

ПЕРЕСАДОЧНЫЙ УЗЕЛ МЕЖДУ СТАНЦИЯМИ «ПУТИЛОВСКАЯ» И «КИРОВСКИЙ ЗАВОД» МЕТРОПОЛИТЕНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

INTERCHANGE HUB BETWEEN THE STATIONS «PUTILOVSKAYA» AND «KIROVSKY ZAVOD» OF THE METRO OF ST. PETERSBURG

А. Б. Лебедев, И. Я. Дорман, С. В. Мазейн, Тоннельная ассоциация России

A. B. Lebedkov, I. Y. Dorman, S. V. Mazein, Tunnel Association of Russia

В Санкт-Петербурге продолжается строительство Красносельско-Калининской линии метрополитена с пересадочным узлом между сооружаемой станцией «Путиловская» и действующей станцией «Кировский завод» Кировско-Выборгской линии. Комплекс сооружений пересадочного узла, в соответствии с № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» относится к сооружениям повышенного уровня ответственности (класс КС-3), в связи с чем потребовалась независимая оценка качества проектирования, которая по заданию проектной организации АО «Метрогипротранс» была выполнена специалистами Тоннельной ассоциации России, результаты которой излагаются в настоящей статье.

In St. Petersburg, the construction of the Krasnoselsko-Kalininskaya metro line with an interchange hub between the «Putilovskaya» station under construction and the «Kirovsky Zavod» station of the Kirovsko-Vyborgskaya line. The complex of facilities of the interchange hub, in accordance with No. 384-FZ «Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures» and GOST 27751-2014 «Reliability of Building Structures and Foundations» refers to structures of an increased level of responsibility (class KS-3), in connection with which, an independent assessment of the quality of design was required, which, on the instructions of the design organization JSC «Metrogiprottrans», was performed by specialists of the Tunnel Association of Russia, the results of which are set out in this article.

В настоящее время в Санкт-Петербурге продолжается строительство Красносельско-Калининской линии от станции «Юго-Западная» до станции «Путиловская».

Эта линия (М6 на рис. 1) пересекается в плане под острым углом и глубже примерно на 15 м с действующей Кировско-Выборгской линией (М1) в районе станции «Кировский завод».

Между этими линиями АО «Метрогипротранс» выполнена рабочая документация пересадочного узла.

В соответствии с требованиями №384-ФЗ и ГОСТ 27751-2014 Тоннельной ассоциацией России по Техническому заданию АО «Метрогипротранс» были выполнены анализ и оценка качества проектирования по следующим разделам проекта:

- объему и качеству инженерных изысканий;
- результатам обследования конструкций действующей станции «Кировский завод»;
- методам и результатам определения напряженно-деформированного состояния конструкций пересадочного узла при строительстве;
- техническим решениям и мероприятиям по обеспечению безопасности строитель-

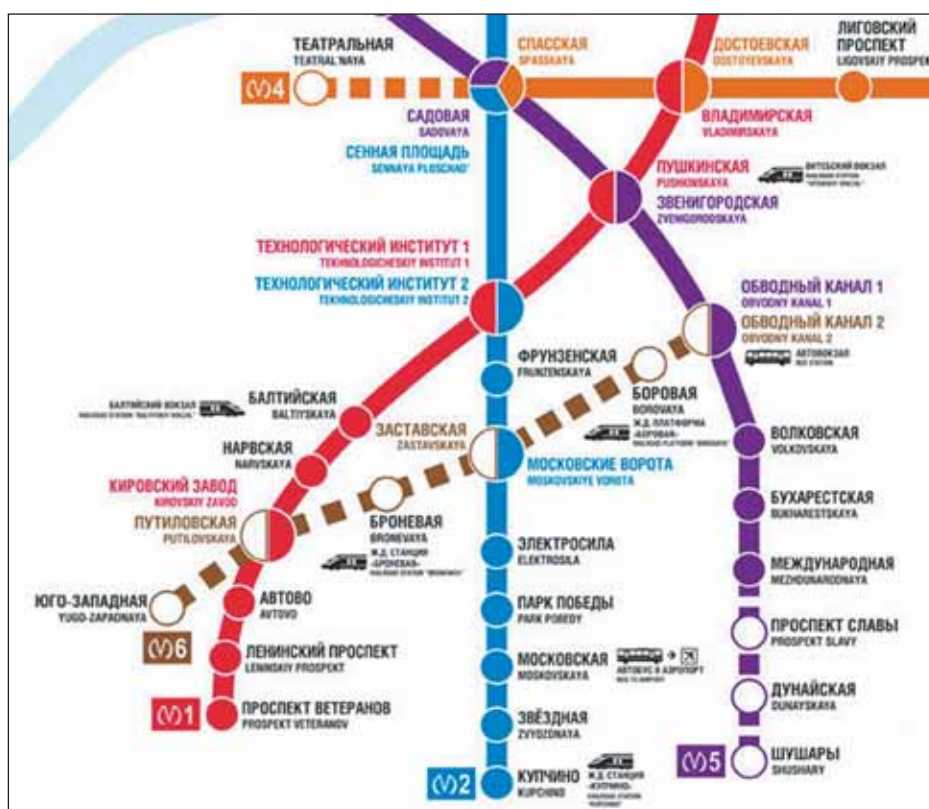


Рис. 1. Фрагмент плана линий Санкт-Петербургского метрополитена

ва без перерыва движения поездов по действующей линии.

Исходной информацией для экспертизы послужила проектная документация АО «Метрогипротранс», включая разделы, выполняемые субподрядными организациями, в том числе и корректировка по замечаниям ФАУ «Главгосэкспертиза».

Объемно-планировочное решение пересадочного узла

Первоначально проектом, разработанным в 2013–2014 гг. институтом ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», примыкание пересадочного комплекса от станции «Путиловская» к станции «Кировский завод» предусматривалось через торец этой станции (рис. 2), что требовало при строительстве остановки движения поездов по участку Кировско-Выборгской линии.

В 2018 г. правительством Санкт-Петербурга в лице СПб ГКУ «Дирекция транспортного строительства» было принято по предложению АО «Метрогипротранс» и ОАО «Метрострой» иное решение, а именно, сооружать пересадочный узел без перерыва движения поездов с боковым примыканием пересадки к действующей станции «Кировский завод» (см. рис. 2).

Рассмотрим, почему строительство пересадочного комплекса горным способом в протерозойских глинистых грунтах через торец станции «Кировский завод» по проекту ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» невозможно без остановки движения поездов.

Переходные коридоры № 1 и 2 от станции «Путиловская» (поз. 4 рис. 2) размещаются непосредственно под действующими более 60 лет перегонными тоннелями Кировско-Выборгской линии (кровля между ними составляет менее 3 м и породы находятся в нарушенном состоянии по отношению к вмещающему массиву) и входят в камеру промежуточного вестибюля № 1 (поз. 1 рис. 2).

Для подъема, примерно на 15 м в уровень станции «Кировский завод», из камеры промежуточного вестибюля № 1 выполняется сооружение натяжной камеры и наклонного хода (поз. 3 рис. 2), а также промежуточного вестибюля № 2 (поз. 2 рис. 2).

