

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.191.82-028.33 (477.25)

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, В. И. ПЕТРЕНКО², Н. В. БЕЛОУС³, АХМАД АЛХДУР⁴

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Публичное акционерное общество «Киевметрострой», ул. Прорезная, 8, Киев, Украина, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, эл. почта petrenko@metrobud.kiev.ua

³ Публичное акционерное общество «Киевметрострой», ул. Прорезная, 8, Киев, Украина, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, эл. почта geodezmark@metrobud.kiev.ua

⁴ Университет Ель-Балка Аплайд, кафедра гражданского строительства, 19117, Ас-Сальт, Иордания, эл. почта a.m.alkhdour888@gmail.com, ORCID 0000-0002-4148-5994

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА КОЛЛЕКТОРНОГО ТОННЕЛЯ В Г. КИЕВЕ

Цель. В статье рассмотрены прогрессивные, научно обоснованные технологии, примененные при строительстве коллекторного тоннеля в г. Киеве. **Методика.** Для достижения поставленной цели авторами были рассмотрены и проанализированы опыт и результаты строительства коллекторного коммунального тоннеля длиной около 10 км в сложных инженерно-геологических условиях в слабых и обводненных породах. **Результаты.** Анализ условий строительства показал, что правобережье г. Киева имеет характерный рельеф местности, чем обусловлена глубина заложения тоннеля от 3...4 м до 96...98 м. Был разработан профиль тоннеля с самотечным режимом. Внутренний диаметр обделки коммунального тоннеля назначен, исходя из расчетной площади поперечного сечения пропускаемого по коллектору потока. При строительстве коллекторного тоннеля применена обделка из обжатых в породу железобетонных элементов, которая позволяет замыкающим блокам, заводимым с торца собираемого кольца, с помощью щитовых гидроцилиндров разжать кольцо до проектного диаметра. Подземные работы на всем протяжении тоннеля велись с применением ряда высокоэффективных технологий, включая проходку выработок щитовыми механизированными комплексами, с использованием замораживания грунтов, а также использования опускных колодцев в тиксотропной рубашке. Проектом строительства коллекторного тоннеля были предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды. **Научная новизна.** Разработаны основы технологий, реализованные при проектировании и строительстве коллекторного коммунального тоннеля и заключающиеся в оптимальном применении с учетом сложных инженерно-геологических условий. **Практическая значимость.** Строительные конструкции тоннелей главного городского коллектора были запроектированы и построены в соответствии с требованиями нормативных документов, что дало возможность обеспечить мегаполис важнейшим коммунальным объектом для дублирования стратегической системы экологической безопасности.

Ключевые слова: коллекторный тоннель; инженерно-геологические условия; тип крепи; щитовая проходка; замораживание; опускной колодец

Введение

В столице Украины завершено строительство главного городского самотечного резервного коллектора. Как известно, сданный в эксплуатацию в 1970 году главный коллектор длиной 9,77 км и диаметром 2,9 м по результатам обследования в 1999 году был признан аварийным, а в 2005 году был внесен в Государственный реестр потенциально опасных объектов государственного значения, как, например, и коллекторный тоннель г. Харькова (Garmash, Bondarenko, Zubko, & Goncharenko, 2016).

В результате проведенных в 2007, 2010 и 2014 годах обследований этого коллектора было установлено, что в некоторых местах глубина газовой коррозии (а это становится причиной аварийных ситуаций, как подчеркивают Zhang, De Schryver, & De Gusseme, 2008) его металлических конструкций достигала 15 см.

На арматуре стен и перекрытий, а также в общем на всех забетонированных металлических конструкциях коррозия с каждым годом проявлялась все глубже. В этой связи дальнейшая эксплуатация объекта могла стать причи-

ной масштабной экологической катастрофы (Anbari, Massoud, & Abbas, 2017).

По указанным причинам было принято решение по строительству дублирующего коллектора длиной 9,9 км для обеспечения надежного водоотведения коммунальных стоков в правобережной части Киева. Заказчиком на проведение работ был «Киевводоканал», а генеральным подрядчиком «Киевметрострой».

Правобережье г. Киева имеет характерный рельеф местности, чем обусловлена глубина заложения коллектора от 3...4 м до 96...98 м. Соответственно из-за таких перепадов высот коллектор должен работать самотеком.

Особенностью тоннелей такого типа являются малые диаметры, затрудняющие механизацию проходческих работ, а также сложные инженерно-геологические условия сооружения (ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012, 2013; ДСТУ-Н Б В.2.5-70:2013, 2014).

