

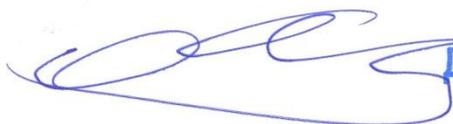
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

На правах рукописи

КУНЕЦ ДМИТРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
КОНСТРУКЦИЙ, ВСТРОЕННЫХ В ОДНОСВОДЧАТЫЕ
СТАНЦИИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА**

*05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэро-
дромов, мостов и транспортных тоннелей*

 **Д.В. Кунец**

**ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Фролов Юрий Степанович

Санкт-Петербург 2016

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОДНОСВОДЧАТЫХ СТАНЦИЙ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	11
1.1. Односводчатые станции на линиях глубокого заложения	11
1.2. Особенности конструктивных решений односводчатых станций в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.....	18
1.3. Встроенные конструкции односводчатых станций	29
1.4. Состояние вопроса. Цели и задачи исследований	33
1.5. Выводы по главе 1	36
2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ И ОБУСТРОЙСТВ, ВСТРОЕННЫХ В ОДНОСВОДЧАТЫЕ СТАНЦИИ.....	38
2.1. Предварительное обследование текущего состояния встроенных конструкций односводчатых станций (с момента ввода в эксплуатацию и до 2000 г.)	38
2.2. Классификация выявленных дефектов элементов отделки и встроенных конструкций односводчатых станций.....	51
2.3. Техническое диагностирование сооружений и обустройств, встроенных в односводчатые станции	54
2.4. Характерные дефекты отделки станции и встроенных конструкций, возникающие в процессе длительной эксплуатации	58
2.5. Выводы по главе 2.....	90
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «ГРУНТОВЫЙ МАССИВ - ОБДЕЛКА СТАНЦИИ - ВСТРОЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ».....	92
3.1. Цель и задачи математического моделирования.	92

3.2.Выбор и обоснование расчетных схем, методика выполнения численного анализа	93
3.3.Результаты исследований деформированного состояния обделки односводчатой станции.....	99
3.4. Результаты исследований деформированного состояния встроенных в односводчатую станцию конструкций.....	107
3.5. Выводы по главе 3.....	114
4.РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	116
4.1. Сравнительный анализ результатов математического моделирования и натуральных исследований.....	116
4.2. Рекомендации по проектным решениям встроенных конструкций односводчатых станций	124
4.3. Рекомендации по текущему содержанию и организации контроля технического состояния односводчатых станций в процессе эксплуатации..	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Конструктивные решения каркаса СТП и армирование плиты перекрытия	153
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 «Заключение научно-технического экспертно- консультационного совета Санкт-Петербургского отделения Тоннельной ассоциации России»	162

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Градостроительные и инженерно-геологические условия Санкт-Петербурга обусловили приоритетное строительство линий метрополитена на глубоком заложении, перегонные тоннели и станционные комплексы на которых сооружают закрытым способом. Строительство станций без вскрытия земной поверхности связано со значительными финансовыми и трудовыми затратами, огромной долей ручного труда, а сроки строительства из всего комплекса сооружений на линии метрополитена - самые длительные. Поэтому, начиная со строительства первой очереди Ленинградского метрополитена, проводилась работа по совершенствованию объемно-планировочных и конструктивно-технологических решений станционных комплексов, обеспечивающих не только улучшение технико-экономических показателей, но и повышение эксплуатационной надежности сооружений. В значительной степени поставленным требованиям удовлетворяют односводчатые конструкции станций. Проектированию и строительству большепролетных односводчатых станций в протерозойских глинах предшествовал большой объем теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния элементов конструкции и окружающего грунтового массива, выполненных институтом Ленметрогипротранс совместно с отделением «Тоннели и метрополитены» ЦНИИСа и с кафедрой «Тоннели и метрополитены» ЛИИЖТа. В разработке конструктивно-технологических решений, исследовании и внедрении односводчатых станций в Санкт-Петербурге принимали участие такие видные ученые и специалисты, как О.В. Антонов, Ю.И. Айвазов, К.П. Безродный, В.Н. Александров, Д.М. Голицынский, А.Н. Коньков, Н.И.Кулагин, Ю.А.Лиманов, В.И.Ларионов, С.Н. Сильвестров, П.В. Степанов, Ю.С. Фролов, С.П. Щукин и многие другие.

Типовая конструктивная схема в виде верхнего и обратного сводов, выполненных из железобетонных блоков и опирающихся на массивные бетонные опоры, реализована на 14 станциях, построенных в разные годы. К числу досто-

инств односводчатых станций относится возможность размещения под единым сводом встроенных конструкций вспомогательных сооружений всего станционного комплекса, включая, при необходимости, и камеру съездов.

Однако, в процессе достаточно длительной эксплуатации односводчатых станций со встроенными конструкциями (на сегодняшний день более 30 лет) были выявлены негативные проявления, снижающие их эксплуатационную надежность. При этом несущая способность обделки односводчатой станции соответствует условиям ее работы, но с течением времени существенно снижается уровень технического состояния встроенных конструкций, таких, как пассажирская платформа, совмещенная тягово-понижительная подстанция (СТП), водозащитные зонты, рамы обрамления натяжной камеры эскалаторного тоннеля и проходов пассажиров с эскалаторов на платформу, служебные и другие помещения.

Вопросы обеспечения эксплуатационной надежности подземных сооружений метрополитена нашли отражение в работах К.П.Безродного, В.А.Гарбера, Е.Г. Козина, А.Н. Конькова, Латышева М.А., М.О. Лебедева В.Е. Меркина, Ю.С. Фролова, Е.В. Щекудова и др. Однако вопрос об эксплуатационной надежности встроенных в односводчатые станции сооружений и обустройств при проектировании и строительстве первых односводчатых станций («Площадь Мужества» и «Политехническая») остался малоизученным, так как на этих станциях по односводчатой схеме были выполнены только платформенные участки.

Поддержание надлежащего технического уровня подверженных чрезмерным деформациям, а в некоторых случаях и частичному разрушению, несущих конструкций встроенных в односводчатые станции сооружений, связано со значительными трудовыми и финансовыми затратами на ремонтные работы, а также требует разработки особого регламента их текущего содержания.

Каждая из односводчатых станций Петербургского метрополитена является сложной взаимосвязанной системой «грунтовой массив - обделка станции - встроенные конструкции». Отсюда следует, что вопрос о повышении эксплуатационной надежности сооружений, встроенных в односводчатые станции, может

быть решен только на основе глубокого научного анализа причинно-следственных связей силового взаимодействия элементов этой системы. Все вышеизложенное определило направленность и содержание проведенных автором исследований, представленных в диссертации.