Ширина камер на участке строительства изменяется от 10 до 12 м, а ширина целика между эксплуатируемыми перегонными тоннелями и камерами на данных участках уменьшается до 1 м и менее (сеч. 8–8 рис. 2).

Практика работ в грунтовых условиях Санкт-Петербурга показывает, что при строительстве подобных камер вблизи существующих подземных сооружений, смещение контура последних может достигать 35 см, что, естественно, недопустимо для эксплуатируемых перегонных тоннелей!

С учетом того, что протяженность камер пересадочного комплекса составляет порядка 60 м, их строительство может привести к развитию неравномерных деформаций экс-

плуатируемых перегонных тоннелей, величины которых могут быть выше предельно допустимых по СП 474.1325800.2019.

На рис. 3 показаны фрагменты строительства вблизи эксплуатируемых тоннелей горным способом методом опертого свода камеры и наклонного хода, анализ которых свидетельствует, что при сооружении натяжной камеры перегонные тоннели, как бы «подкапываются». А далее при сооружении снизу вверх наклонного хода будет отсутствовать отпор грунта в междупутье при давлении сверху на перегонные тоннели бетонного свода машинного отделения.

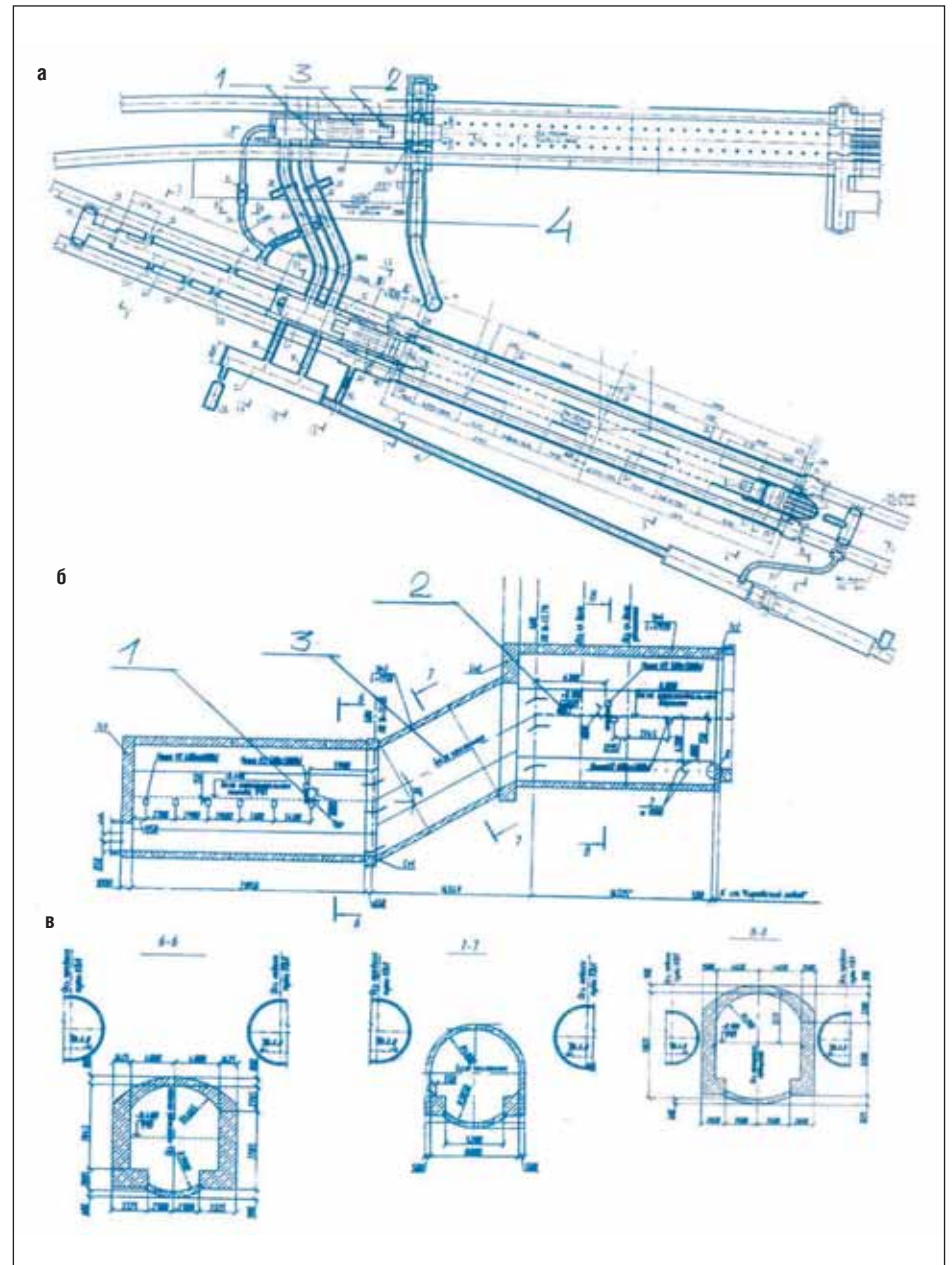
В проектной документации ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» в качестве компенсационных мероприятий было предусмотрено усиление (увеличение жесткости) обделки перегонных тоннелей изнутри сечения, но отсутствовала оценка

развития деформаций (смещений) обделки в массиве, никак не связанных с увеличением их жесткости.

В заключении Санкт-Петербургского Горного университета (СПГУ) при примыкании пересадки в торец станции: «*техническое решение усиления обделки перегонных тоннелей метрополитенов без оценки развития деформаций обделки, ... не позволяет оценить эффективность данного решения*», и далее, поскольку «*предлагаемое решение усиления обделки направлено на обеспечение ее несущей способности при формировании дополнительной нагрузки от строительства камер и выработок, но не является эффективным, с точки зрения снижения развития деформаций породного массива*».

К сожалению, в проектной документации ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» отсут-

Рис. 2. Схема пересадочного узла по предложению ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»: а – план; б – фрагмент продольного разреза, 1 и 2 – промежуточные вестибюли, 3 – наклонный эскалаторный тоннель; в – сечения б–б, 7–7, 8–8