Цель

На основе опыта конструирования и строительства протяженного коммунального тоннеля в г. Киеве выполнено научно-техническое обоснование сооружения объектов экологического значения в сложных инженерно-геологических, рельефных и урбанистических условиях мегаполисов.

Методика

Подземные работы на протяжении почти всех 10 км трассы тоннеля велись в чрезвычайно сложных инженерно- и гидрогеологических условиях в несколько этапов с применением практически всех новых технологий: проходка выработок щитовыми механизированными комплексами (Петренко В. И., Петренко В. Д., & Тютюкин, 2005; Петренко В. Д., Тютюкин, & Петренко В. И., 2012; Петренко, Тютюкин, & Кулаженко, 2016), замораживание грунтов, опускные колодцы в тиксотропной рубашке (Гарбер, 1996).

Как известно, наибольшее распространение при строительстве коллекторных тоннелей получили обделки из обжатых в породе железобетонных элементов (ДБН В.2.3-7-2010, 2011), которые позволяют замыкающим блокам, заводимым с торца собираемого кольца, с помощью щитовых гидроцилиндров разжать кольцо до

фактически разработанного контура грунта (рис. 1).

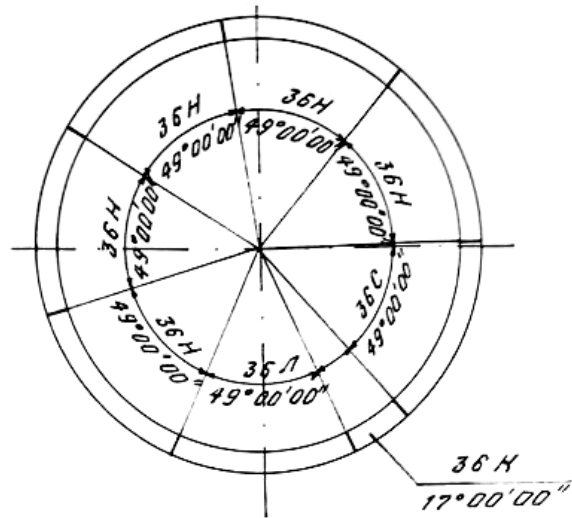


Рис. 1. Обделка из обжатых в породе железобетонных элементов до фактически разработанного контура грунта

Первичная обделка магистральных тоннелей выполнялась из сборных железобетонных колец из блоков с внешним диаметром 3,6 м, а вторичная – колец с внешним диаметром 3,06 м и внутренним 2,76 м. Технология сооружения вторичной тоннельной обделки (Sammal, Afanasova, & Levishcheva, 2016) предусматривала также защиту бетона колец от газовой коррозии и гидроизоляцию полиэтиленом. При этом были приняты высокие требования к защитным гидроизоляционным материалам, которые должны обеспечивать надежность сооружения на долгие годы (ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012, 2013; ДСТУ-Н Б В.2.5-70:2013, 2014).

Внутренний диаметр обделки коммунального тоннеля следует назначать, исходя из расчетной площади поперечного сечения пропускаемого по коллектору потока. Однако величина расхода этого потока за счет принимаемых по трассе тоннеля стоков увеличивается, в связи с чем возникает необходимость в увеличении диаметра обделки. Однако такой вариант параметров крепления тоннеля является неэкономичным, поскольку многократное (с целью максимального приближения внутреннего сечения коллектора к пропускаемому расходу стоков) изменение диаметра тоннеля техноло-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

гически и экономически нецелесообразно. Это обусловлено тем, что в таком варианте исключается возможность унификации элементов конструкции обделок, щитов и другого проходческого оборудования.

В связи с вышеизложенным, в проекте были приняты неизменные внутренние диаметры обделки и выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния обделки с учетом изменяющейся глубины заложения тоннеля, горного давления и дебита и соответственно сечения протекающего по тоннелю гидравлического двухфазного потока.

Результаты

Проходка коллекторного тоннеля выполнялась в сложных инженерно- и гидрогеологических условиях на основе изысканий, проведенных ранее в соответствии с «Рекомендациями по инженерно-геологическим изысканиям для подземного промышленного и гражданского строительства» и с учетом других нормативных документов.

Описание по объекту климата, геоморфологии, рельефа, гидрологии, геологического строения, гидрогеологических условий и физико-механических характеристик дано в «Отчете об инженерно-геологических изысканиях по трассе 2-й нитки Главного городского канализационного коллектора в г. Киеве».

