УДК 624.1

П.А.ДЕМЕНКОВ, *канд. техн. наук, доцент, dem-petr@yandex.ru, (812) 328-86-25*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

P.A.DEMENKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, dem-petr@yandex.ru, (812) 328-86-25*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС С ПЕРЕСАДОЧНЫМ УЗЛОМ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Предложены варианты объемно-планировочных решений пересадочных узлов станций на две, три и четыре линии метрополитена, размещенных в едином объеме с многофункциональным подземным комплексом. Выполнены предварительные расчеты методом конечных элементов с учетом этапности строительства подземного комплекса, сооружаемого по различным схемам.

Ключевые слова: многофункциональный подземный комплекс, станции метрополитена, пересадочные узлы, объемно-планировочные решения, метод конечных элементов.

MULTIFUNCTIONAL UNDERGROUND FACILITY COMPRISES A SUBWAY TRANSFERRING NODE

Structural spatial concept of subway transferring node for two, three andfour metro lines, which are located in unified underground facility issuggested. Preliminary structural fem design of underground facility isdone. Different construction methods are considered and step by step excavation isincluded in finite element modeling.

Key words: multifunctional underground facility, subway station, transfernode, structural spatial concept, finite element method.

По состоянию на 2010 г. парк легковых автомобилей Санкт-Петербурга насчитывал 1,24 млн единиц, т.е. на каждую 1 тыс. жителей города приходилось 272 автомобиля. Прогноз уровня автомобилизации составляет 400-450 машин на 1 тыс. человек уже к 2015 г. Подобная тенденция наблюдается и в других крупных городах России. Постоянное увеличение количества автомобилей приводит к росту транспортной напряженности. При этом роль метрополитена, как средства быстрой доставки пассажиров, становится все более значимой.

Строительство многофункциональных подземных комплексов, совмещенных с пересадочным узлом станций метрополитена, позволяет получить большое количество парковочных мест и удобную пересадку на несколько линий метрополитена. Это актуально как для центральной части городов в условиях дефицита свободных площадок для застройки, так и для периферии, при создании перехватывающих парковок.

Медленные темпы освоения подземного строительства в мегаполисах вызваны более высокими первоначальными затратами строительства подземных объектов по сравнению с наземными. Однако, технико-экономический эффект оценить очень сложно, так как помимо стоимости строительства нужно учесть снижение затрат на эксплуатацию, содержание и ремонт, а также стоимость высвобожденной поверхности земли. Мировой опыт показывает, что только за счет экономии энергии до 60 % при эксплуатации подземных сооружений в сравне-

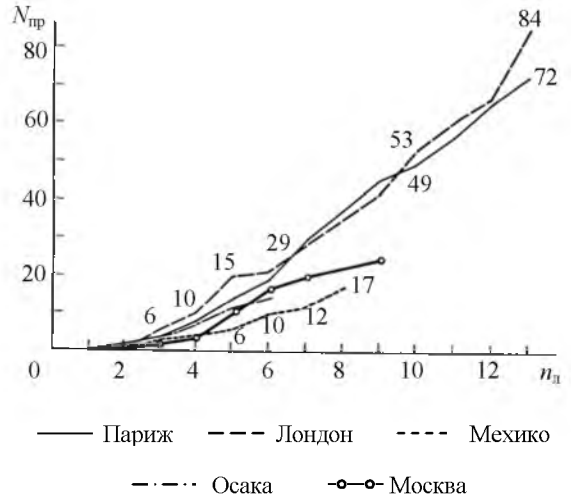


Рис.1. Рост числа пересадочных станций $N_{пр}$ по мере ввода в эксплуатацию новых линий $n_л$ метрополитена [2]

нии с наземными срок окупаемости разница первоначальных затрат между ними составляет около семи лет[1].