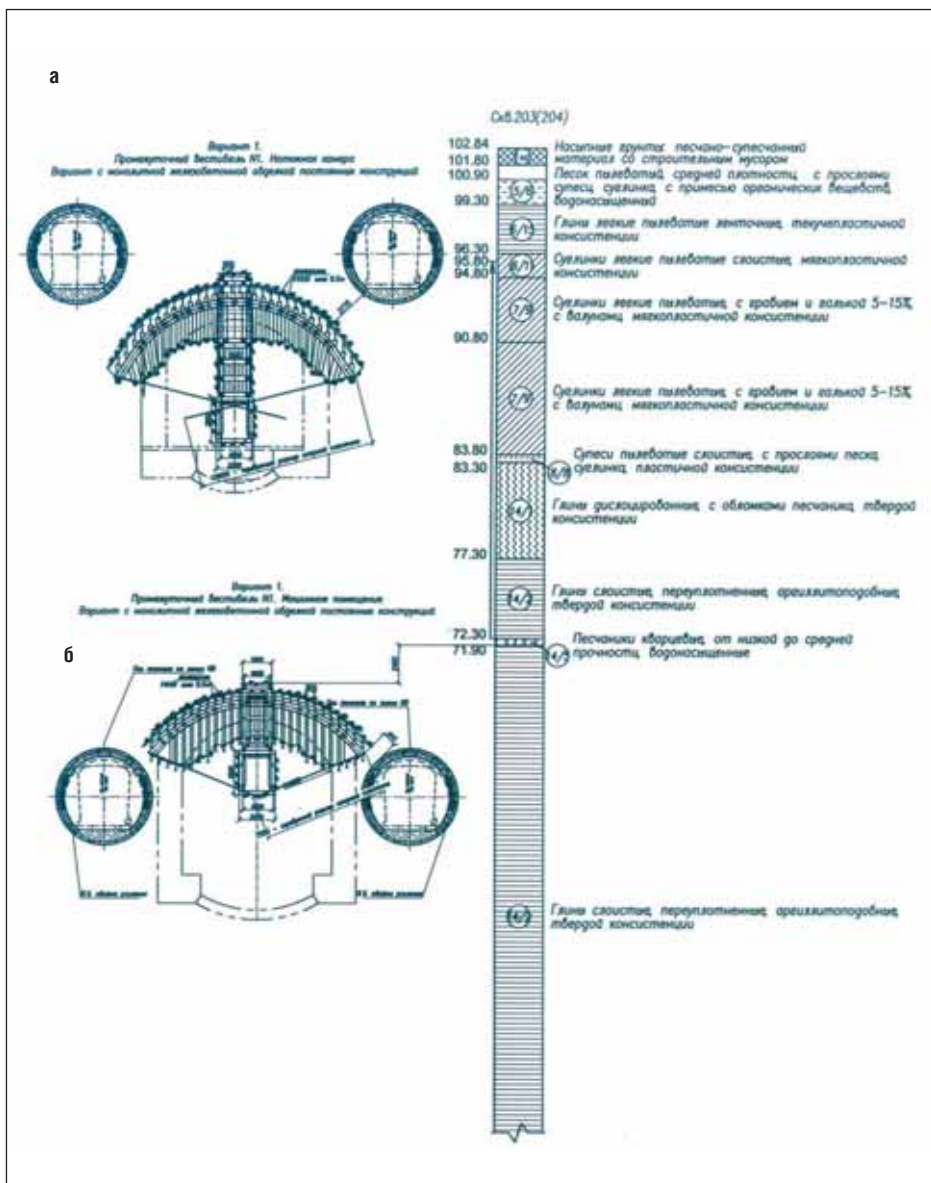
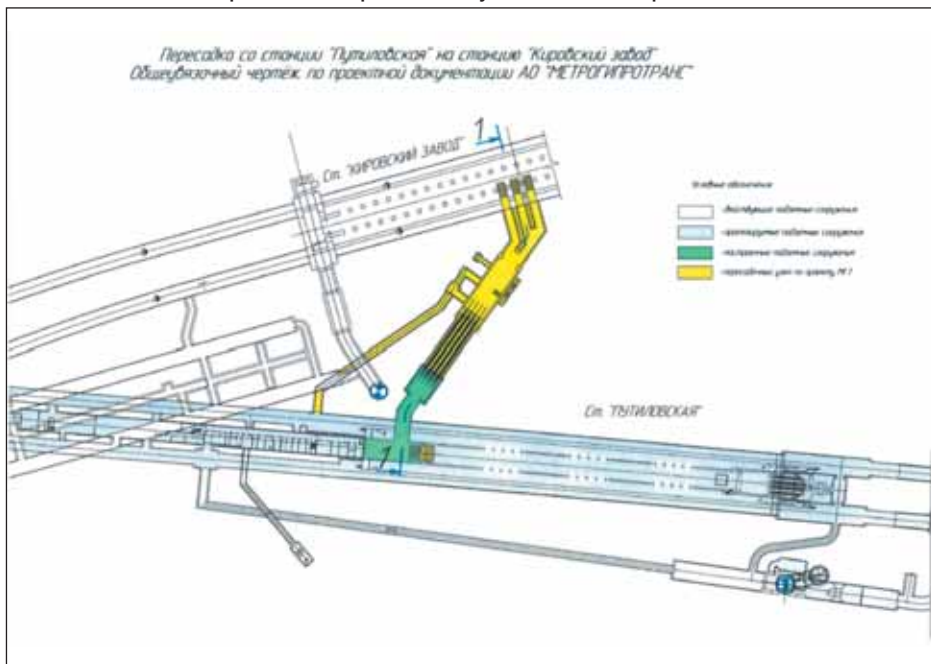


Рис. 3. Фрагменты строительства камеры и наклонного хода горным способом вблизи эксплуатируемых тоннелей: а – натяжная камера; б – машинное помещение

Рис. 4. Схема бокового примыкания пересадочного узла к станции «Кировский завод»



ствовало обоснование, что при торцевом примыкании пересадочного узла возможно производство горно-строительных работ без остановки движения поездов.

В проектной документации АО «Метро-гипротранс» пересадочный узел от станции-тоннеля станции «Путиловская» предусмотрен с боковым примыканием к центральной части расположенной выше почти на 15 м эксплуатируемой станции «Кировский завод» со стороны его правого станционного тоннеля (рис. 4). Это позволяет не останавливать движение поездов при применении соответствующей технологии строительства.

Рассмотрим конструктивное и объемно-планировочное решение пересадочного узла при боковом присоединении к станции «Кировский завод».

Станция «Кировский завод» (рис. 5) колонного типа глубокого заложения (глубина 44 м) с междупутем 19 м со сборной обделкой из чугунных тубингов.

На станции расположены в два ряда 31 пара колонн, смонтированных из корытообразных чугунных тубингов и соединенных между собой сводом.

Пересадочный узел (рис. 6) состоит:

- из расположенной в междупуте за торцом станции «Путиловская»;
- камеры лестничного спуска с ходком над левым путем станции с лестничным маршем;
- натяжной камеры 4-ленточного эскалаторного тоннеля высотой 14,4 м и далее на подходе к существующей станции «Кировский завод»;
- промежуточного вестибюля с машинным помещением эскалаторов и камерой металлоконструкций.

Пересадочный узел заканчивается тремя проходами (ходками) над путями станции «Кировский завод» с лестничными маршами.

Наиболее ответственная конструкция при строительстве пересадочного узла – три ходка от промежуточного вестибюля через чугунную обделку правого бокового станционного тоннеля действующей станции «Кировский завод» с лестничными маршами для спуска на платформу. Ходки начинаются в торце промежуточного вестибюля непосредственно за камерой металлоконструкций и приняты шириной в свету от 3,04 м вначале до 3,75 м на примыкании к обделке бокового станционного тоннеля. Толщина стен ходков и минимальная толщина верхнего свода и лотка принята 500 мм.