Сечение коллектора от ПК0 до ПК0+90 вписывается в толщу спондиловой глины, сильно нарушенной размывными процессами, водоносной по микротрещинам. В сводовой части тоннеля на участке примыкания к колодцу № 1 залегают аллювиальные отложения р. Лыбидь (пески мелкозернистые, водонасыщенные). Уровень грунтовых вод выше лотковой части тоннеля на данном участке изменяется от 6,0 до 1,5 м.

От ПК0+90 до ПК1+75 сечение тоннеля вписывается в глины спондиловые, мелкотрещиноватые, водопроницаемые по трещинам, опесчаненные глины и пески мергелистые, глинистые, маловлажные. Уровень грунтовых вод выше лотковой части тоннеля составляет до 13,0 м.

В пределах ПК1+75...ПК4+50 тоннель пересекает глины спондиловые, сильно трещиноватые, нарушенные размывными процессами, во-

доносные по трещинам, в лотковой части сечения тоннеля залегают пески мергелистые, глинистые, маловлажные. Уровень грунтовых вод выше лотковой части составляет 12,0 м.

От ПК4+50 до ПК6+20 в верхней части тоннеля залегают глины спондиловые с уже указанными характеристиками, в лотковой – пески глинистые, маловлажные. Уровень грунтовых вод – 12,0...20,0 м выше лотковой части тоннеля.

В связи с малой защитной толщей спондиловой глины над шельгой свода отдельных участков тоннеля, а местами в связи с ее полным отсутствием, при проходке были возможны вывалы пород и водопроявления в виде течей различной интенсивности. Для безопасного ведения работ на участке от ПК0 до ПК6+20 было рекомендовано применение специального способа строительства тоннелей – искусственное замораживание грунтов.

От ПК6+20 до ПК75+90 сечение тоннеля полностью пересекало глину спондиловую, местами трещиноватую, с тонкими песчаными прослойками, полутвердой и тугопластичной консистенции, водопроницаемой по трещинам и песчаным прослойкам. Защитная толща глины в пределах этого участка была достаточной для сооружения тоннеля без применения специальных способов работ.

В пределах ПК75+90...ПК76+70 сечение тоннеля вписывается в толщу глины сильно трещиноватой, нарушенной размывными процессами, водоносной по трещинам. Уровень грунтовых вод на 17 м выше лотковой части сооружений. В связи с малой защитной толщей глины над шельгой свода сооружения и ее нарушенностью при проходке было рекомендовано применение специального способа работ – предварительного замораживания грунтов в кровле коллекторного тоннеля с помощью опережающих зонтичных скважин.

От ПК76+70 до ПК95+55 тоннель пересекает глину спондиловую, местами трещиноватую, с тонкими песчаными прослойками, водопроницаемую по трещинам и песчаным прослойкам тугопластичной и полутвердой консистенции. Величина защитной толщины глины над шельгой свода тоннеля была достаточной для проходки на этом участке без применения специальных способов работ.

На участке ПК95+55 и до примыкания к колодцу № 12 (ПК97+32) сооружение коллектора происходило в зоне эрозионного размыва толщи спондиловых глин, осложненных оползневыми процессами. Тоннель от ПК95+55 до ПК95+90 проходил в спондиловой глине трещиноватой, нарушенной, водоносной по трещинам. Уровень грунтовых вод был выше лотковой части проходимого тоннеля на 7,0...12,0 м.

Далее и до примыкания к колодцу № 12 тоннель проходил в делювиально-оползневых грунтах – супесях пластичных и текучих, а также в песках водонасыщенных, реже в суглинках мягкопластичных. Уровень грунтовых вод в пределах ПК95+90...ПК96+55 находился на 7,0 м выше лотковой части и до нижней отметки лотка сооружения.

Начиная от ПК96+45 и до ПК97+32 залегают маловодообильные и невыдержанные по уровню грунтовые воды типа «верховодка». Для безопасного ведения проходческих работ на участке ПК95+55...ПК97+32 было принято решение о применении специального способа работ – предварительного замораживания грунтов в кровле коллекторного тоннеля с помощью опережающих зонтичных скважин (рис. 2).