Метрополитен постоянно развивается и по мере роста протяженности его сети, с вводом в эксплуатацию новых линий появляются пересадочные узлы в местах пересечения или касания линий и примыкания их к железным дорогам в черте города. Таким образом, развитие сети ведет к увеличению количества пересадочных узлов метрополитена на две, три, четыре, а иногда более разных линий (рис.1).

Пересадочные узлы на линиях, сооружаемых закрытым способом, в отечественной (рис.2) и зарубежной практике (рис.3), как правило, состоят из отдельных станций, соединенных переходами с лестницами и эскалаторами. Такая схема пересадочного узла достаточно сложна для ориентирования пассажиров, требует больших затрат времени на пересадку, неудобна.

Наличие большого количества подземных объектов разных размеров и с разным пространственным расположением приводит к формированию сложного взаимовлияющего поля напряжений. Кроме того, такие объемно-планировочные решения не рационально используют подземное пространство города (минимальная полезная площадь при большой площади территории застройки) и локально ограничивают дальнейшее эффективное его освоение. Это особенно актуально для мегаполисов, не имеющих генеральных планов освоения подземного пространства, и в дальнейшем может привести

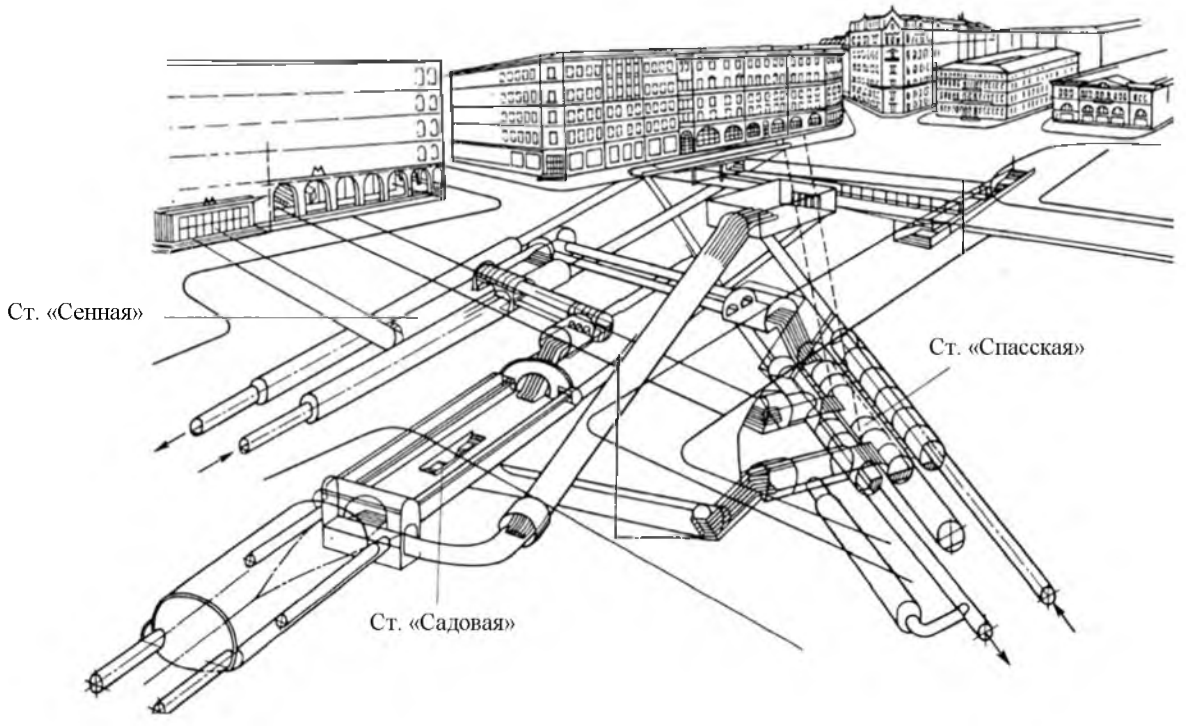


Рис.2. Пересадочный узел из трех станций под Сенной площадью в Санкт-Петербурге

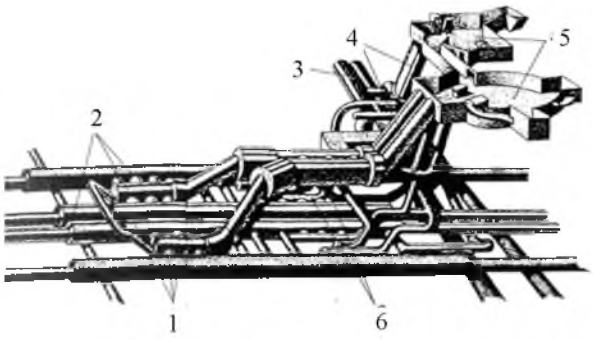


Рис.3. Пересадочный узел «Oxford-Circus» из трех раздельных станций на пересечении линий метрополитена Лондона

1 – станция линии «Центральная»; 2 – станция линии «Виктория»; 3 – станция линии «Бейкерлоо»; 4 – эскалаторные тоннели; 5 – подземные вестибюли; 6 – переходные коридоры

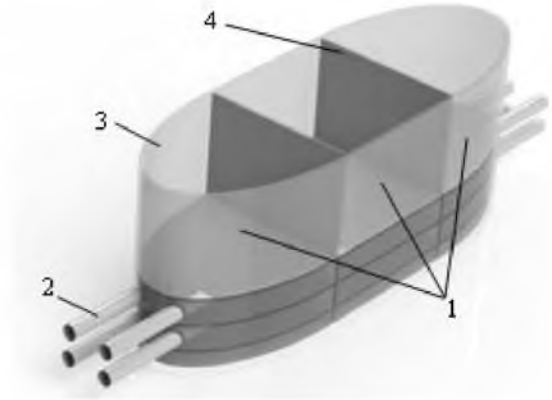


Рис.4. Объемно-планировочное решение подземного многофункционального комплекса с пересадочным узлом метрополитена глубокого заложения на две линии

1 – секции подземного комплекса; 2 – перегонные тоннели метрополитена; 3 – несущая ограждающая стена, сооружаемая методом «стена в грунте»; 4 – поперечные перегородки (междуэтажные перекрытия не показаны)

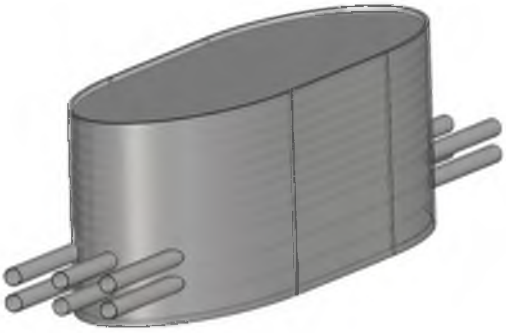


Рис.5. Объемно-планировочное решение подземного многофункционального комплекса с пересадочным узлом метрополитена глубокого заложения на три линии

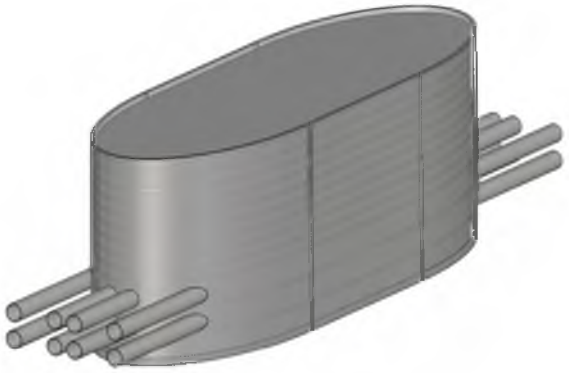


Рис.6. Объемно-планировочное решение подземного многофункционального комплекса с пересадочным узлом метрополитена глубокого заложения на четыре линии