Степень разработанности. Многие аспекты проблемы обеспечения эксплуатационной надежности подземных сооружений метрополитена нашли отражение в ряде научно-исследовательских работ, на которые даны ссылки в первой главе диссертации. Однако вопрос об эксплуатационной надежности сооружений и обустройств, встроенных в односводчатые станции, остался малоизученным. В процессе длительной эксплуатации такого типа станционных комплексов выявлены негативные проявления в виде явных и скрытых дефектов, а также частичного разрушения элементов встроенных конструкций, снижающих уровень их технического состояния и эксплуатационную надежность всего станционного комплекса. Односводчатая станция со встроенными конструкциями является сложной взаимосвязанной системой «грунтовой массив - обделка станции - встроенные конструкции». Поэтому решение вопроса о повышении эксплуатационной надежности станционного комплекса такого типа требует системного подхода, позволяющего установить причинно-следственные связи силового взаимодействия элементов этой системы по результатам технической диагностики конструкций в процессе длительной эксплуатации и проведения расчетно-теоретического анализа напряженно-деформированного состояния системы.

Цель исследований. Разработка научно-обоснованных рекомендаций для обеспечения эксплуатационной надежности встроенных в односводчатые станции вспомогательных сооружений и обустройств,

Объемно-планировочные и конструктивные решения встроенных в односводчатые станции сооружений и обустройств необходимо увязывать с качественными и количественными показателями деформации сводов и смещений опор станции, с учетом продолжительного периода стабилизации этих деформаций.

Основные задачи исследований:

1. Выполнить анализ объемно-планировочных и конструктивных решений односводчатых станций с обделкой из железобетонных блоков со встроенными сооружениями и обустройствами.

2. Изучить имеющиеся материалы о результатах ранее проведенных обследований по факту обнаружения негативных проявлений в элементах встроенных конструкций.

3. Выполнить техническое диагностирование встроенных объектов, с целью оценки уровня их технического состояния. Дать классификацию выявленных дефектов.

4. Установить причины возникновения и закономерности развития различных дефектов встроенных конструкций в период длительной эксплуатации односводчатых станций.

5. Выполнить расчетно-теоретические исследования обделки односводчатых станций со встроенными конструкциями с целью установления причинно-следственных связей силового взаимодействия обделки станции с различными типами встроенных конструкций.

6. Произвести сравнительный анализ полученных теоретических данных о деформированном состоянии элементов встроенных конструкций с результатами технического диагностирования.

7. Разработать рекомендации по проектированию конструкций, встроенных в односводчатые станции.

8. Разработать инструкцию по текущему содержанию односводчатых станций с учетом особенности эксплуатации встроенных конструкций и обустройств.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использован комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение материалов проектных и строительных организаций, а также материалов, опубликованных в решениях специальных комиссий, инспектирующих станции,

где отмечалось, что техническое состояние встроенных конструкций ставит под угрозу безопасную эксплуатацию сооружения; техническую диагностику встроенных конструкций во времени; расчетно-теоретический анализ напряженно-деформированного состояния системы «грунтовый массив – обделка станции – встроенные конструкции»; сопоставление результатов расчетов с данными, полученными при обследовании встроенных конструкций на станциях с аналогичными конструктивными параметрами.

Научная новизна:

- впервые на основе анализа материалов технической диагностики определена степень влияния выявленных дефектов на уровень технического состояния различных сооружений и обустройств, встроенных в односводчатые станции;

- установлены причинно-следственные связи силового взаимодействия обделки станции со встроенными конструкциями на основе результатов натурных исследований и расчетно-теоретического анализа.

- выявлена динамика и установлены закономерности процесса деформирования системы «грунтовый массив - обделка станции - встроенные конструкции» в течение длительного времени эксплуатации станционных комплексов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Каждая из односводчатых станций Петербургского метрополитена является сложной взаимосвязанной системой несущих и встроенных конструкций различного типа, поэтому оценивать их техническое состояние следует по результатам специальных обследований (технического диагностирования). Техническое диагностирование проведенное по разработанной автором программе позволило не только выявить дефекты и повреждения встроенных конструкций, дать их классификацию, но и установить причины возникновения и динамику развития различных дефектов встроенных конструкций в период длительной эксплуатации.

2. Силовые дефекты встроенных конструкций следует рассматривать во взаимосвязи с характером деформирования несущей обделки односводчатой

станции при взаимодействии ее с окружающим грунтовым массивом. Прогноз характера силового взаимодействия обделки станции при разной глубине заложения с различными типами встроенных конструкций следует выполнять методом численного анализа с учетом реальных условий работы системы, выявленных в результате технического диагностирования.

3. Для снижения финансовых и трудовых затрат на текущее содержание и ремонт встроенных конструкций, необходимо изменить их объемно-планировочные и конструктивные решения, сведя к минимуму число опорных узлов несущих элементов этих конструкций и увязав их месторасположение со схемой деформирования элементов обделки станции. Текущее содержание односводчатых станций со встроенными конструкциями следует осуществлять по особому регламенту, изложенному в разработанной автором инструкции.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Установлены причины возникновения и закономерности развития различных дефектов встроенных конструкций, что позволяет своевременно и обоснованно проводить ремонтные работы, обеспечивая эксплуатационную надежность станционного комплекса.
2. Предложены и обоснованы новые объемно-планировочные и конструктивные решения сооружений, встроенных в односводчатые станции, обеспечивающие снижение финансовых и трудовых затрат на их текущее содержание и ремонт.
3. Разработана и внедрена инструкция по текущему содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена с учетом особенности эксплуатации встроенных конструкций и обустройств.

Степень достоверности и апробации результатов подтверждается всесторонним анализом большого объема материала натурных обследований технического состояния встроенных конструкций, полученных за продолжительный период наблюдений; использованием современных методов решения задач геомеханики в процессе изучения силового взаимодействия системы «грунтовой

массив - обделка станции - встроенные конструкции»; удовлетворительной сходимостью результатов численного анализа статической работы конструкций с данными, полученными при обследовании встроенных конструкций на станциях с аналогичными конструктивными параметрами.

Содержание и основные положения диссертационной работы докладывались на международной конференции «Безопасность – основа устойчивого развития регионов и мегаполисов» (Москва, 2005 г.), на международной конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений» (Екатеринбург, 2007 г.), на научно-техническом совете ГУП Петербургский метрополитен (2010г), на Научно-техническом экспертно-консультационном Совете Петербургского регионального отделения Тоннельной ассоциации России (2013г), на научно-технических семинарах кафедры «Тоннели и метрополитены» ФГБОУ ВПО ПГУПС (2013-2015 г.г.).

Личный вклад автора заключается: в обзоре и анализе материалов ранее выполненных исследований напряженно-деформированного состояния обделки одно-сводчатой станции; в постановке задач и разработке программы исследований, в личном участии при выполнении технической диагностики встроенных сооружений и анализе полученных результатов, в разработке геомеханической модели односводчатой станции со встроенными сооружениями, анализе результатов численного моделирования и формулировке выводов, разработке технических решений встроенных конструкций и инструкции по содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, 3 из которых – в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Объем и структура работы

Диссертационная работа изложена на 165 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 99 источников, 2 приложений, включает 107 рисунков и 6 таблиц.

1. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОДНОСВОДЧАТЫХ СТАНЦИЙ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИ- ТЕНА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Односводчатые станции на линиях глубокого заложения

Станции односводчатого типа, сооружаемые закрытым способом, начали получать распространение в зарубежном метростроении с начала XX-го века. До первой половины 20 века большое количество односводчатых станций построено в Париже, Бостоне, Мадриде, Риме, Вашингтоне, Лиссабоне, Токио и других крупных городах [48, 97, 98, 99].

