

Рукопис подано до редакції 13.04.2018

УДК 624.195

Р.А. ТИМЧЕНКО, С.О. ПОПОВ, доктора техн. наук, профессора,
Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. препод., С.О. МАЦЫШИН, ассистент
Криворожский национальный университет

ЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН ИЗ ТРУБ ДЛЯ ТОННЕЛЕЙ В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

Цель. Разработка защитного экрана из труб с линейно-подвижным соединением для сложных инженерно-геологических условий. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях. Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры.

Методы исследования. Для реализации поставленной цели использованы такие общенаучные методы, как: сравнение, анализ, наблюдение.

Научная новизна. Определена методика расчета и конструктивные особенности защитного экрана из труб, назначение которого состоит в предупреждении и минимизации деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления.

Практическая значимость. Использование защитного экрана из труб при строительстве тоннелей позволит решить ряд проблем – разгрузить транспортные магистрали и узлы их пересечения, ускорить движение всех видов транспорта и пешеходов, а также снизить загазованность городской атмосферы.

Результаты. Приведена область применения тоннелей, примеры их проектирования, технология и организация строительства различными способами в инженерно-геологических и транспортных условиях в различные годы. Рассмотрены разновидности тоннелей, а также факторы, осложняющие, с геомеханической точки зрения, строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях и в сложных инженерно-геологических условиях Кривого Рога. Защитный экран из труб при строительстве подземных сооружений не требует больших экономических затрат и остановки движения транспорта при строительстве подземных транспортных сооружений (автодорожных тоннелей, пешеходных переходов), позволяет разгрузить дорожное движение уличной сети и обезопасить пешеходов. Поэтому при строительстве тоннелей на застроенных городских территориях, а также при пересечении железнодорожных и автодорожных магистралей применяют защитные экраны, устраиваемые по технологии опережающей крепи.

Ключевые слова: тоннель, защитный экран из труб, подземные сооружения, строительство.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-141-147

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Проблемы развития крупных городов решаются в настоящее время с использованием третьего измерения, глубины грунтового массива. Подземная инфраструктура играет значительную роль в жизни современных городов. В комплексе городских подземных сооружений особое место занимают тоннельные системы, к которым относятся транспортные тоннели, пешеходные тоннели, подземные многоярусные автостоянки и гаражи, коллекторные тоннели и др. Особой сложностью отличается строительство подземных тоннельных систем, расположенных в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях, на подрабатываемых территориях [1, 2].

Основными требованиями при строительстве подобных сооружений являются исключение просадки, деформации поверхности и минимальное влияние строительного процесса на повседневную работу городской инфраструктуры [3].

Выполненные ранее работы [4, 5] по разработке конструкций поперечного тоннеля имеют дальнейшее развитие в создании защитного экрана из труб на неравномерно-деформируемых основаниях.

Анализ исследований и публикаций. Тоннели начали строить в глубокой древности, пре-

имущественно для подачи воды, канализационных стоков и для воинских нужд. Первый горный железнодорожный тоннель длиной 1190 м был построен в 1826–1830 гг. в Англии. Один из древнейших в мире – Симплонский тоннель протяженностью 19,78 км, соединивший Италию со Швейцарией, был построен в 1898–1906 гг. Железнодорожные тоннели в Украине начали строить в 1859 году. За три года были построены двухсторонние тоннели длиной 427 и 1280 м на Петербург-Варшавской железной дороге. До конца XIX столетия проложено большое количество тоннелей на железных дорогах Кавказа, а также в Карпатском регионе. В начале XX века построены крупные тоннели на железных дорогах Николаев – Херсон, на Черноморской железной дороге, ряд тоннелей на востоке Украины и в Карпатах [6].

Железнодорожные тоннели строили различными способами в грунте с обкладыванием стен массивными камнями, защищающими движущиеся поезда от обвалов горных пород, позже начали использовать бетон и железобетон.

Во многих городах Украины эксплуатируются большое количество автотранспортных и пешеходных тоннелей. В Киеве насчитывается около 30 автотранспортных и более 350 пешеходных тоннелей.