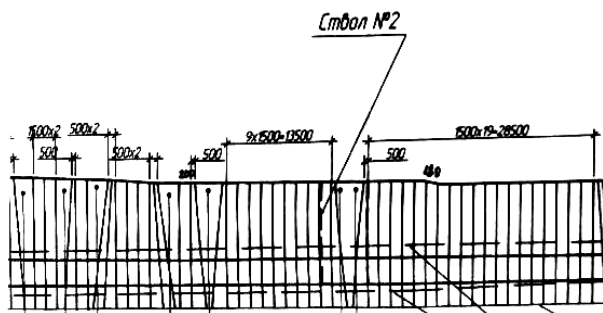


Рис. 2. Схема опережающих зонтичных и вертикальных скважин в районе ствола №2

При сооружении руддворов в связи с малой защитной толщиной глины над шельгой свода сооружений, а местами ее отсутствием, были также применены специальные способы работ (Петренко В. Д., Петренко В. И., & Савинков, 2011; Петренко В. И., & Петренко В. Д., 2014).

Шахтные стволы (колодцы) по трассе спроектированного коллектора пересекают толщу четвертичных отложений бурых и пестрых глин неогена, харьковского и киевского ярусов палеогена, четвертичный и полтавско-харьковский водоносные горизонты. Поэтому

при сооружении шахтных стволов были применены специальные способы – искусственное замораживание грунтов и проходка стволов в тиксотропной рубашке. В местах заложения стволов были также учтены участки эрозионного размыва толщи спондиловой глины.

Обделка шахтных стволов была представлена двумя типами: чугунная тубинговая обделка с наружным и внутренним диаметрами, равными 7,5/7,0 м и 7,8/8,5 м. Донная часть стволов была запроектирована и выполнена из монолитного железобетона, а сопряжения коллектора со стволами – монолитными бетонными с распорными монолитными железобетонными рамами.

Сооружение тоннелей коллектора производилось механизированными щитами с применением на отдельных участках метода искусственного замораживания грунтов. Типы обделок были выбраны с учетом гидрогеологических условий и способов производства работ. При этом руддворы, монтажно- и демонтажно-щитовые камеры были запроектированы и выполнены из чугунной тубинговой обделки с наружным/внутренним диаметрами 5,49/5,1 м.

Обделка коллекторного тоннеля была представлена тремя типами:

а) сборная железобетонная обделка (бетон В25, арматура класса АIII), обжатая в породе, с наружным и внутренним диаметрами 3,636/3,316 м, применяемая на участках щитовой проходки без реализации специальных способов работ;

б) сборная железобетонная обделка (бетон В25, арматура класса АIII), обжатая в породе, с наружным и внутренним диаметрами 3,636/3,316 м из армометаллоблоков с металлическим экраном толщиной 8 мм, предусмотренная в проекте в местах пересечения коллектора с линиями метрополитена;

в) чугунная тубинговая обделка с наружным и внутренним диаметрами 3,77/3,38 м, запроектированная для участков коллектора, сооружаемых в искусственно замороженных грунтах, а также на участке от ПК6+52 до ПК7+88, на котором сооружение коллектора производилось с помощью укладчика тоннельной обделки.

Гидроизоляция стволов и тоннелей коллектора, выполняемая с целью защиты основной обделки от грунтовых вод, обеспечивалась пу-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

тем реализации следующих мероприятий. Прежде всего, осуществлялось первичное и контрольное нагнетание за обделку цементно-песчаного и цементного растворов. Кроме того, выполнялась чеканка швов чугунных обделок стволов и коллектора на участках, сооружаемых в искусственно замороженных грунтах, с заполнением оставшейся части чеканочной канавки БУСом. Чеканку сборной железобетонной обделки выполняли составом ВРЦ.

При строительстве выработок на первом этапе были сооружены ствол № 1 и камера К-1, от которой проходились каналы Кл-1...Кл-4 и камеры К1/2 и К1/3. Далее был пройден ствол шахты № 2 и коллекторный тоннель до ствола шахты № 6 длиной 4,2 км. На этом участке применялась щитовая проходка с монтажом первичной и вторичной обделок и сооружение комплекса переключений на стволе № 6. Затем были построены промежуточные камеры № 2 и № 4 и завершен комплекс переключений из камеры № 1.

От ствола № 6 до ствола № 9 был пройден тоннель общей длиной 3,6 км, два ствола № 9/1 и № 9/2 с аналогичными параметрами и выпол-

нен комплекс переключений коллекторов в камеру № 9. На этом участке была смонтирована вторичная обделка в виде железобетонной трубы с бетонным заполнением.