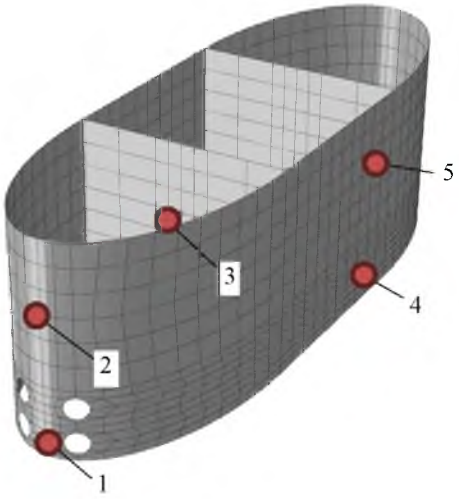


Рис.7. Расположение замерных точек (1-5) на поверхности внешней ограждающей конструкции (перекрытия условно не показаны)

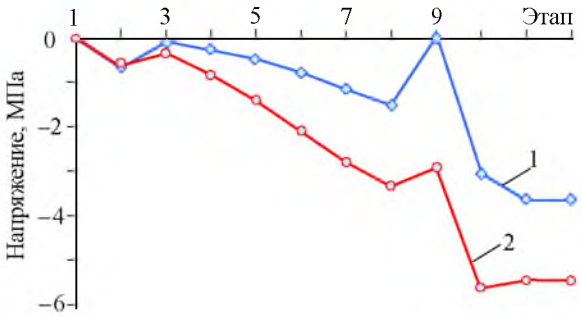


Рис.8. Формирование сжимающих напряжений в несущей оболочке подземного комплекса (точка 1)

1 – внешний контур; 2 – внутренний контур

к невозможности строить в нужных местах подземные развязки, паркинги и другие объекты городской инфраструктуры.

Для исключения описанных недостатков предложено объединить в один объем многофункциональный подземный комплекс и пересадочный узел метрополитена глубокого заложения с различным количеством линий (рис.4-6). Данное объемно-планировочное решение позволяет также значительно упростить несущие и ограждающие конструкции и более полно использовать подземное пространство.

Для обеспечения связи метрополитена с поверхностью предусматриваются две лифтовых шахты для пересадочного узла на две линии и четыре – для узла на три или четыре линии. Лифты двухуровневые для одновременного обслуживания двух станций. Располагаются они с двух сторон пересадочного узла для более равномерного разделения пассажиропотоков. Между лифтовыми шахтами по центру зала размещаются эскалаторы для перехода с одной станции на другую. При этом обеспечивается минимальное время пересадки пассажиров.

Верхняя часть многофункционального подземного комплекса, расположенная над пересадочным узлом метрополитена, может быть использована для размещения: торговой, рекреационной и культурно-развлекательной зон, паркинга для автомашин и других социально значимых объектов. В пространстве под пересадочным узлом располагаются инженерно-технические и вспомогательные помещения.

Строительство несущих стен выполняется по технологии «стена в грунте», с возведением перекрытий по мере разработки грунта в котловане «top-down».

Комплекс представляет собой подземное сооружение в виде вытянутого эллипса. Внешними ограждающими стенами являются железобетонные конструкции, созданные по технологии «стена в грунте». Внутреннее пространство подземного комплекса можноразделить, при необходимости, на три камеры двумя поперечными перегородками для создания дополнительной поперечной жесткости. Нижняя часть комплекса используется для организации пересадочного узла метрополитена и расположения инженерно-технического оборудования.

Длина комплекса назначается таким образом, чтобы на пересадочной станции мог целиком разместиться состав поезда метрополитена. На станции необходимо обеспечить оптимальные параметры пассажиропотоков, разместить лифтовые шахты и эскалаторы. Кроме того, отношение ширины к длине станции должно обеспечивать исключение или снижение до приемлемой величины растягивающих напряжений в обделке.