Для прохода над путями разбираются верхние тубинги чугунных колец правого станционного тоннеля на ширину каждого ходка.

При боковом примыкании пересадочного комплекса к станции «Кировский завод» в зону влияния нового строительства попадают боковой и центральный станционные тоннели существующей станции. Дополнительное давление на обделку станционных тоннелей формируется

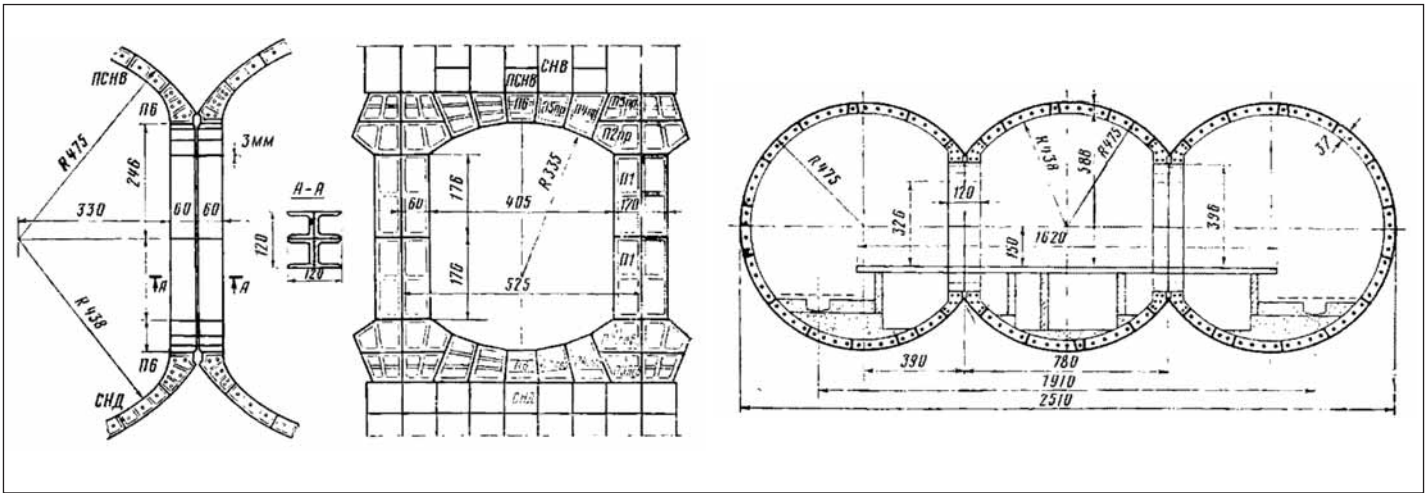


Рис. 5. Конструкция обделки станции метрополитена «Кировский завод»

за счет перераспределения усилий на участке проема в обделке бокового станционного тоннеля, вызванного изменением напряженно-деформированного состояния при строительстве переходных коридоров.

Оценка качества и полноты инженерных изысканий

В 2013 г. ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» были выполнены инженерно-геологические изыскания 1-го этапа строительства Красносельско-Калининской линии с пересадочным комплексом на ст. «Кировский завод», получивших положительное заключение государственной экспертизы.

В 2019 г. в связи с решением об изменении схемы пересадочного узла потребовалась актуализация инженерно-геологических и гидрогеологических условий.

АО «Метрогипротранс» была выполнена детализация и уточнение инженерно-геологического разреза, в том числе бурение дополнительных скважин на рассматриваемых участках, уточнение гидрогеологических условий, определение нормативных и расчетных характеристик физико-механических грунтов, попадающих в сферу взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой.

На скальном фундаменте исследуемой территории залегают осадочные песчано-

глинистые отложения венда и кембрия и комплекс четвертичных образований.

Все сооружения в районе новой посадки промежуточного вестибюля расположены в благоприятных для строительства горным способом грунтах – (ИГЭ – 14/1, ИГЭ – 14/2).

Эти геологические элементы относятся к Котлинскому горизонту, к верхнекотлинской подсвите Vkt₂ – глины зеленовато-серого цвета, дислоцированные, с обломками песчаника, твердой консистенции, переуплотненные, практически непучинистые, и нижнекотлинской подсвите Vkt₁ – песчано-алевритовые разности пород с прослоями значительно уплотненных глин и аргиллитов и базальным

Рис. 6. Продольный разрез и сечения по участкам бокового примыкания пересадочного узла к станции «Кировский завод»

