии с существующими требованиями и осуществлять контроль содержания метана и углекислого газа переносными автоматическими приборами в соответствии с требованиями, изложенными в [3] для шахт первой категории по газу. При подходе на расстоянии до 10 м к зонам дробления пород (геологическим нарушениям) и к старым выработанным пространствам для определения состава газа, его количества и соответствующих мер борьбы с ним необходимо осуществлять бурение передовой разведочной скважины длиной до 10 м с неснижаемым опережением 5 м, которые могут быть использованы и для предотвращения прорыва воды;

– для предотвращения осадок сооружений метрополитена все выработанное пространство в пределах зоны воздействия сооружений метрополитена должно быть затампонировано песчано-цементным раствором;

– на участках открытого способа работ предусмотрено устройство деформационных швов, обеспечивающих компенсацию возможных напряжений и деформаций в продольном направлении, а также устройство армированной железобетонной разгрузочной плиты под всеми сооружениями метрополитена;

– на участках закрытого способа работ – устройство деформационных швов и сооружение обделок со связями растяжений;

– в местах чрезвычайной сложности осуществление защитных мероприятий при строительстве и эксплуатации метрополитена принято решение о консервации запасов угля под трассой метрополитена.

На основании изложенного можно сделать концептуальный вывод и возможности строительства первой очереди Донецкого метрополитена. При этом ключевым критерием надежности являются разработанные и предложенные меры защиты подземных сооружений метрополитена от горных подработок.

На 01.01.2002 г. на сооружение Донецкого метрополитена израсходовано 42 млн. долл. Дальнейшее строительство и ввод в эксплуатацию первой очереди зависит от финансирования, которое осуществляется нерегулярно и в не должном объеме.

В то же время консервация созданных сооружений метрополитена – нецелесообразна, т.к. на это мероприятие необходимо израсходовать не менее 8 млн. долл. С ежегодными затратами на обслуживание законсервированных объектов в сумме около 2,5 млн. долл., в то время как на успешное строительство необходимо 5-6 млн. долл./год.

В настоящее время разработана программа финансирования строительства Донецкого метрополитена, которая предусматривает ассигнование как за счет городского и областного, так и государственного бюджета на реструктуризацию угольной промышленности Украины. При этом часть бюджетных средств, предусмотренных на закрытие шахт, будет направляться для трудоустройства высвобождающихся шахтеров на строительство метрополитена.



В 2002 г. для строительства метрополитена всего 200 тыс. долл. выделил Донецк из своего бюджета, 4 млн. долл. метростроевцы надеются получить из госбюджета и 2 млн. долл. от компании «Укруглереструктуризация».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власенков В.Я., Колтогян Р.А. Метро необходимо для Донецка // Уголь Украины, 1997. - № 8. - с. 8-10.
2. Розенвассер Г.Р., Тоженко В.И. Анализ работы конструкций обделки перегонных тоннелей в зонах тектонических нарушений Донецкого метрополитена. Современные проблемы строительства / Ежегодн. научн. техн. сб. – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО «Лебедь», 1997 – 228 с.
3. Правила безопасности в угольных шахтах. – Киев, 2000. – 497 с.