Проходка тоннеля от ствола № 9 до ствола № 12 осуществлялась щитовым способом с сооружением после проходки внутренней обделки на всю длину участка тоннеля. При этом было выполнено замораживание грунтов в узле переключения коллекторов в камеру № 9 и пройдены стволы № 10/1...10/5 и 12/1...12/2. Кроме того, были сооружены камеры коллектора К-10/1...К-10/5, К-12/1, К-12/2 с антикоррозионной защитой.

Замораживание грунтов выполнялось при проходке тоннеля на участке от ПК95+35 до ПК 97+35,3, а также при сооружении стволов, руддворов, монтажно- и демонтно-щитовых камер. Бурение скважин под замораживающие колонки предусматривалось станком УРБ-ЗАМ. Для поддержания отрицательной температуры приняты передвижные холодильные станции ПХС-100 производительностью 545000-135000 кДж/час при температуре рассола -20 °С (рис. 3).

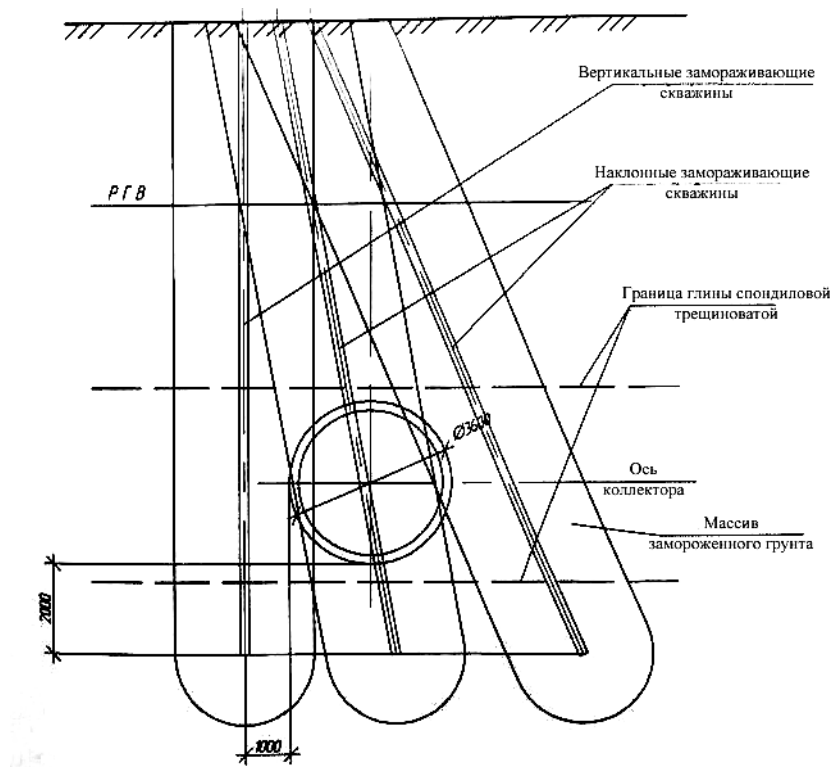


Рис. 3. Схема работ специального способа замораживания грунтов над коллекторным тоннелем

Проектом было предусмотрено сооружение коллектора от ПК75+85 до ПК76+75 с применением цементации грунтов с поверхности через скважины, пробуренные станком УБМ-04 «Бауэр», с подачей раствора через буровой инструмент установкой «Турбо».

При проходке стволов оборудовался бадье-вой подъем, который затем переоборудовался под горный комплекс с клетьевым подъемом. Горизонтальный транспорт при проходке состоял из контактных электровазов с колесей 600 мм и вагонеток емкостью 0,75 м³. Для перевозки железобетонных блоков применялись блок-ковозки, доставка сухой смеси для первичного нагнетания осуществлялась в специальных контейнерах.

Для проветривания забоев во время проходческих работ была применена нагнетательная схема вентиляции с вентиляторами местного проветривания типа ВМ-6 производительностью 360 м³/мин. Данные вентиляторы располагались не ближе 10 м от устья ствола. По мере подвигания забоя через каждые 400 м в трубопровод монтировались побудительные вентиляторы типа ВМ-6. При расстоянии между стволами более 1 км сооружались вентиляционные скважины, через которые в забой подавался свежий воздух.

Главный водоотлив осуществлялся насосами ЦНС 180-128 путем выдачи воды из зумпфа на поверхность, забойный водоотлив выполнялся насосами ГНОМ 25-20.