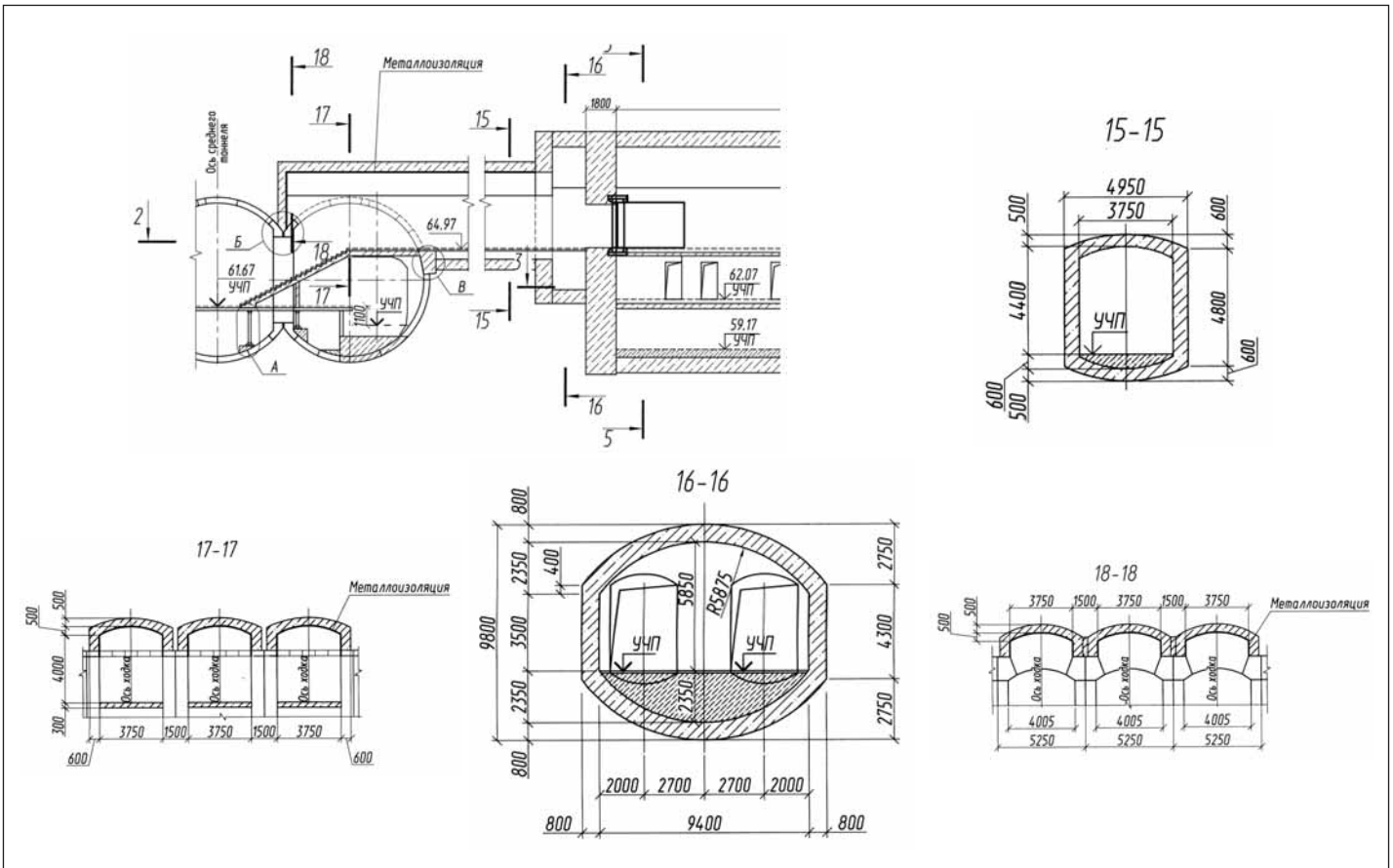




Рис. 7. Первая расчетная схема и общий вид расчетной модели определения НДС станции

слоем гравелитовых песчаников и конгломератов.

Можно констатировать, что характеристики грунтов, полученные в результате комплексных исследований и которые затем были использованы в расчетных схемах оценки напряженно-деформированного состояния станции «Кировский завод» при сооружении пересадочного узла, достоверны и достаточны.

Оценка результатов обследования действующих сооружений метрополитена

Станция «Кировский завод» является действующей станцией Петербургского метрополитена и объектом культурного наследия.

В связи этим в зоне организации пересадки (см. рис. 4) отсутствовала возможность проведения обследования технического состояния строительных конструкций для обделки станции со снятием облицовки без полного закрытия станции. В сложившихся обстоятельствах для разработки проектной документации по организации строительства пересадочного узла были проведены дополнительные исследования в соответствии с ГОСТ Р 57208-2016.

На основании полученной в результате расчетов зоны влияния нового строитель-

ва вследствие изменения положения пересадочного узла и формирования бокового проема в обделке станции метрополитена «Кировский завод» были проведены геофизическое, визуальное-инструментальное обследование, лазерное сканирование ближайших к зоне врезки доступных сооружений с целью оценки состояния контакта конструкции с вмещающим грунтовым массивом «обделка-грунт».

На основании результатов геофизического обследования не обнаружено участков ослабленного контакта конструкций метрополитена с вмещающим грунтовым массивом, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии контакта «обделка-грунт» конструкций, попадающих в зону влияния строительства.

Оценка расчетных моделей, программных средств и результатов определения НДС конструкций станции

В проектной документации выполнена оценка воздействия строительства сооружений пересадочного узла, особенно участка стыковки со станцией метрополитена «Кировский завод», на напряженно-деформированное состояние конструкций существующих станционных обделок при формировании проема в обделке станции,

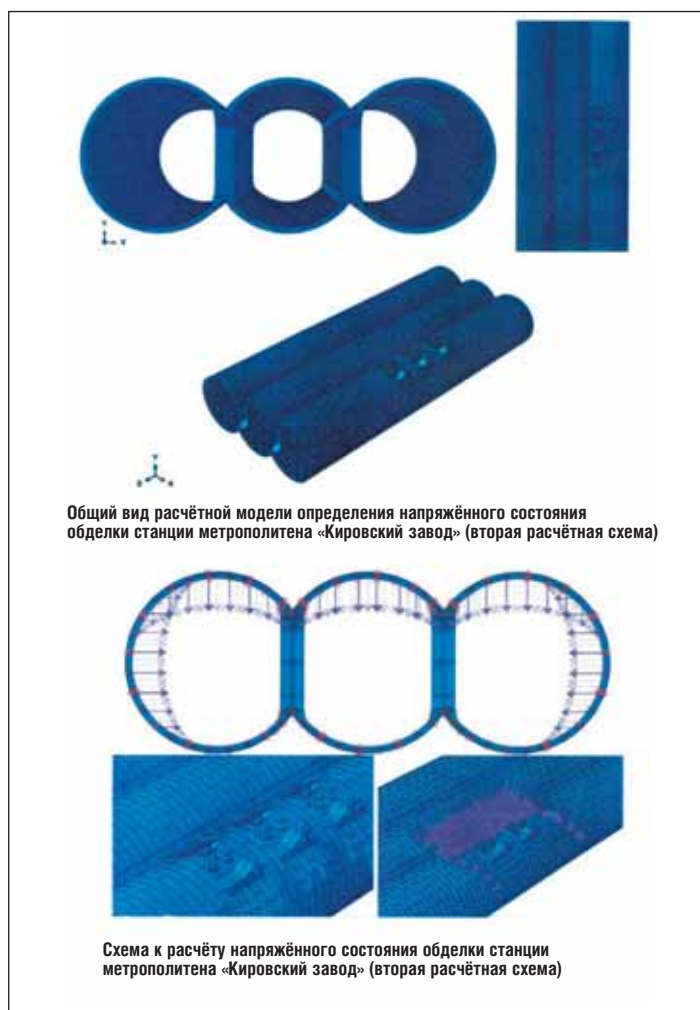


Рис. 8. Вторая расчетная схема и общий вид расчетной модели определения НДС станции

в том числе, воздействие ледогрунтового массива при замораживании кровли над зоной пересадки.

Оценка воздействия строящихся подземных сооружений пересадочного комплекса на существующие конструкции выполнена на основании численного моделирования формирования напряженно-деформированного состояния породного массива и вмещающих конструкций подземных сооружений в пространственной постановке, с учетом особенностей механического поведения породного массива.

Оценка дополнительного воздействия на обделку существующих подземных сооружений выполнена на основании сравнения расчетных напряжений с допускаемыми напряжениями по нормативным документам.

Расчеты велись параллельно двумя организациями, имеющими свидетельства о допуске и опыт подобных исследований с использованием «независимо разработанных сертифицированных программных средств», как это предписано требованиями 384-ФЗ: в январе 2020 г. – кафедрой строительства горных предприятий и подземных сооружений СПбГУ (руководители работы – доктора технических наук М. А. Карасев и А. Г. Протосеня), в декабре

2021 г. – Научно-исследовательским центром АО «Метрогипротранс» (руководитель работы – доктор физико-математических наук С. А. Гришин).

Прогноз геомеханического взаимодействия элементов пересадочного узла сложной пространственной конфигурации выполнялся СПГУ в рамках пространственной постановки. Задача решалась с применением программного комплекса «Dassault Systems Simulia Abaqus», реализующего метод конечных элементов на основании численного моделирования по схеме совместного взаимодействия обделки подземного сооружения с породным массивом.