Крупнейшими горными тоннелями за рубежом являются Лаердалхпиной длиной 24,5 км в Норвегии, два параллельных тоннеля длиной по 19,6 км через Тюрингский лес в Германии, Сен-Готардский тоннель длиной 16,3 км в Швейцарии.

Наиболее протяженные подводные автодорожные тоннели построены под Токийской бухтой в Японии (два тоннеля длиной по 10 км), под р. Эльбой в Германии (длина 3,1 км), тоннель Бэмлафиорд в Норвегии (длина 7,9 км).

Крупные городские тоннели общей протяженностью 11,3 км эксплуатируются в Бостоне (США), на автомагистрали А-86 под Парижем (Франция) длиной 10 и 7,5 км, на кольцевой 6-ти полосной магистрали в Стокгольме (Швеция) общей протяженностью 12 км.

Постановка задачи. Разработка защитного экрана из труб с линейно-подвижным соединением для сложных инженерно-геологических условий.

Изложение материала и результаты. Подземное хозяйство крупных городов состоит в основном из подземных коммуникаций различного назначения, вспомогательных сооружений, а также устройств для комплексного обслуживания городского населения и удовлетворения производственных потребностей промышленных предприятий.

Размещение сооружений в подземном пространстве городов может быть как вертикальным, так и горизонтальным, что определяется характером района города, возможным способом строительства сооружения, экономическими и другими факторами. В мировой практике градостроительства наблюдается тенденция объединения различных тоннелей в единые системы. Так, в Токио создана единая тоннельная конструкция, включающая станцию метрополитена, транспортный автотоннель и коллекторы городского хозяйства [7].

К подземным сооружениям больших городов относят следующие: подземные пешеходные переходы, транспортные тоннели, гидротехнические тоннели для русел рек, подземные гаражи и автостоянки, коммунальные тоннели и городские подземные сети.

Важную роль играют коллекторы: канализационные, водосточные, водомагистральные, теплофикационные и кабельные. Применяют коллекторы для электроснабжения, для связи, для радиосетей, а также общие коллекторы. В число подземных сооружений так же входят: квартальные подземные коммуникации, электроподстанции, подземные части вокзалов, небольшие бытовые помещения и предприятия торговли [8].

Тоннели – это протяженное подземное или подводное сооружение, предназначенное для пропускания через высотное или контурное препятствие транспортных средств, пешеходов, воды, инженерных коммуникаций или технологических линий [9].

Область применения и разновидности тоннелей настолько широки, что позволяют составить только их общую классификацию по назначению, месту расположения, глубине заложения и способу строительства (рис. 1).

Конструктивные и планировочные решения подземных сооружений определяются глубиной их заложения, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями и способом строительства. В зависимости от глубины заложения от поверхности земли H различают тоннели глубокого ($H > 2 - 3 B$) и мелкого ($H < 2 - 3 B$) заложения, где B – наибольший размер (про-

лет или высота) поперечного сечения тоннеля. Наряду с этим существуют также сверхглубокие тоннели, глубина которых составляет 30–40 м и больше от поверхности земли [10].

Строительство сооружений глубокого заложения осуществляется закрытыми горными способами, без вскрытия поверхности. Такие сооружения рассчитывают на горное давление окружающих пород.

Сооружения мелкого заложения возводят с полным или частичным вскрытием поверхности земли, а также под временным перекрытием. При этом применяют траншейные методы или закрытый способ. Эти сооружения работают под давлением от вышележащих грунтов, засыпки и нагрузки от транспорта и близко расположенных сооружений [11].

Сооружения, возводимые под землей в 1,5...2,0 раза дороже обычных, но они позволяют уменьшить площадь городской застройки и городских коммуникаций. Сокращение времени транспортных связей обеспечивает экономию времени при поездках на работу и обратно. Это следует принимать во внимание при экономических расчетах градостроительных вариантов.