В начальный период односводчатые станции сооружались горным способом из монолитного бетона или тесаного камня. Способы ведения работ выбирались исходя из прочности и устойчивости составлявших грунтовой массив пород. Пример станции Парижского метрополитена приведен на рисунке 1.1.

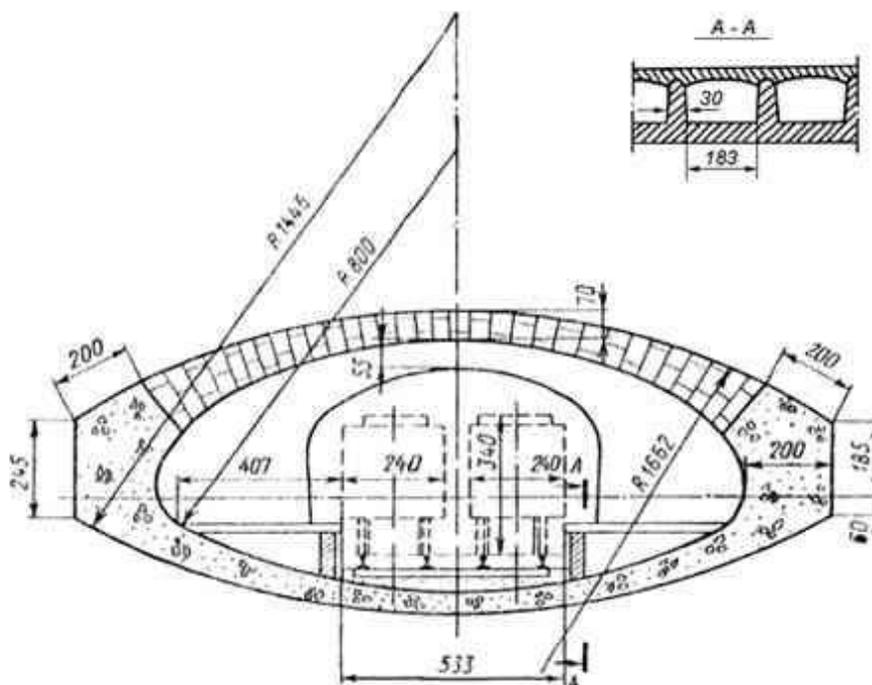


Рисунок 1.1 – Односводчатая станция Парижского метрополитена

В отечественной практике первая односводчатая станция «Библиотека имени Ленина» в Москве была построена в 1935 году (рисунок 1.2) и выполнена из

монолитного бетона и железобетона. Станция залегает на малой глубине (от поверхности земли до щельги свода всего 3,5 м). Стены заложены в плотных карбонных глинах, верхняя часть станции – в песках и моренных глинах.

Сооружение станции вели методом опорного ядра с временной деревянной крепью (рисунок 1.3). Сначала сооружались и бетонировались ярусы штолен, затем производилась разработка калотты и бетонирование верхнего свода. Завершалось сооружение разработкой ядра и устройством обратного свода.

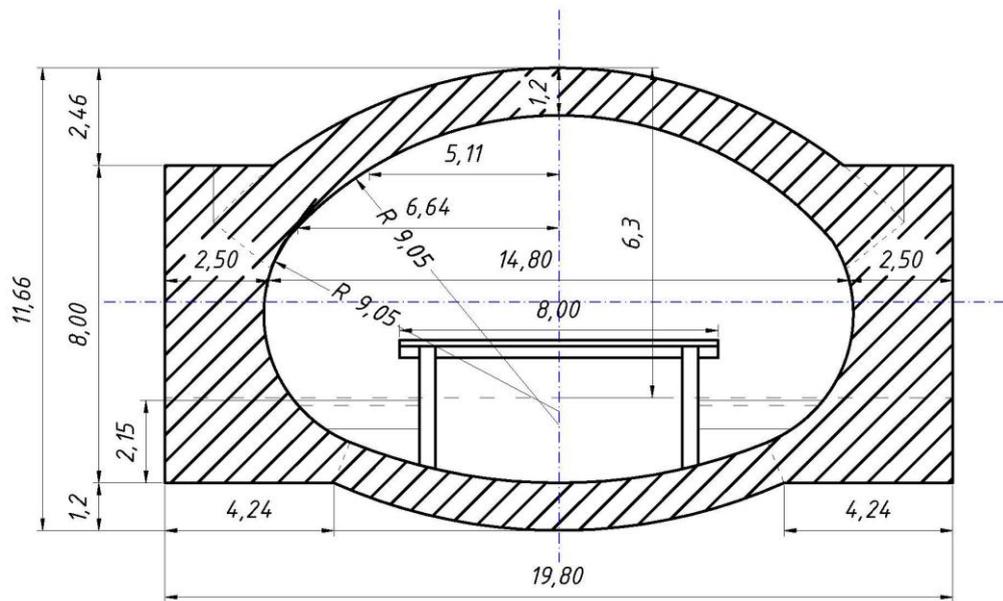


Рисунок 1.2 – Односводчатая станция «Библиотека имени Ленина» в Москве

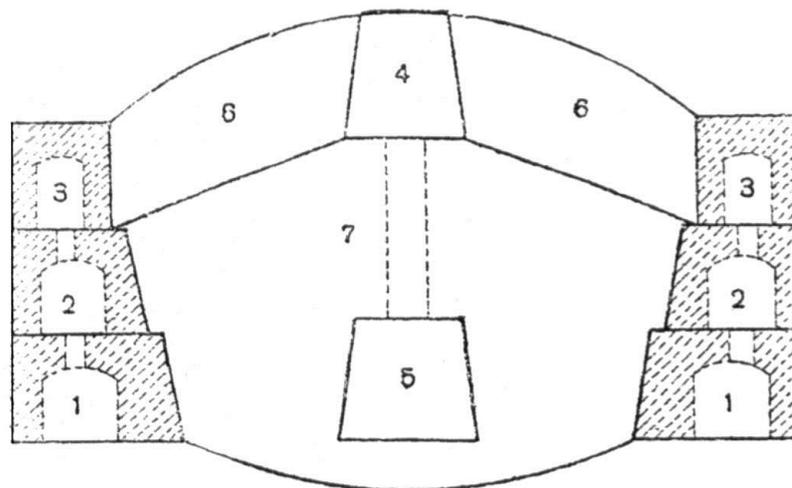


Рисунок 1.3 – Схема сооружения станции «Библиотека имени Ленина» в Москве

По объемам работ, затратам труда и материалоемкости такая конструкция не могла конкурировать с имеющимися на тот момент вариантами пилонных и колонных станций.

Таким образом, методы строительства односводчатых станций первого поколения (первая половина 20-го века) отличались значительной сложностью, огромными затратами ручного труда, малой производительностью. Сооружение горным способом с разработкой сечения по частям на временной деревянной крепи приводило к существенным осадкам земной поверхности, недопустимым в условиях плотной, в том числе исторической, застройки больших городов.

Дальнейшее совершенствование конструкций односводчатых станций и методов их сооружения происходило, в основном, **по двум** направлениям.