Учено наличие болтовых связей между тубингами, повышающих жесткость конструкции. При расчете напряженно-деформированного состояния обделки станционного комплекса учитывалась возможность формирования пластических шарниров и их влияния на перераспределение напряжений в обделке станции «Кировский завод». За момент начала формирования пластического шарнира принята величина расчетных сопротивлений чугуна на растяжение. Развитие напряженно-деформированного состояния в пластическом шарнире определяется по диаграмме деформирования чугуна в условиях одноосного сжатия и растяжения.

Приняты следующие нагрузки: вертикальная и горизонтальная составляющие давления грунта на обделку, дополнительные нагрузки на колонно-прогонный комплекс на участке проема (передача нагрузки от железобетонной обделки пересадочного коридора на участке раскрытия проема станции метрополитена) и нагрузка от давления морозного пучения в результате формирования зоны искусственно замороженных пород над участком строительства пересадочного комплекса.

При выполнении расчетов учитывалось положение п. 5.6.5.5 СП 120.13330.2012 о том, что для сборных чугунных и железобетонных обделок с перевязкой стыков и связями растяжения возможно образование пластических шарниров за счет введения пониженного коэффициента изгибной жесткости для кольца обделки.

При расчетах сечение чугунных тубингов принято на 4 мм меньше проектных размеров из-за коррозии.

При рассмотрении участка сопряжения станции метрополитена «Кировский завод» и выработок пересадочного комплекса приняты две расчетные схемы.

Первая расчетная схема (рис. 7) включает в себя как обделку станции метрополитена «Кировский завод», так и обделку выработок пересадочного комплекса, которая формирует дополнительный отпор и препятствует деформированию чугунной обделки станционных тоннелей на участке проема. Величина нагрузки на обделку определяется величиной веса пол-

ного столба породы с учетом коэффициента надежности по нагрузке. Эта нагрузка частично передается на крайние кольца чугунной обделки, примыкающей к проему, две арки (по два кольца чугунной обделки в арке), оставленные внутри проема, и породный массив со стороны пересадочного комплекса.

Вторая расчетная схема (рис. 8) предполагает, что железобетонная обделка примыкающих выработок пересадочного комплекса (ходков) создает только дополнительную нагрузку на обделку станционных тоннелей, при этом отпор деформированию обделки станционных тоннелей станции метрополитена «Кировский завод» условно отсутствует (аварийный сценарий, нарушение технологического режима раскрытия проема в обделке станционного тоннеля).

В рамках разработанной конечно-элементной модели строительства комплекса выработок пересадочного узла была реализована этапность строительства.

Независимо от принятой расчетной схемы, при строительстве пересадки в элементах обделки формируются пластические деформации, что приводит к формированию в ней пластических шарниров и последующему перераспределению напряжений. Такая работа конструкций в целом не противоречит положениям нормативных документов СП 120.13330.2012 «Метрополитены» и СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», где допускается выполнять расчет конструкций с учетом развития пластических деформаций. Формирование пластических шарниров снижает жесткость конструкции и увеличивает ее способность к деформации.

Пластические деформации, вызванные растягивающими напряжениями, распространяются на участках, приуроченных к проему, и вызывают изменение напряженного состояния. Полученные в результате перераспределения напряжений величины сжимающих напряжений не превышают соответствующего расчетного сопротивления чугуна марки СЧ-21-40.

Научно-исследовательским центром АО «Метрогипротранс» было выполнено 3D-мо-

делирование строительства ходков пересадки на станцию «Кировский завод» программой MIDAS FEA NX 2021.

Конструкции приняты линейно-упругими изотропными 3D-телами. Общий вид модели для оценки напряженно-деформированного состояния при врезке пересадки показан на рис. 9.

Расчет осуществляется в три этапа. На первом этапе вычисляется исходное напряженное состояние массива грунта. На втором «строится» станция «Кировский завод» (активируется ее конструкция, грунт изнутри удаляется). Третий этап различен в зависимости от варианта. Здесь либо просто удаляется несколько тубингов обделки одного из колец, либо удаляются все необходимые тубинги и вместо них активируется конструкция ходков.

На 3D иллюстрациях в работе НИЦ АО «Метрогипротранс» показаны чугунные элементы конструкции станции «Кировский завод» по окончании расчетов.

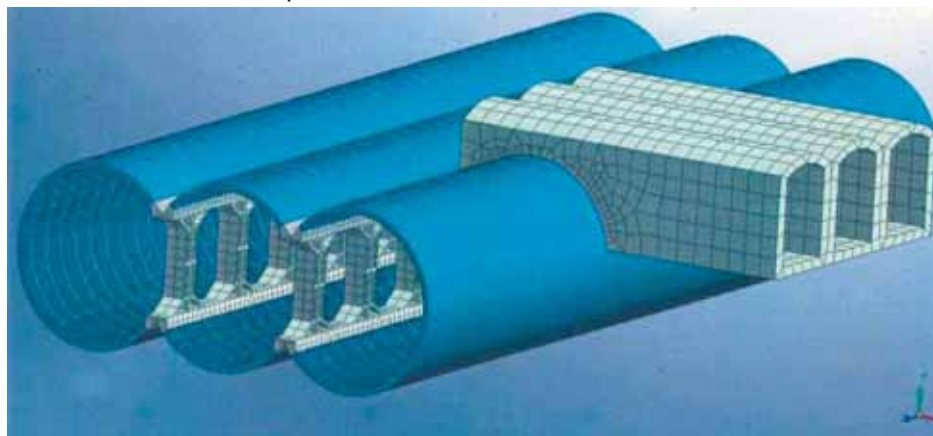
На рисунках в работе показаны поля «наиболее растягивающих» главных напряжений в конструкции по окончании расчетов, которые не превосходят 42 МПа или 32 МПа, что существенно ниже предела прочности на растяжение.

Также представлено поле «наиболее сжимающих» главных напряжений в конструкции станции по окончании расчетов, которые не превосходят 128 МПа или 123 МПа, что обеспечивает достаточный запас прочности на сжатие.

Вывод. Основные результаты расчетов НИЦ АО «Метрогипротранс» коррелируются с результатами расчетов СПГУ, а именно: главные напряжения в чугунных конструкциях станции «Кировский завод» при сооружении пересадочного узла не достигают предела прочности ни на растяжение, ни на сжатие.