При определении номенклатуры объектов, размещаемых в подземном пространстве, необходимо учитывать: целесообразность использования поверхности и подземного пространства, возможность размещения сооружений, обладающих технологическими особенностями, экономичность строительства и эксплуатации подземных объектов, геологическую и гидрогеологическую структуру подземного пространства, а также рельеф местности [12].

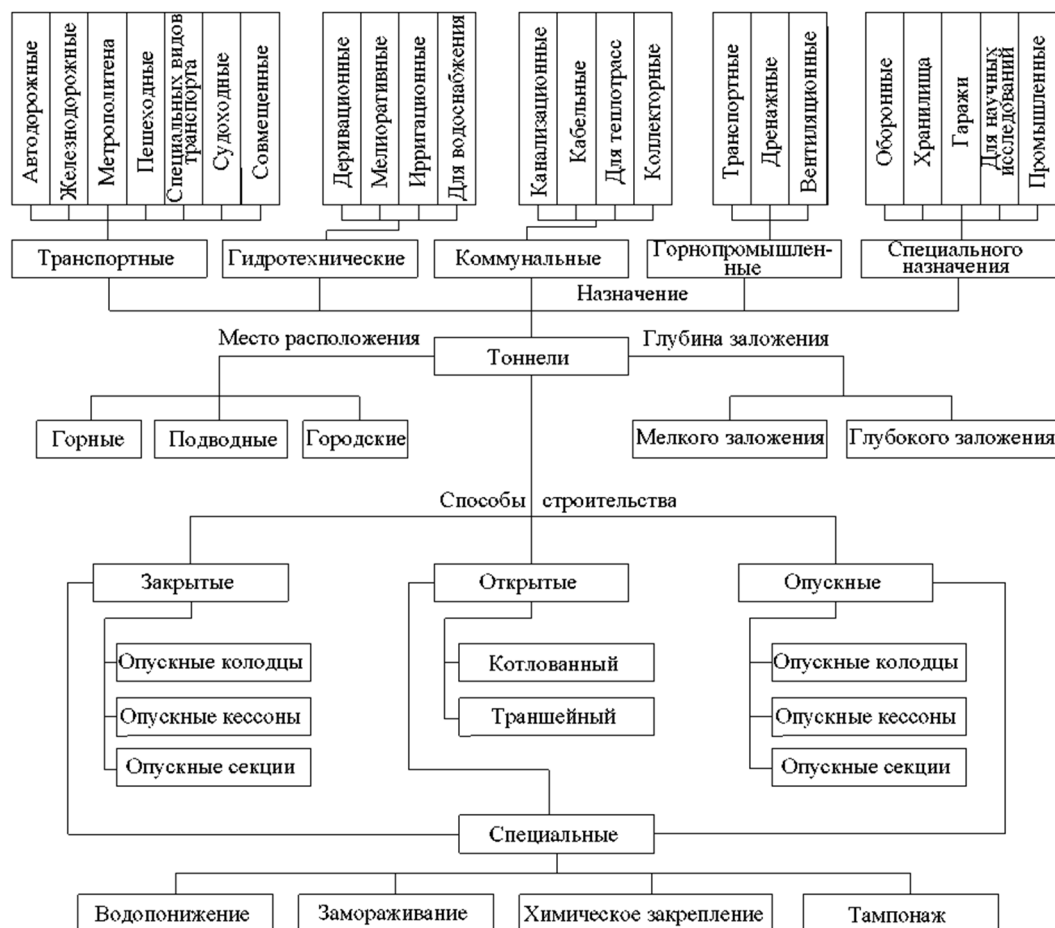


Рис. 1. Разновидности тоннелей

В номенклатуру подземных объектов могут включаться только сооружения, характеризующиеся периодическим пребыванием людей и безвредностью микроклимата для обслуживающего персонала.

План каждой линии зависит не только от городской застройки, но и от глубины заложения тоннелей. При мелком заложении тоннелей трасса выбирается вдоль основных транспортных магистралей города; при глубоком заложении, когда направление линий не зависит от город-

ской застройки, план ее определяется привязкой к местам наибольших пассажирских потоков на центральных площадях, у вокзалов, стадионов, парков и др.