В относительно устойчивых полускальных и скальных грунтах станции стали возводить новоавстрийским способом с разработкой выработок по частям на полное сечение и применением различных видов контурных временных крепей в виде комбинаций арок, анкеров и набрызгбетона. Обделка станций сооружалась с определенным отставанием от забоя из монолитного бетона или железобетона с применением промышленных передвижных опалубок. Применение контурных крепей позволило добиться снижения осадок земной поверхности и использовать мощное горнопроходческое оборудование, практически полностью механизировав все процессы при сооружении станций.

В относительно слабых грунтах (плотные глины, глинистые сланцы, сильнотрещиноватые известняки) получили развитие станции со сборными сводами, обжимаемыми на породу. Развитию таких конструкций способствовало внедрение в зарубежной и отечественной практике сборных железобетонных и бетонных обделок тоннелей кругового очертания с обжатием их в грунт, позволивших индустриализировать сооружение и снизить материалоемкость перегонных тоннелей метрополитена.

Поскольку рассматриваемые в настоящей диссертационной работе станции Петербургского метрополитена располагаются в достаточно слабых грунтах

(плотные протерозойские глины), наиболее актуален анализ дальнейших путей развития односводчатых станций в условиях относительно слабых грунтов. Исследования конструкций односводчатых станций из сборных железобетонных элементов с обжатием сводов в грунт начались почти одновременно в СССР и за рубежом в начале 60-х годов. С 1963 по 1970 г.г. в Париже на линии метрополитена Восток – Запад были построены односводчатые станции «Этуаль», «Насьон», «Обер», в конструкциях которых применен принцип обжатия сборного блочного верхнего свода на грунт с помощью плоских домкратов Фрейсине [2, 4, 48, 97, 90, 98].

Первая односводчатая станция «Этуаль» со сборным, обжатым на грунт верхним сводом, построена на скоростной линии Парижского метрополитена «Восток-Запад». Грунтовый массив, вмещающий станцию, представлен чередующимися слоями глинистых мергелей, глин, и кремниевых галечников. Свод станции преимущественно расположен в глинистых мергелях, в уровне подошвы стен залегают трещиноватые слои кремнистых галечников, наиболее прочные из всех окружающих выработку пород.

Станция имеет две боковые платформы шириной по 7 м, перекрытые вместе с путями одним сводом пролетом в свету 20,9 м, опирающимся на две монолитные ступенчатые массивные опоры из низко армированного железобетона, сооруженные в штольневых выработках (рисунок 1.4). Станция не имеет обратного свода, плиты платформ и подплатформенные коллекторы забетонированы прямо на грунте.

Арки верхнего свода, очерченного по круговой кривой, состоят из 13 железобетонных блоков с цилиндрическими стыками. Арки собраны с перевязкой стыков; для обеспечения совместности работы арок каждый блок имеет на боковых гранях выступы и впадины. Ширина арок 800 мм, толщина блоков в арке переменная от 600 мм в замке до 1000 мм в пятах. Замковые блоки арок включают в себя по 2 домкрата Фрейсине для обжатия арок.

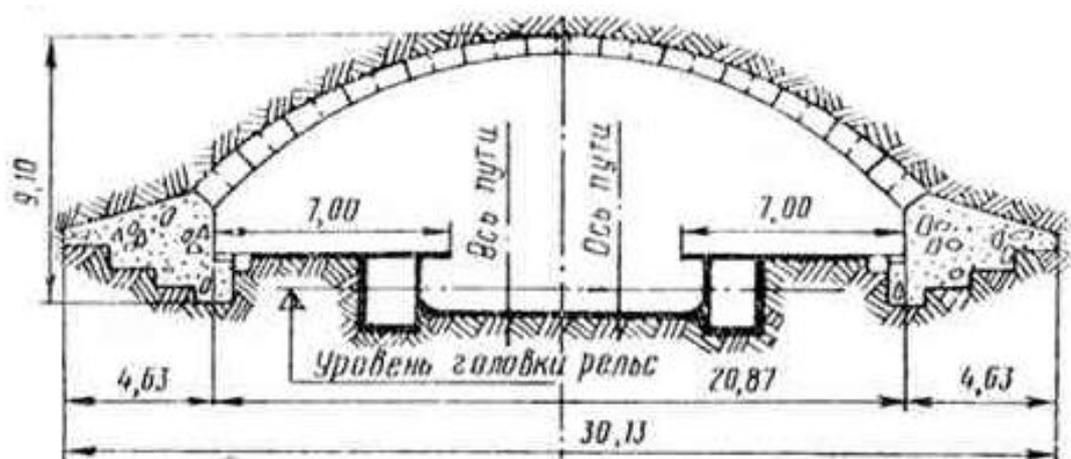


Рисунок 1.4 – Одноводчатая станция «Этуаль» Парижского метрополитена.

Поперечное сечение

Цилиндрические стыки и боковые грани блоков во время сборки арок обмазывались специальным полимерным клеем на базе эпоксидных смол. Нанесение клея преследовало две цели: снижение трения блоков в арке и между арками на монтаже, а после полимеризации смолы – омоноличивание свода. В блоках были предусмотрены отверстия для нагнетания цементного раствора за свод и в стыки между арками.

В 1970 году на этой же линии сооружена одноводчатая станция «Обер», имеющая оригинальное объемно-планировочное решение (рисунок 1.5).

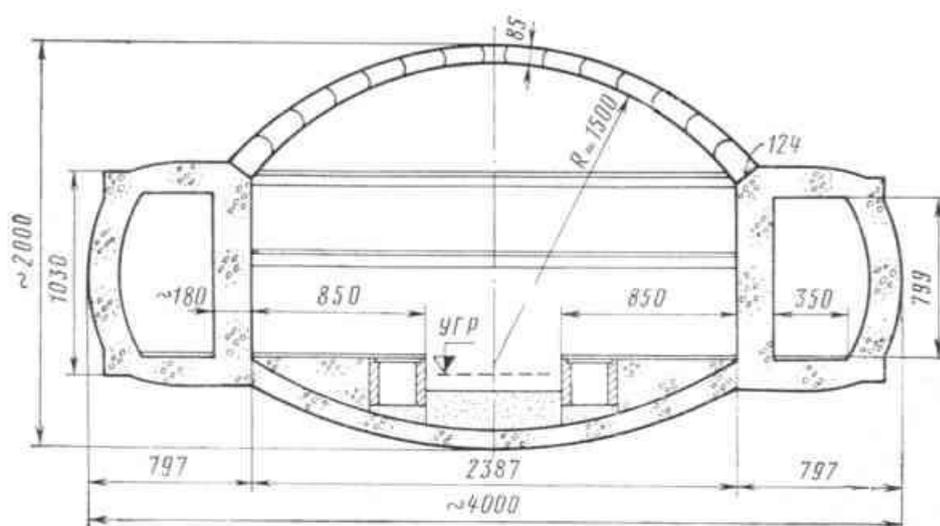


Рисунок 1.5 – Поперечное сечение одноводчатой станции Парижского метрополитена «Обер»

Свод станции, смонтированный из блоков сплошного сечения, опирается на стены из монолитного железобетона, выполненные полами изнутри. Снизу стан-

ция замыкается обратным сводом, выполненным из монолитного бетона. Внутренне пространство среднего зала разбито на три этажа, нижний из которых используется для размещения путей и пассажирских платформ, а средний и верхний являются распределительными для передвижения пассажиров и связи с поверхностью. Коридоры в стенах используются для размещения в них эскалаторов и лестниц, связывающих пассажирские платформы со средним этажом. Таким образом, внутренний объем станции использован очень рационально.