В проектной документации выполнен также расчет и оценка усилий в сечении болтовых соединений. На участках болтовых соединений тубингов между собой в численной модели предусматривались специальные контактные элементы (уравнения связи), которые позволяли моделировать передачу усилий между торцами

Рис. 9. Общий вид модели с пересадкой



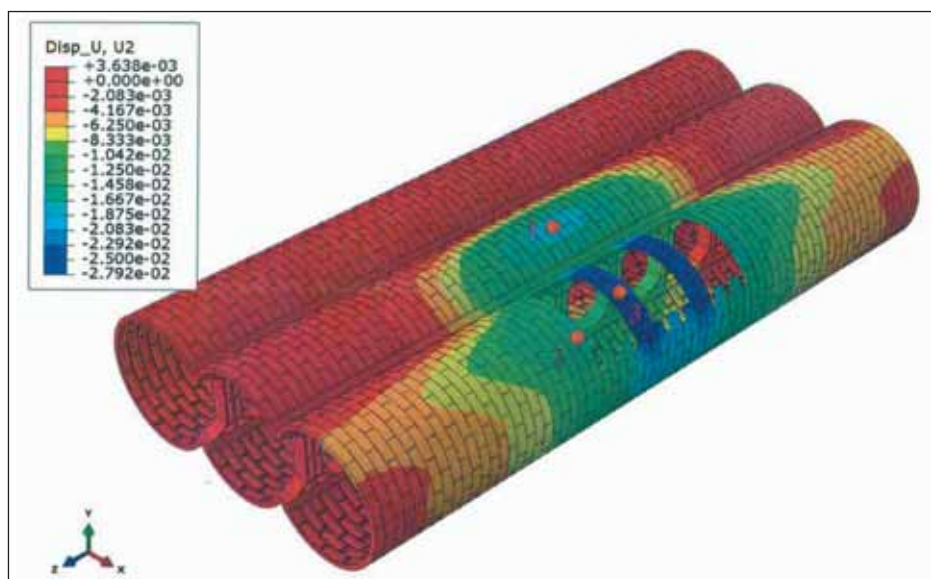
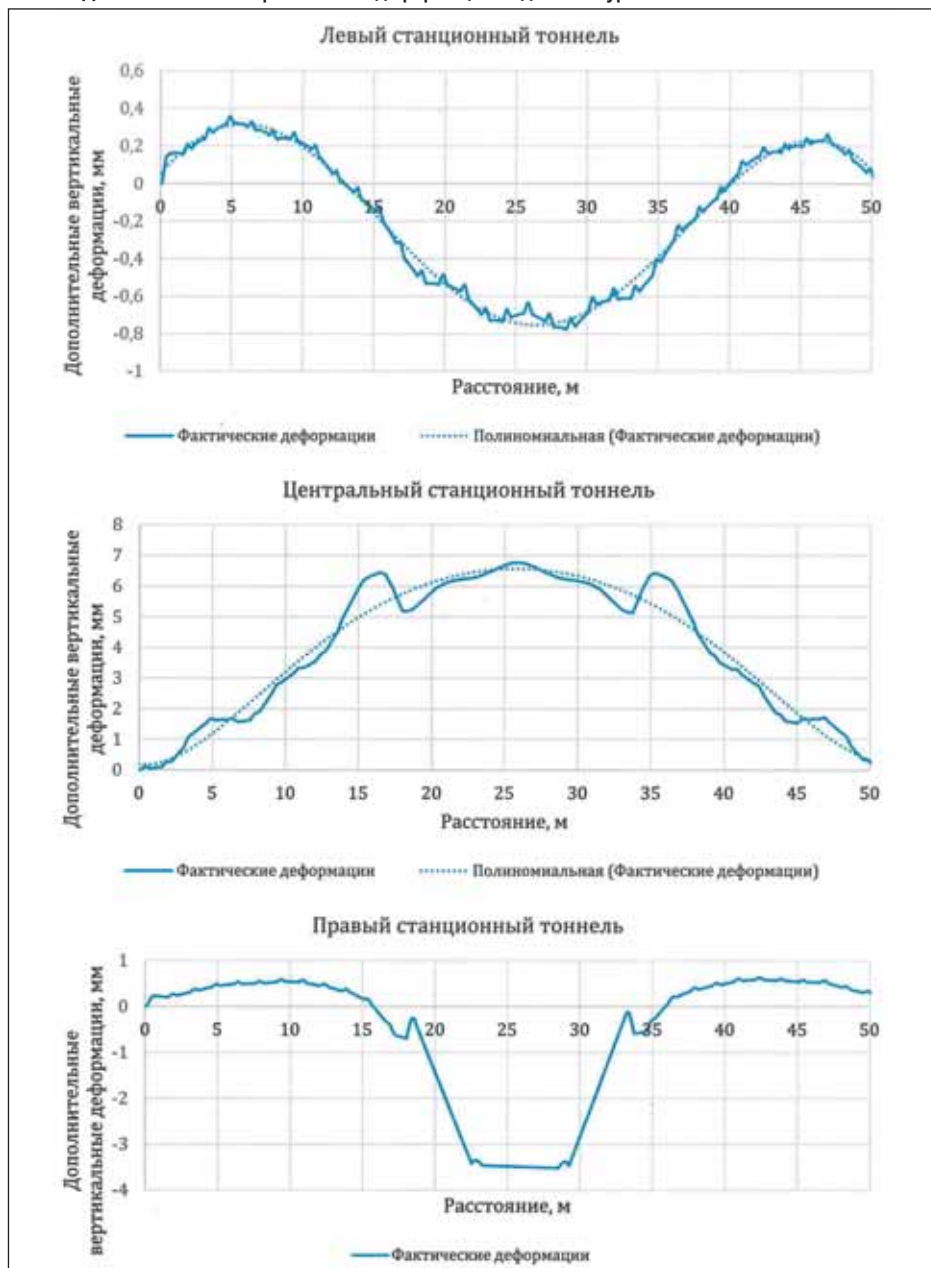


Рис. 10. Вертикальные дополнительные деформации (смещения) обделки станции на участке раскрытия проема

Рис. 11. Дополнительные вертикальные деформации обделки на уровне основания тоннеля



тубинговой обделки. При выполнении расчетов вводился фактический диаметр болтовых связей, а также продольная жесткость болтовых связей.

Болтовая связь может сжиматься и растягиваться, а также оказывать сопротивление сдвигу. Усилия в болтовых связях формируются в процессе совместного деформирования обделки с породным массивом и взаимодействия отдельных тубингов между собой.

В результате выявилась необходимость замены болтовых связей на высокопрочные соединения.

Вывод. Выполненные аналитические исследования, основанные на достоверных инженерно-геологических исходных данных и справочных данных по свойствам чугуна обделки, с использованием современных расчетно-программных комплексов, позволяют на стадии проектирования оценить напряженно-деформированное состояние конструкций станции «Кировский завод» при сооружении врезки через обделку правого станционного тоннеля пересадочного коридора со станции «Путиловская».

Оценка дополнительных деформаций конструкций станции «Кировский завод»

Предельно допустимые деформации сооружений метрополитена при расположении действующих объектов метрополитена в зоне влияния нового строительства для подземных и тоннельных сооружений, наземных участков линий установлены в своде правил СП 474.1325800.2019.

Согласно выполненным обследованиям, техническому состоянию обделки станции метрополитена «Кировский завод» присвоена категория II. В соответствии с этим предельно-допустимые дополнительные абсолютные деформации для чугунной обделки станции метрополитена должны составлять не более 20 мм, а изменение уклона пути не должно превышать 3 ‰.