Профили и глубина заложения линий назначаются в зависимости от горно-геологических и гидрогеологических условий, способа работ по сооружению тоннелей, эксплуатационных требований, а также от насыщения подземного пространства городскими сооружениями.

Линии мелкого заложения располагаются обычно на глубине промерзания грунта, позволяющей вести работы открытым или комбинированным способом (траншейным, под перекрытием), либо на глубине с минимальной кровлей пород над тоннелями, позволяющей применять закрытый способ работ. При этом в основании тоннелей должны залегать прочные породы.

Подземные сети, коллекторы, тоннели, каналы являются подземными инженерными сооружениями, которые наиболее широко распространены и насыщают подземное пространство города.

Размещение инженерных сооружений в центре нагрузок в подземном пространстве с блокировкой в отдельных случаях позволяет улучшить планировку жилых районов, высвободить городскую территорию, сократить протяженность инженерных сетей. Ряд городских проблем позволяют решить подземные транспортные сооружения. Их строительство позволяет: разгрузку транспортных магистралей и узлов их пересечения, ускорение движения всех видов транспорта и пешеходов, а также снижение загазованности городской атмосферы [13].

Подземное строительство сооружений улично-дорожной и транспортной сети позволяет организовать скоростное движение автотранспорта и одновременно повысить безопасность пешеходов. Отсутствие задержек автомобильного транспорта перед светофорами и в «пробках» снижает затраты времени на передвижение по городу, способствует снижению уровней транспортных шумов, а также уровней загрязненности воздушного бассейна выхлопными газами автомобилей.

Основным средством организации скоростного движения наземного транспорта является устройство транспортных и пешеходных тоннелей мелкого заложения, а также автотранспортных тоннелей глубокого заложения. Общие принципы проектирования автотранспортных тоннелей в городах сводятся к следующему: выбор автомобильных трасс, на которых целесообразно устройство тоннелей; обеспечение полного разделения в тоннелях встречного движения; исключение слияния в тоннелях второстепенных потоков с главными потоками транспорта [14].

Строительство автотранспортных тоннелей целесообразно на отдельных участках наиболее загруженных магистральных улиц и дорог как средство повышения их пропускной способности. Для обеспечения сохранности исторической застройки города строительство автотранспортного тоннеля часто оказывается единственно возможным решением.

Использование подземного пространства Кривого Рога имеет ряд особенностей, связанных со сложными горно-геологическими условиями и подработкой территории. Проведение горных выработок в массиве нарушает равновесие горных пород, в результате чего, они деформируются и сдвигаются. Сдвигание горных пород может происходить и под влиянием естественных природных факторов, к числу которых относятся тектонические процессы, выщелачивания, водопонижения и др [15].

С геомеханической точки зрения строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях осложняется следующими факторами: массив горных пород и земная поверхность многократно подработаны в разное время на различных глубинах подземными горными выработками; возможно воздействие горных работ на подземные сооружения в перспективе; по трассе тоннельных сооружений большое число разрывных геологических нарушений, которые сами по себе являются осложняющим фактором, а при подработке нарушений этот фактор становится преобладающим; массовое закрытие нерентабельных шахт с частичным или полным затоплением может вызвать активизацию процессов сдвижения массивов горных пород, следовательно, и земной поверхности [16].

Главной задачей строительства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки является сведение к минимуму осадки земной поверхности. Оптимальным решением при строительстве таких объектов будет применение защитного экрана [17].

Конструктивным назначением экрана является предупреждение и минимизация деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления. Существуют различные модификации этого способа, отличающиеся материалом,

формой и размерами экрана, способами возведения, наличием или отсутствием замковых элементов и др. По типу защитные экраны подразделяют на: металлические экраны из труб, железобетонные экраны из труб, экраны из стабилизированного закрепленного грунта, экраны из опережающей бетонной крепи.