Сборный верхний свод станции состоит из отдельных арок шириной 0,8 м, каждая из которых смонтирована из 15-ти блоков. Радиальные стыки блоков цилиндрические; арки между собой связаны рецессами (выступами – впадинами пирамидальной формы) (рисунок 1.6).

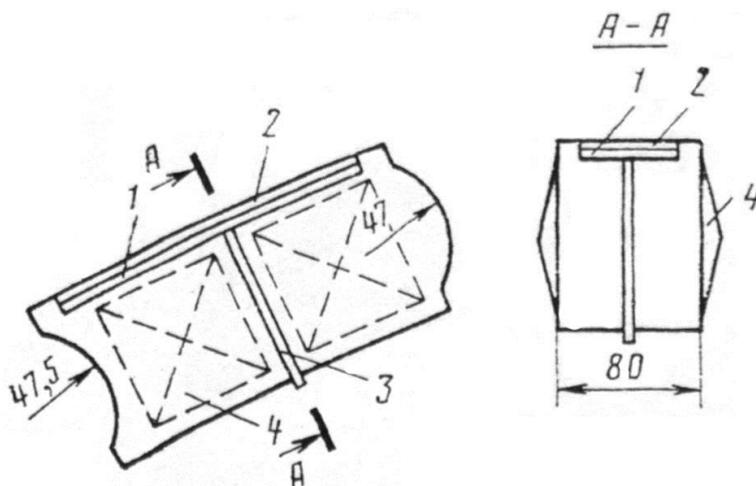


Рисунок 1.6 - Конструкция блока:

1 – резиновая камера; 2 – железобетонная плита, закрывающая при установке блоков резиновую камеру; 3 – трубка для нагнетания цементного раствора в резиновую камеру; 4 – рецессеры пирамидальной формы

Все радиальные и кольцевые стыки на монтаже заполнялись эпоксидной смолой. Верхний свод станции обжимался в порода при помощи двух домкратов Фрейсине, заложенных в замковом блоке при его изготовлении. После этого производилось дополнительное обжатие блоков за счет нагнетания цементно-песчаного раствора в резиновые камеры, расположенные на внешней поверхности каждого из блоков (см. рис.1.10). Все эти мероприятия обеспечивали вступление арок свода в работу немедленно после их сборки. После отверждения эпоксидной смолы в стыках обеспечивалось омоноличивание обделки.

Опыт строительства во Франции односводчатых станций со сборными многошарнирными сводами позволил разрешить ряд важных проблем, ранее ограничивающих внедрение односводчатых станций в слабых грунтах.

Во-первых, достаточно быстрая разработка грунта в пределах узкой прорези позволяла избежать устройства массивной деревянной штольневой крепи, ограничиваясь креплением кровли и лба забоя легкой деревянной и металлической крепью с опиранием ее на неразработанный массив и ранее собранные арки свода.

Во-вторых, обжатие свода на породе домкратами Фрейсине, а в случае станции «Обер» еще и дополнительное нагнетание в резиновые камеры на поверхностях блоков, обеспечивало немедленное вступление обделки в работу сразу после ее сборки, предотвращало деформации контура выработки и ограничивало рост горного давления.

В-третьих, впервые в истории сооружения односводчатых станций появилась возможность широкой механизации работ как по разработке грунтового массива основного объема станции, так и операций по устройству обделки свода.

Перечисленные факторы позволяли исключить наиболее существенные недостатки, присущие ранее построенным станциям из монолитного бетона и каменной кладки:

- многодельность при разработке выработки значительного пролета, присущую горным способам с разработкой сечения по частям;
- длительную выдержку массива на временной деревянной крепи до момента устройства каменной или бетонной обделки, приводившую к значительным осадкам земной поверхности.

Все это, в свою очередь, позволило снизить затраты ручного труда, повысить его производительность, увеличить скорости сооружения станций и уменьшить их материалоемкость;

К недостаткам конструкций следует отнести тот факт, что верхние своды, представляющие собой при сборке и в начальный период нагружения много-

шарнирные арки, в последующем монолитизировались эпоксидными композициями. Это приводило к появлению значительных изгибающих моментов в своде и требовало, в соответствии с эпюрой моментов, применения блоков достаточно большого поперечного сечения с увеличением его к пятам свода. В свою очередь, это также существенно ограничивало возможную глубину заложения станций подобного типа в слабых грунтах из-за чрезмерного утяжеления свода.

Французский опыт проектирования и строительства был использован отечественными учеными и проектировщиками и адаптирован с учетом инженерно-геологических условий при разработке конструкций односводчатых станций для метрополитена в г. Ленинграде.

1.2. Особенности конструктивных решений односводчатых станций в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга

Особенности и отличия односводчатых станций, разрабатываемых для метрополитена Санкт-Петербурга, в значительной степени обусловлены инженерно-геологическими условиями их заложения. Станции Петербургского метрополитена расположены в относительно благоприятных инженерно-геологических условиях в сухих протерозойских глинах котлинского горизонта на глубине от 50 до 70 м. Выше котлинского горизонта располагаются четвертичные отложения, представленные, в основном, слабыми водонасыщенными грунтами. Между четвертичными отложениями и протерозойскими глинами располагается перемятый слой верхнепротерозойских глин мощностью до 2...5 м с прослойками песчаника средней крепости, включениями гальки и валунов. Типичный инженерно-геологический разрез представлен на рисунке 1.7.