На рис. 10 представлены в виде эпюры возможные по результатам расчетов дополнительные деформации, вызванные строительством пересадочного комплекса и раскрытия проема в станционной обделке станции «Кировский завод», которые не превышают предельно-допустимых величин. Так, величина дополнительных деформаций в своде центрального станционного тоннеля составляет 18 мм, деформации на участке примыкания обделки центрального станционного тоннеля к сопряжению составляют 16 мм. Абсолютные деформации в арках проема несколько больше предельно допустимых, и составляют 27 мм, но необходимо отметить, что на данном участке происходила изначально разгрузка данных конструктивных элементов, и только потом уже их дополнительная нагрузка от железобетонной обделки узла сопряжения. Таким

образом, на данные арки условие дополнительных деформаций не следует распространять, так как они испытывали как разгрузку, так и последующую дополнительную нагрузку.

На рис. 11 представлены в виде эпюр вертикальные деформации обделки по грунтовому основанию тоннеля и, соответственно, деформации путей метрополитена.

Максимальная величина дополнительного уклона пути, вызванная строительством пересадочного узла и его сопряжением с существующей станцией метрополитена, составила 0,08 %, что меньше допустимых значений.

Вывод. Дополнительные деформации, вызванные строительством пересадочного комплекса и раскрытием проема в станционной обделке станции метрополитена «Кировский завод», не превышают предельно-допустимых величин, регламентируемых требованиями нормативных документов.

Анализ и оценка мероприятий по мониторингу во время строительства

На основании анализа напряженно-деформированного состояния обделок станционных тоннелей станции «Кировский завод» определено, что при раскрытии проема комплекс смещается в сторону раскрытия проема, что приводит к формированию дополнительных напряжений в обделке правого станционного тоннеля.

Учитывая, что в процессе разработки грунта, в зоне непосредственно примыкающей к ходкам при устройстве проемов, возможно формирование пластических шарниров в обделке бокового тоннеля, снижающее жесткость конструкции обделки и увеличивающее ее способность к деформации. В процессе экспертизы нами было предложено до начала указанных работ после снятия в боковом тоннеле облицовки, на каждом кольце устраивать жесткую временную распорку за пределами габарита, пример которой схематично показан рис. 12.

При раскрытии проема в обделке станции «Кировский завод» для примыкания переходного коридора в кольцах обделки, находящихся вблизи зоны примыкания, из-за возможного развития пластических деформаций в чугуне и стальных болтовых соединениях необходимо организовать мониторинг напряженно-деформированного состояния.

В программу мониторинга входят:

- оценка геодинамической активности массива на пройденных участках;
- инженерно-геологический и гидрогеологический прогноз впереди забоя тоннеля;
- определение фактических деформационно-прочностных свойств вмещающего грунта;
- определение напряженно-деформированного состояния крепей и обделок в натурных условиях;

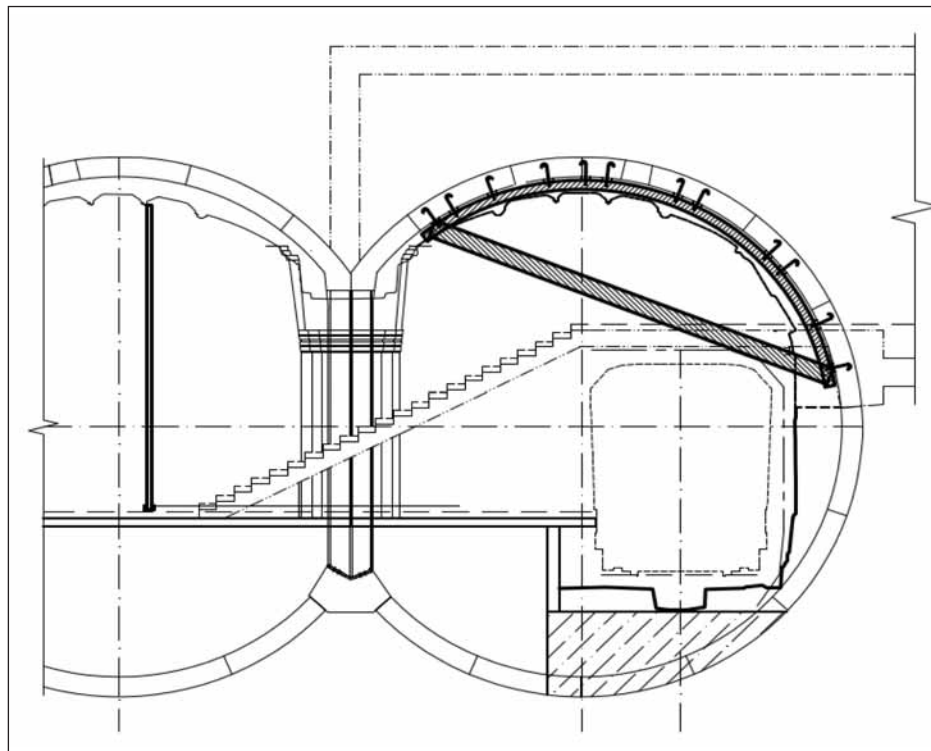


Рис. 12. Предлагаемый вариант временной распорной системы на период строительства

- контроль качества закрепленных грунтов;
- контроль качества заобделочного нагнетания.

Фактическое положение датчиков, способ замера напряженного состояния, частота снятия показателей измерений и т. д. должны быть разработаны в проекте производства работ организацией, которая будет осуществлять геотехнический мониторинг.

Заключение

В результате проведенной работы по анализу проектной документации пересадочного узла можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Контроль качества выполнения АО «Метрогипротранс» инженерно-геологических и проектных работ участка пересадочного узла, включающего промежуточный вестибюль с камерой металлоконструкций, три ходка для сооружения через врезку в обделку эксплуатируемого бокового тоннеля станции «Кировский завод», лестничные сходы в средний зал станции «Кировский завод», не выявил отступлений в них требований нормативных документов. Рекомендовано для уменьшения процента армирования конструкций наклонного хода и промежуточного вестибюля увеличить толщины стен и сводов.

2. При строительстве пересадочного комплекса необходимо организовать геотехнический мониторинг, основными этапами которого следует считать:

- выполнение, по мере снятия архитектурной облицовки и водозащитных зонтов правого станционного тоннеля и до демонтажа тубингов, инструментального контроля геометрических размеров колец

обделок в зоне проема. После демонтажа первого тубинга произвести измерение и оценку изменения фактической толщины спинок и ребер тубингов и осуществить камеральное исследование фактических физико-механических свойств чугуна тубингов из-за коррозии за время многолетней эксплуатации;

- выполнение проверочных расчетов напряженно-деформированного состояния несущих конструкций по результатам определения фактической толщины спинок и ребер тубингов и их фактических физико-механических свойств.

3. Разработанная организация строительства, конструктивные и технологические решения по врезке пересадочного коридора в боковой тоннель станции «Кировский завод», требования к мониторингу при строительстве позволяют по разработанной документации безопасно для эксплуатации действующей станции и окружающей среды осуществить строительство пересадочного узла без перерыва движения поездов по Кировско-Выборгской линии Петербургского метрополитена.

Ключевые слова

Станция метрополитена, пересадочный узел, расчет.

Metro station, interchange hub, calculation.

Для связи с авторами

Лебедев Александр Борисович
info@rus-tar.ru
Дорман Игорь Яковлевич
info@rus-tar.ru
Мазин Сергей Валерьевич
info@rus-tar.ru