Для экранов применяют стальные, железобетонные, асбоцементные и пластмассовые трубы диаметром от 80 до 250 см и длиной до 30-40 м. Трубы продавливают в породу по контуру выработки домкратными установками или проталкивают в пробуренные скважины отдельными звеньями по 2-5 м (рис. 2). По мере продавливания из труб извлекают породу, а по окончании продавливания трубы заполняют бетоном, и они образуют сплошное ограждение, под защитой которого производится разработка породы и возводится тоннельная обделка. По мере разработки породы в тоннеле звенья труб соединяют между собой сваркой или омоноличивают стыки либо соединяют с помощью замковых устройств хомутами или бандажами по типу шпунта.

При устройстве экранов применяют следующие технологические способы: продавливание или прокол труб малого диаметра, горизонтальное бурение, нарезание (фрезерующим или баровым рабочим органом) щелей длиной до 3-4 м и высотой 12-20 см и более, щитовую проходку выработок малого диаметра, микротоннелирование. Наибольшее распространение получили экраны из стальных труб, заполненных бетоном с арматурными каркасами.

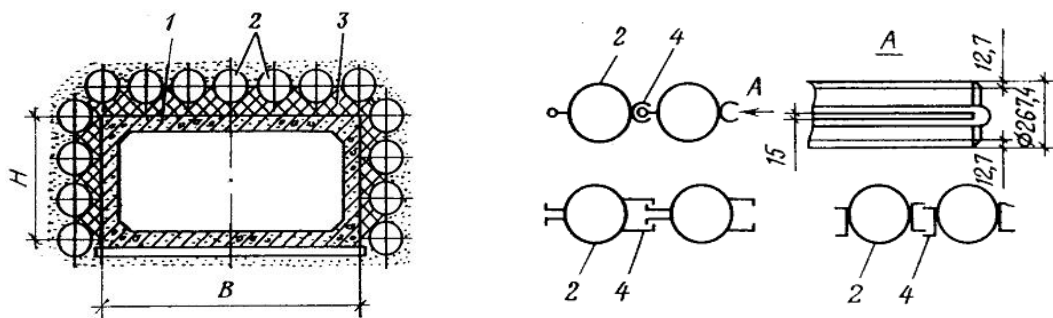


Рис. 2. Схемы продавливания и соединения труб:

1 – тоннель; 2 – трубы; 3 – бетонное заполнение; 4 – замковые соединения

Расчет конструкций защитного экрана из труб при сооружении тоннелей производят для назначения или проверки его параметров и возможности воспринимать заданные нагрузки. В некоторых случаях целью расчета является также определение деформаций элементов конструкции (трубы экрана и рамы временного крепления).

Характеристики грунтов горного массива вокруг тоннеля, используемые в расчетах защитного свода, должны определяться натурными или лабораторными исследованиями. При предварительных расчетах допускается использование данных из нормативных документов. Как правило, используются изотропные однородные линейно деформируемые и упругопластические модели грунта. Для этих моделей деформационными параметрами являются модуль деформаций E , МПа, и коэффициент Пуассона μ [18].

Переход грунта в пластическое состояние рекомендуется определять по условию разрушения Кулона – Мора. Прочность горных пород характеризуется: для нескальных грунтов параметрами сдвига (углом внутреннего трения φ , град. и сцеплением C , МПа); для скальных грунтов – прочностью на сжатие R_c , МПа, и прочностью на растяжение R_p , МПа.

Важным моментом в создании экрана является выполнение замковых устройств. С учетом возможных растягивающих и сдвигающих усилий эти конструкции должны компенсировать возникающие деформации основания.

Наиболее точно напряженно-деформированное состояние защитного экрана в процессе проходки может быть оценено проведением пространственного расчета напряженно-деформированного состояния системы «конструкция – массив» с использованием методов механики сплошной среды. Для приближенного определения усилий в трубах экрана могут использоваться плоские расчетные конечно-элементные модели, плоскость которых параллельна оси тоннеля.