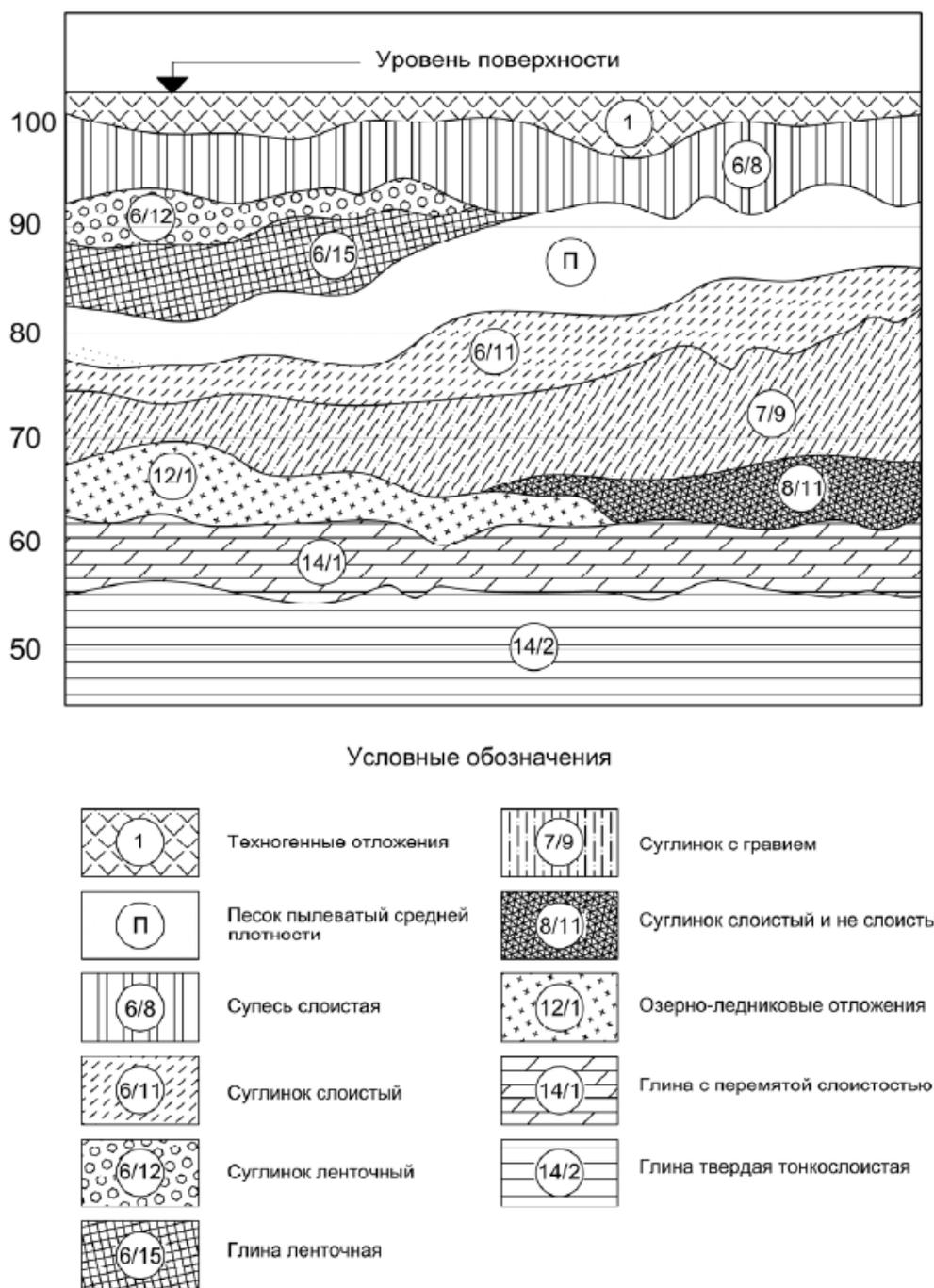


Рисунок 1. 7 – Типичный инженерно-геологический разрез

Верхние слои протерозойских глин, находящиеся на контакте с четвертичными отложениями, обычно перемяты, дислоцированы ледниковой эрозией.

Нижележащие слои протерозойских глин сложены очень плотными, сухими, тонкослоистыми серовато-зелеными глинами с редкими прослойками песчаника. Протерозойские глины твердой и полутвердой консистенции достаточно прочны, могут некоторое время держать вертикальный забой, т.е. являются доста-

точно благоприятной средой для расположения подземных сооружений. В толще протерозойских глин располагаются все станции глубокого заложения Петербургского метрополитена. С целью обеспечения технологической безопасности при строительстве и снижения осадок земной поверхности, мощность слоя протерозойских глин над сводом станций, включая перемятые, принимается, как правило, не менее 7...10м (максимум до 18 м).

Несмотря на относительно благоприятные условия заложения (сухие плотные протерозойские глины), проектирование односводчатых станций было осложнено рядом серьезных факторов, в частности:

- значительная глубина заложения (50..70 м), то есть в три-четыре раза большая по сравнению с Парижским метрополитеном и, как следствие, значительные нагрузки на большепролетный свод и на опоры;
- расположение выше протерозойских глин четвертичных отложений с включением слоев грунтов плавунного типа с большим гидростатическим напором;
- наличие в основании опор свода относительно слабых грунтов, склонных к ползучести.

Эти особенности и определили, в основном, эволюцию развития конструкций односводчатых станций и методов их возведения.

Исследования перспективных конструкций односводчатых станций были начаты в 1959 г. ЦНИИСом при активном участии специалистов институтов Ленметропроект и ЛИИЖТа. В 1962 году к.т.н. О.Ю. Антоновым (ЦНИИС) была предложена конструкция односводчатой станции с многошарнирным сводом, обжатым в породу [2, 3, 4].

В 1970 году на основе разработок, проведенных в ЦНИИСе, а также результатов физического моделирования на кафедре «Тоннели и метрополитены» ЛИИЖТа под руководством д.т.н., профессора Ю.А. Лиманова в сотрудничестве со специалистами Ленметростроя и Ленметрогипротранса была обоснована конструкция односводчатой станции для условий Ленинградского метрополитена. На

основании проведенных исследований институтом Ленметропроект в 1971 – 1974 г.г. были разработаны сначала технический, а затем и рабочий проекты односводчатых станций «Площадь Мужества» и «Политехническая», которые были построены и введены в эксплуатацию в 1974 году. В разработке конструктивно-технологических решений, исследовании и внедрении односводчатых станций в Санкт-Петербурге принимали участие такие видные ученые и специалисты, как О.В.Антонов, Ю.И.Айвазов, К.П.Безродный, В.Н.Александров, Н.С.Булычев, Д.М.Голицынский, Н.И.Кулагин, Ю.А.Лиманов, В.И.Ларионов, В.Е. Меркин, С.Н.Сильвестров, П.В.Степанов, Ю.С.Фролов, С.П.Щукин и многие другие [2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 33, 34, 35, 41, 43, 48, 49, 51, 69, 74, 75, 76, 85, 87, 90, 92].

Обе ленинградские станции (рисунок 1.8) аналогичны по конструкции. Верхний свод, представляющий собой многошарнирную конструкцию, очерченную по круговой кривой радиусом 9,8 м, состоит из 13 сборных железобетонных блоков с плоскими центрированными стыками и одного замкового элемента с двумя плоскими домкратами Фрейсине, с помощью которых обделка обжимается в породу. Ширина арки верхнего свода составляет 500 мм. Все блоки снабжены по торцам переменными по толщине упруго-пластичными винипластовыми прокладками, обеспечивающими центрированную передачу нормальных сил в арках свода с минимальными эксцентриситетами. Свод опирается на бетонные опорные конструкции, выполненные в форме полукруга, шириной 4 метра и высотой 5,5 метра.

Замыкает конструкцию обратный свод. Как и верхний, он представляет собой многошарнирную конструкцию из сборных железобетонных блоков с плоскими центрированными стыками, включающую 9 нормальных элементов и один замковый с разжатием в породу с помощью гидравлических домкратов с последующей установкой клиньев. Ширина арок обратного свода 1 м. ширина платформы – 10,7 м.