Для обоснования объемно-планировочных и конструктивных решений был выполнен предварительный расчет методом конечных элементов с учетом этапности строительства (рис.7).

Рассматривалось четыре варианта строительства подземного комплекса:

- только внешняя обделка, без перекрытий и перемычек;
- внешняя обделка, без перекрытий и перемычек;
- внешняя обделка с перемычками и междуэтажными перекрытиями, при последовательной разработке грунта;
- внешняя обделка с перемычками и междуэтажными перекрытиями, при параллельной разработке грунта.

Результаты математического моделирования представлены в виде эпюр сжимающих и растягивающих напряжений, а также в виде зависимостей развития напряжений в элементах несущих конструкций подземного комплекса в характерных точках (рис.8).

В замерной точке 1 сжимающие напряжения на внешнем и внутреннем контуре несущей оболочки возрастают по мере ведения горно-строительных работ и достигают к окончанию строительства 3,6 и 5,5 МПа соответственно. К окончанию строительных работ, после создания проемов в стене под перегонные тоннели, растягивающие напряжения падают до нулевого уровня.

В заключение можно отметить, что напряжения в несущей оболочке и поперечных перемычках находятся в допустимых пределах. Как показали результаты численного

моделирования, на участках стыков поперечных стен с несущей оболочкой возникают значительные концентрации напряжений. Их можно снизить до допустимых пределов за счет увеличения площади опирания поперечной стены на несущую оболочку. Сооружение проемов в несущей стене практически не оказывает влияния на формирование ее напряженного состояния, за исключением зон концентрации напряжений, распространяющихся от контура проемов на два-три их диаметра.

В целом, такая объемная компоновка подземного комплекса может быть вполне работоспособной, а ее строительство может вестись по нескольким технологическим схемам. Наиболее рациональным, с точки зрения геомеханики, является вариант возведения междуэтажных перекрытий параллельно с возведением обделки. Но в тоже время, данная технологическая схема является наиболее трудоемкой и сложной с точки зрения организации работ. В плотных грунтах можно использовать схему строительства подземного комплекса без поперечных перемычек и междуэтажных перекрытий на этапе строительства и с возведением их после завершения строительства обделки [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Деменков П.А.* Анализ напряженно-деформированного состояния обделки опускного колодца многофункционального подземного комплекса / П.А.Деменков, М.А.Карасев // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Тр. 9-й Междунар. науч.-практич. конф. Воркута, 2011.

2. *Кулагин Н.И.* Пересадочные узлы на линиях метрополитена глубокого заложения. М., 2000.

3. *Тетиор А.Н.* Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений. / А.Н.Тетиор, В.Ф.Логинов. Минск: 1990.

4. *Demenkov P.A.* Ocena stanów naprężeniowo-odkształceniowych w obudowie wielofunkcyjnego kompleksu podziemnego połączonego ze stacją metra / P.A.Demenkov, M.A.Karasev, M.Jendrys // Gornictwoigeologia. Kwartalnik. Gliwice, 2011.

REFERENCES

1. *DemenkovP.A.*, *KarasevM.A.* Analysis of the stress-strain state of the liningdrop shaftsmultipurposeunderground complex // Proceedings ofthe 9th InternationalScientific Conference. «The developmentof mineralresources in the North: problems and solutions». Vorkuta, 2011.

2. *Kulagin N.I.* Interchangenodesformetro linesdeep foundation. Moscow, 2000.

3. *Tetior A.N.*, *Loginov V.F.* Designand construction of undergroundbuildingsand structures. Minsk,1990.

4. *Demenkov P.A*, *Karasev M.A.*, *Jendrys M.* Ocena stanów naprężeniowo-odkształceniowych w obudowie wielofunkcyjnego kompleksu podziemnego połączonego ze stacją metra // Gornictwoigeologia. Kwartalnik. Gliwice, 2011.