Защитный экран из труб при строительстве подземных сооружений не требует больших экономических затрат и остановки движений, позволяет разгрузить дорожное движение уличной сети и обезопасить пешеходов. Поэтому при строительстве тоннелей на застроенных городских территориях, а также при пересечении железнодорожных и автодорожных магистралей применяют защитные экраны, устраиваемые по технологии опережающей крепи.

Выводы и направление дальнейших исследований. Приведена область применения тоннелей, примеры их проектирования, технология и организация строительства различными способами, в инженерно-геологических и транспортных условиях в различные годы. Рассмотрены разновидности тоннелей, а также факторы, осложняющие, с геомеханической точки зрения, строительство подземных сооружений на подрабатываемых территориях и в сложных инженерно-геологических условиях Кривого Рога. Предложены предпосылки расчета защитного экрана из труб, назначение которого состоит в предупреждении и минимизации деформаций и просадок поверхности, расположенной над сводом тоннеля в период его проходки и крепления.

С целью улучшения работы экрана, т.е. уменьшения величины относительных деформаций поверхности территории и перераспределения нагрузки на подземные сооружения необходима дальнейшая конструктивная разработка замковых соединений в виде линейно-подвижных конструкций.

Список литературы

1. Шаповалов А.Н. Инженерные сооружения: учебн. пособие / А.Н. Шаповалов. – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2017. – 292 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков, М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
3. Харченко А.В. Использование подземного пространства большого города для размещения транспортной инфраструктуры / А.В. Харченко. – М.: Издательство МГУ, 2005. – 210 с.
4. Тімченко Р.О. Конструкція поперечного тунелю. / Р.О. Тімченко // Современные проблемы строительства. – Донецк, 2011. – № 14. – С. 47-52.
5. Timchenko R.A. Constructive solution to the tune by the permanent transport master. / R.A. Timchenko, D.A. Krishko, S.O. Macyshin // International scientific and technical conference “Geotechnics – XXI” (October 24 – 26, 2017, Poltava). – Poltava: PNTU, 2017. – P. 214-220.
6. Абрамчук, В.П. Подземные сооружения / В.П. Абрамчук, С.Н. Власов, В.М. Мостков. – М.: ТА Инжиниринг, 2005. – 464 с.
7. Баклашов И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. Учебник для вузов / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия – М.: Недра, 1992. – 543 с.
8. Конохов Д.С. Использование подземного пространства. Учебн. пособие для ВУЗов / Д.С. Конохов / – М. Архитектура-С, 2004. – 296 с.
9. Лысыков Б.А. Использование подземного пространства. Монография / Б.А.Лысыков, А.А.Каплюхин / – Донецк: Норд-Компьютер, 2005. – 390 с.
10. Results of geotechnical modelling of the influence of construction of the deep foundation ditch on the existing historical building / A.V. Ponomaryov, S.V. Kaloshina, A.V. Zakharov, M.A. Bezgodov, R.I. Shenkman, D.G. Zolotozubov // Japanese Geotechnical Society Special Publication: the 15th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Geotechnical heritage. Part 2 (TC301/ATC19 Session). – 2015. – Vol. 2, № 78. – P. 2676–2679.
11. Конохов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы. Учебн. пособие для ВУЗов / Д.С.Конохов / – М. Архитектура-С, 2005. – 304 с.
12. Цимбал С.Й. Підземне будівництво: Навчальний посібник / С.Й. Цимбал. – К.: КНУБА, 2004. – 148 с.
13. Пономарев А.Б. Подземное строительство: учебн. пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014 – 262 с.
14. Далматов Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений / Б.И. Далматов, В.Н. Бронин [и др.] – М.: Изд-во АСВ; СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2006. – 428 с.
15. Драновский А.Н. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве / А.Н. Драновский, А.Б. Фадеев – Казань: Изд-во Казанского университета, 1993. – 355 с.
16. Теличенко В.И. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов / В.И. Теличенко [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 360 с.
17. Маковский Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей / Л.В. Маковский. – М.: Транспорт, 1993. – 89 с.
18. Мангушев Р.А. Основания и фундаменты / Р.А. Мангушев [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 391 с

Рукопись поступила в редакцию 18.04.2018