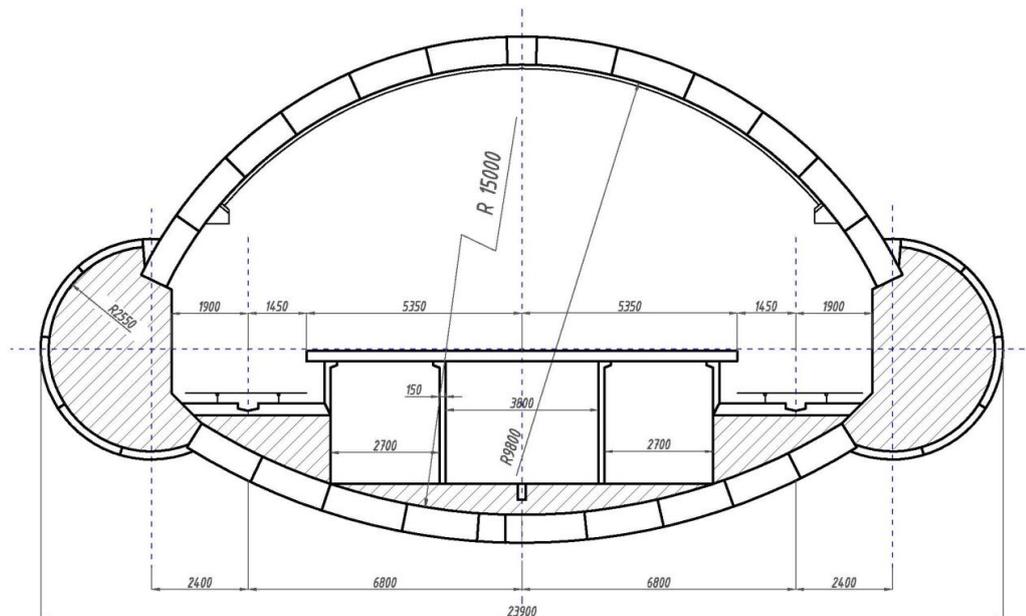


Рисунок 1.8 – Поперечное сечение ст. «Площадь Мужества» и «Политехническая»

Основным отличием от французских конструкций являлся отказ от последующего омоноличивания блоков в арке верхнего свода и арок между собой и применение сборного, обжатого на породе, обратного свода. Такое решение позволило минимизировать изгибающие моменты в блоках верхнего свода, однако несколько повысило деформативность конструкции.

Сооружение станции основывалось на классическом горном способе опорного ядра и слагалось из следующих основных процессов (рисунок 1.9): I — проходка опорных тоннелей; II — возведение опор свода; III — проходка калоттной прорези с возведением сборного свода; IV — разработка ядра; V — сооружение обратного свода.

Обделку опорных тоннелей диаметром 5,5 метра из железобетонных тубингов монтировали эректором. Опоры сводов бетонировали с помощью комплекса передвижной металлической опалубки "на себя".

По достижении достаточной прочности бетона опор в плоскости торцевой стены станции из опорных тоннелей по контуру будущего свода проходили криволинейную штольню одновременно с двух сторон. В штольне монтировали дуговой блокоукладчик (рисунок 1.10) и начинали проходку калоттной прорези.

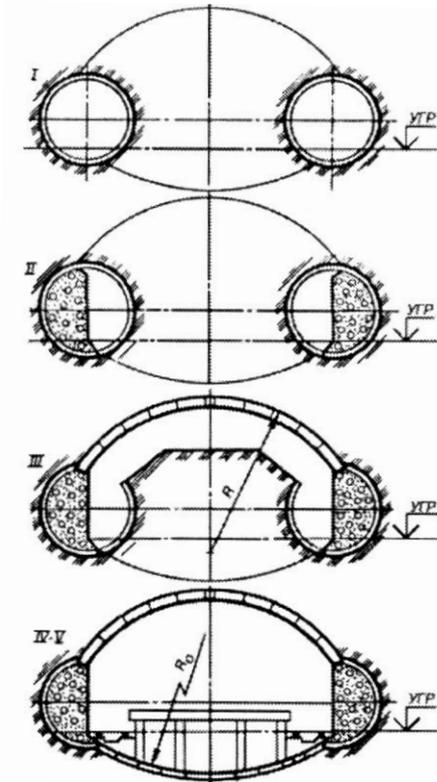


Рисунок 1.9 – Последовательность сооружения односводчатой станции в слабых грунтах

Разработку забоя вели заходками по одному метру и сразу монтировали две арки. Сразу после монтажа арки с помощью первого домкрата производили предварительный распор усилием 50-80 тс, а затем после нагнетания цементно-песчаного раствора за обделку доводили усилие распора до 250...300 тс (30-40% величины нормальной силы от полного веса столба грунта). Грунтовое ядро разрабатывали и грузили электрическими экскаваторами с ковшом активного действия (рисунок 1.11).

Отставание сооружения обратного свода от верхнего составляло 3-4 месяца. Блоки свода после разработки лотка укладывали по выравнивающей песчаной подсыпке. Свод разжимали в центре гидравлическими домкратами с установкой бетонных вкладышей.

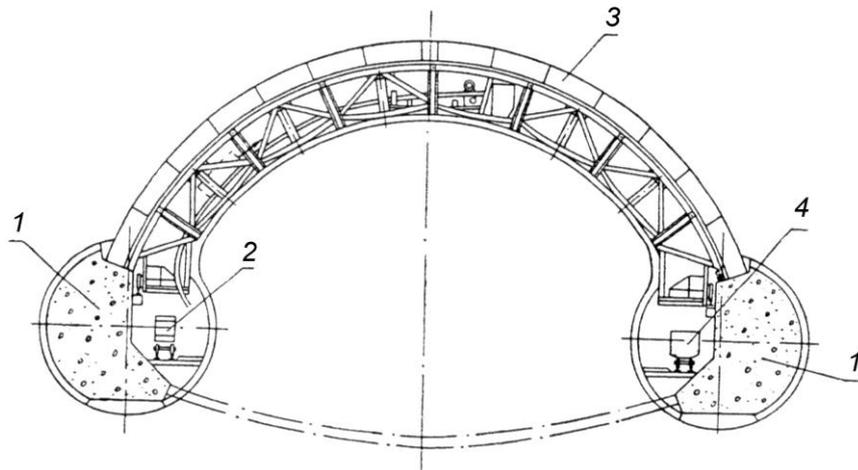


Рисунок 1.10 – Схема блокоукладочной фермы:
1 – опорный фундамент; 2 – блоковозка; 3 – обделка верхнего свода; 4 – вагонетка

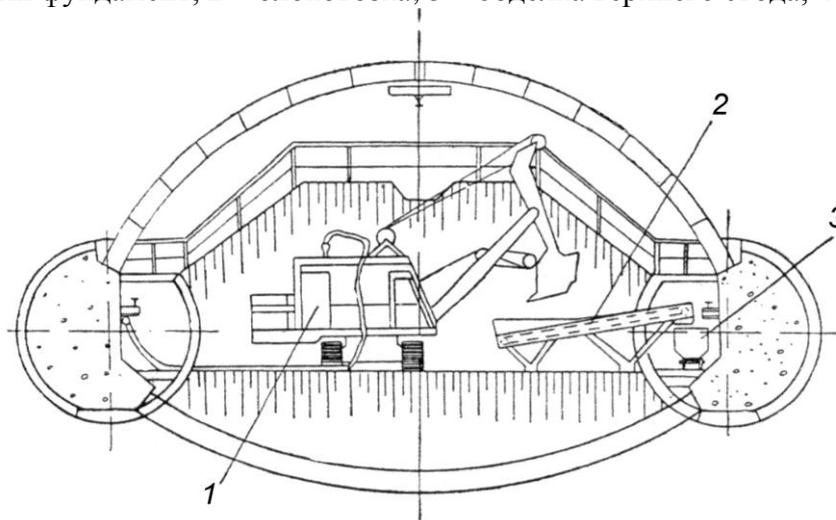


Рисунок 1.11 – Схема разработки ядра сечения станции:
1 – эскалатор с обратной лопатой активного действия; 2 – бункер с транспортером; 3 – вагонетка для грунта

Односводчатая конструкция, внедренная в Ленинграде, позволила реализовать ряд преимуществ как с точки зрения статики работы, так и с точки зрения производства работ.