Проектом строительства коллекторного тоннеля были предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды в соответствии с требованиями существующих нормативных документов. При этом строительные площадки были размещены с учетом минимального сноса зеленых насаждений, а сточные воды, собираемые на площадках, отводились в городскую канализационную сеть и транспортировались на очистные сооружения. Сброс шахтных вод в ливневую канализацию производился после их отстаивания и осветления.

Научная новизна и практическая ценность

В соответствии с существующими новыми технологиями, эффективность которых подтверждается практикой, строительство коллектора осуществлялось с разбивкой трассы на несколько участков различной длины в зависимости от ее конфигурации и рельефа поверхности.

При этом участки тоннелей располагались под уклоном 0,0005 с возведением в местах сопряжения камер-колодцев для накопления стоков и их дальнейшего транспортирования само-теком.

Научную новизну работы составляет то, что примененные технологии сооружения коллекторного тоннеля, состоящего из вертикальных, наклонных и горизонтальных выработок учитывают инженерно-геологические условия, а именно пересечение толщи глин спондиловых и делювиальных отложений. Комбинационный расчет на горное давление и напор гидравлического двухфазного потока позволил обосновать размеры обделок коллекторного тоннеля с применением трех типов.

Практическая значимость состоит в том, что строительные конструкции тоннелей главного городского коллектора были запроектированы и построены в соответствии с требованиями нормативных документов, что дало возможность обеспечить мегаполис важнейшим коммунальным объектом для дублирования стратегической системы экологической безопасности.

Выводы

Как показал опыт разработки и применения прогрессивных технологий строительства коллекторного тоннеля в г. Киеве, решение такой сложной научно-технической проблемы было сопряжено с рядом трудностей. Это было обусловлено, прежде всего, сложностью инженерно-геологических условий за счет неравномерного рельефа с различным превышением грунтовых наслоений над проходимым тоннелем, скоплением большого количества грунтовых вод и инженерных коммуникаций в верхних пластах. Причем, практически во всех случаях строительства таких инженерных сооружений в крупных городах указанные сложности всегда присутствуют.

Это и предопределило высокий уровень проектной разработки строительства новой линии коммунального коллекторного тоннеля в г. Киеве. Были применены эффективные способы, включающие проходку тоннелей с применением проходческих механизированных щитовых комплексов, способа искусственного замораживания грунтов с применением рассольного варианта, а также использования опускных колодцев в тиксотропной рубашке. Указанные технологии и способы имели высокий уровень

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

технологичности и технико-экономической эффективности.

Таким образом, их промышленная реализация была осуществлена на основе огромного опыта инженеров-проектировщиков и производственников, накопленного за последние десятилетия при строительстве тоннелей метрополитена в г. Киеве, Днестровской гидроаккумулирующей гидроэлектростанции и горных тоннелей в условиях Ингулецкого горно-обогатительного комбината.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Anbari, M., Massoud, T., & Abbas R. (2017). Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks. *Journal of environmental management*, 190, 91-101.
- Garmash, A., Bondarenko, D., Zubko, G., & Goncharenko, D. (2016). On renovation of the destroyed tunnel sewer collector in Kharkiv. *World Journal of Engineering*, 13(1), 72-76.
- Sammal, A. S., Afanasova, O. V., & Levishcheva, O. M. (2016). Geomechanical estimation of the effectiveness of sewer tunnel repair by the "pipe in pipe" technology. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 71-77.
- Zhang L., De Schryver P., & De Gusseme B. (2008). Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review. *Water Research*, 42, 1-12.
- Гарбер, В. А. (1996). Научные основы проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения (Т. 1). Москва: АО ЦНИИС.
- ДБН В.2.3-7-2010 (2011). *Споруди транспорту. Метрополітени*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012 (2013). *Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДСТУ-Н Б В.2.5-70:2013 (2014). *Колекторні тунелі, що споруджуються способом щитової проходки. Настава з будівництва та приймання робіт (СН 322-74, MOD)*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- Петренко, В. Д., Петренко, В. И., & Савинков, Г. К. (2011). Надежность способов закрепления грунтов при эксплуатации перегонных тоннелей Киевского метрополитена. *Вісник ДНУЗТу імені академіка В. Лазаряна*, 35, 135-139.
- Петренко, В. Д., Тютюкин, А. Л., & Петренко, В. И. (2012). Обзор аналитических и экспериментальных методов исследования взаимодействия массива и крепи. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 1, 75-81.
- Петренко, В. Д., Тютюкін, А. Л., & Кулаженко, О. М. (2016). Експериментальні дослідження теорій гірського та гідростатичного тиску на щит при проходці в слабких водонасичених грунтах. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 9, 32-41.
- Петренко, В. И., Петренко, В. Д., & Тютюкин, А. Л. (2005). *Современные технологии строительства метрополитенов в Украине*. Дніпропетровськ: Наука і освіта.
- Петренко, В. И., & Петренко В. Д. (2014). Обоснование параметров химического закрепления грунтов при строительстве Киевского метрополитена. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 4, 60-66.

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, В. І. ПЕТРЕНКО², М. В. БІЛОУС³, АХМАД АЛХДУР⁴

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Публічне акціонерне товариство «Київметробуд», вул. Прорізна, 8, Київ, Україна, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, ел. пошта petrenko@metrobud.kiev.ua

³ Публічне акціонерне товариство «Київметробуд», вул. Прорізна, 8, Київ, Україна, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, ел. пошта geodezmark@metrobud.kiev.ua

⁴ Університет Ель-Балка Аплайед, кафедра цивільного будівництва, 19117, Ас-Сальт, Йорданія, ел. пошта a.m.alkhdour888@gmail.com, ORCID 0000-0002-4148-5994

ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА КОЛЕКТОРНОГО ТУНЕЛЮ В М. КИЄВІ

Мета. У статті розглянуті прогресивні, науково обґрунтовані технології, що застосовані при будівництві колекторного тунелю в м. Києві. **Методика.** Для досягнення поставленої мети авторами були розглянуті і проаналізовані досвід і результати будівництва колекторного комунального тунелю довжиною близько

© Петренко В. Д., Петренко В. И., Белоус Н. В., Ахмад Алхдур, 2019

10 км в складних інженерно-геологічних умовах в слабких і обводнених породах. **Результати.** Аналіз умов будівництва показав, що правобережжя м. Києва має характерний рельєф місцевості, чим обумовлена глибина закладення тунелю від 3...4 м до 96...98 м. Був розроблений профіль тунелю з самопливним режимом. Внутрішній діаметр оправи комунального тунелю призначено виходячи з розрахункової площі поперечного перерізу потоку, що пропускається по колектору. При будівництві колекторного тунелю застосована оправа із обтиснутих в породу залізобетонних елементів, яка дозволяє замикаючим блокам, що заводяться з торця кільця, що збирається, за допомогою щитових гідроциліндрів розтиснути кільце до проектного діаметру. Підземні роботи на всій довжині тунелю велися із застосуванням ряду високоефективних технологій, включаючи проходку виробок щитовими механізованими комплексами, з використанням заморожування ґрунтів, а також використання опускних колодязів в тиксотропній сорочці. Проектом будівництва колекторного тунелю були передбачені заходи з охорони навколишнього середовища. **Наукова новизна.** Розроблено основи технологій, що реалізовані при проектуванні і будівництві колекторного комунального тунелю і полягають в оптимальному застосуванні з урахуванням складних інженерно-геологічних умов. **Практична значимість.** Будівельні конструкції тунелів головного міського колектора були запроектовані і побудовані відповідно до вимог нормативних документів, що надало можливості забезпечити мегаполіс найважливішим комунальним об'єктом для дублювання стратегічної системи екологічної безпеки.

Ключові слова: колекторний тунель; інженерно-геологічні умови; тип кріплення; щитова проходка; заморожування; опускний колодязь

V. D. PETRENKO^{1*}, V. I. PETRENKO², M. V. BILOUS³, AHMAD ALKHDOR⁴

^{1*} Department «Bridges and tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

² Public Joint Stock Company "Kyivmetrostroy", 8 Proreznaya Str., Kyiv, Ukraine, 01601, tel. +38 (044) 455 23 00, e-mail petrenko@metrobud.kiev.ua

³ Public Joint Stock Company "Kyivmetrostroy", 8 Proreznaya Str., Kyiv, Ukraine, 01601, tel. +38 (044) 455 23 00, e-mail geodezmark@metrobud.kiev.ua

⁴ Al-Balqa' Applied University, Department of civil engineering, 19117, Al-Salt, Jordan, e-mail a.m.alkhdour888@gmail.com, ORCID 0000-0002-4148-5994

PROGRESSIVE CONSTRUCTION TECHNOLOGIES OF COLLECTOR TUNNEL IN KYIV

Purpose. In the article has been considered progressive and scientifically based technologies which was applied under construction of the collector tunnel in Kyiv. **Methodology.** To achieve this goal, the authors reviewed and analyzed the experience and results of the construction of a collector communal tunnel with a length of about 10 km in difficult geotechnical conditions in weak and watered contented soils. **Findings.** An analysis of the construction conditions showed that the right bank of the city of Kyiv has a characteristic terrain, which determines the depth of the tunnel from 3...4 m to 96...98 m. A profile of the tunnel with gravity mode was developed. The inner diameter of the lining of the communal tunnel was assigned on the basis of the calculation cross-sectional area of the flow through the collector. Under construction of the collector tunnel, a lining from the reinforced concrete elements was used, which allows the closing blocks, which are driven from the end of the assembled ring by means of shield hydraulic cylinders to unclasp to the design diameter. Underground work of the all length of tunnel was carried out using a number of highly efficient technologies, including driving the workings with shield mechanized complexes, using soil freezing and the use of sink wells in a thixotropic jacket. The construction project of the collector tunnel provided for environmental protection measures. **Originality.** The basics of technology have been developed and implemented in the design and under construction of a collector communal tunnel, which consist of optimal application, taking into account difficult engineering and geological conditions. **Practical value.** The building structures of the tunnels of the city collector were designed and built in accordance with the requirements of specification documents, which made it possible to provide the metropolis with the most important communal unit for duplicating the environmental safety strategic system.

Keywords: collector tunnel; geotechnical conditions; lining type; shield driving; freezing; sink a well

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

REFERENCES

- Anbari, M., Massoud, T., & Abbas R. (2017). Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks. *Journal of environmental management*, 190, 91-101. (in English)
- Garmash, A., Bondarenko, D., Zubko, G., & Goncharenko, D. (2016). On renovation of the destroyed tunnel sewer collector in Kharkiv. *World Journal of Engineering*, 13(1), 72-76. (in English)
- Sammal, A. S., Afanasova, O. V., & Levishcheva, O. M. (2016). Geomechanical estimation of the effectiveness of sewer tunnel repair by the "pipe in pipe" technology. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 71-77. (in English)
- Zhang L., De Schryver P., & De Gussemme B. (2008) Chemical and biological technologies for hydrogen sulphide emission control in sewer systems: A review. *Water Research*, 42, 1-12. (in English)
- Garber, V. A. (1996). Nauchnye osnovy proektirovaniya tunnel'nykh konstrukcij s uchetom tehnologii ih sooruzhenija, 1. Moskva: AO CNIIS. (in Russian)
- DBN V.2.3-7-2010 (2011). *Sporudy transportu. Metropoliteny*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU-N B V.2.5-68:2012 (2013). *Nastanova z budivnytstva, montazhu ta kontroliu yakosti truboprovodiv zovnishnikh merezh vodopostachannia ta kanalizatsii*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU-N B V.2.5-70:2013 (2014). *Kolektorni tuneli, shcho sporudzhuiutsia sposobom shchytovoi prokhodky. Nastanova z budivnytstva ta prymannia robit (CH 322-74, MOD)*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- Petrenko, V. D., Petrenko, V. I., & Savinkov, G. K. (2011). Nadezhnost' sposobov zakreplenija gruntov pri jekspluatacii peregonnykh tonnelej Kievskogo metropolitena. *Visnyk DNUZTu imeni akademika V. Lazariana*, 35, 135-139. (in Russian)
- Petrenko, V. D., Tjut'kin, A. L., & Petrenko, V. I. (2012). Obzor analiticheskikh i jeksperimental'nykh metodov issledovaniya vzaimodejstviya massiva i krep'i. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 1, 75-81. (in Russian)
- Petrenko, V. D., Tiutkin, A. L., & Kulazhenko, O. M. (2016). Eksperymentalni doslidzhennia teorii hirskeho ta hidrostatychnoho tysku na shchyt pry prokhodtsi v slabkykh vodonasyshenykh gruntakh. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 9, 32-41. (in Ukrainian)
- Petrenko, V. I., Petrenko, V. D., & Tjut'kin, A. L. (2005). *Sovremennye tehnologii stroitel'stva metropolitenov v Ukraine*. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita. (in Russian)
- Petrenko, V. I., & Petrenko V. D. (2014). Obosnovanie parametrov himicheskogo zakreplenija gruntov pri stroitel'stve Kievskogo metropolitena. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 4, 60-66. (in Russian)

Надійшла до редколегії 06.05.2019.

Прийнята до друку 20.05.2019.