Конструкция свода, каждая арка которого представляет собой кинематическую шарнирную цепь, обеспечивает ее податливость, что позволяет в известных пределах выравнять неравномерность горного давления. Такие условия работы обделки позволяют значительно облегчить ее элементы (шарнирная обделка вдвое легче монолитной при одной и той же несущей способности). Это, в частности, позволило унифицировать элементы свода, применив блоки одинакового поперечного сечения в арках свода.

Количество шарниров в результате проведенных многочисленных исследований выбрано таким, что полностью исключается возможность появления растягивающих напряжений в элементах обделки, и она работает только на сжатие, что помимо использования лучшего свойства бетона, является и важнейшим условием водопроницаемости обделки.

Распор свода в породе обеспечивает его вступление в работу непосредственно после возведения, в результате чего по контуру выработки создается радиальная распределенная нагрузка, препятствующая дальнейшим нарушениям горного массива. Величину усилий в своде можно регулировать и контролировать в процессе строительства, добиваясь стабилизации горного давления и уменьшения осадок поверхности, что очень важно в условиях плотной городской застройки современного Санкт-Петербурга.

Одно из важнейших преимуществ односводчатой конструкции заключалось в возможности и целесообразности механизации всех проходческих и строительных работ при её возведении. На период строительства уровень ручного труда на объектах Главтоннельметростроя составлял 42%, что являлось более низким показателем, чем в других областях строительства. При строительстве первой односводчатой станции немеханизированными оставались разработка калоттной прорези, проходка опорных тоннелей (эректорная) и возведение пристанционных сооружений. Однако, четкая организация работ, применение высокопроизводительной техники способствовали сооружению первой односводчатой станции практически вдвое быстрее ранее применявшихся типов конструкций. Высокие темпы проходки и монтажа обеспечил специальный дуговой укладчик. Ядро станции разрабатывалось электрическим экскаватором с активным ковшом. Поточное сооружение станции значительно сократило общее время на её возведение, которое обычно лимитирует сдачу линии в эксплуатацию.

Строительство второй односводчатой станции – «Политехническая» - было осуществлено ещё быстрее – с опережением графика первой на 30%.

Правильность теоретических предпосылок и экспериментальных исследований, использованных при проектировании новой конструкции, позволили проверить натурные исследования, проводимые в процессе строительства и после его окончания. Они показали, что нагружение обжатого в грунт свода горным давлением происходит достаточно быстро. Эксцентриситеты в элементах свода в среднем не превышали 2,5 см, что значительно меньше расчетной величины (7,7 см), что свидетельствовало об обеспечении необходимого центрирования блоков свода.

С увеличением пролета одновременно раскрываемой выработки обычно резко возрастают сдвижки в массиве грунта, осадки шельги свода и поверхности земли. Как правило, над стационарными конструкциями глубокого заложения в подобных условиях осадки поверхности составляют не менее 200-250 мм. При строительстве же односводчатой станции осадки дневной поверхности составили в среднем 40-50 мм (максимальная 94 мм) и были значительно меньше ожидаемых. Собственные осадки свода на станции «Площадь Мужества» не превысили 100 мм в шельге, что составило 1/2000 пролета [34, 35, 74, 75]. Натурные исследования, таким образом, подтвердили правильность теоретических предпосылок и конструктивных решений.

Одновременно со строительством первых станций, продолжалась работа над совершенствованием конструктивного решения односводчатой станции. Был исследован, обоснован и запроектирован вариант обделки односводчатой станции с увеличенным до 10,50 м радиусом верхнего свода, состоящего из 15 блоков, и уширенной до 11,7 м пассажирской платформой (рисунок 1.12) [4, 10, 12, 41, 74, 90].

По сравнению с первыми односводчатыми станциями («Площадь Мужества», «Политехническая») радиус обратного свода увеличен с 15,0 м до 22,75 м, толщина блоков уменьшена с 700 мм до 400 мм. Количество блоков в обратном своде увеличено до 10 штук, разжатие свода предусматривалось гидравлическими домкратами в центре свода с установкой фиксирующих бетонных вкладышей.

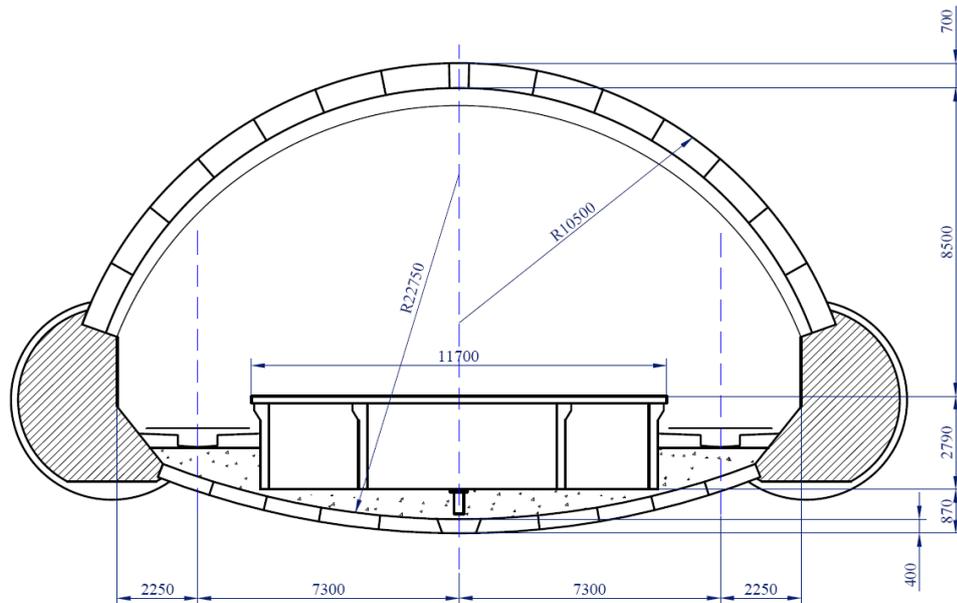


Рисунок 1.12 – Односводчатая станция с увеличенным радиусом верхнего свода и уширенной до 11,7 м пассажирской платформой

В ноябре 1982 года по новому проекту возведены и одновременно введены в эксплуатацию сразу три станции - «Черная речка», «Пионерская» и «Удельная». В дальнейшем этот проектный вариант стал единым для всех построенных позднее односводчатых станций, за исключением станций «Озерки» и «Садовая», где по условиям заложения или с учетом особенностей эксплуатации радиус обратного свода был принят 15,0 м. В настоящее время на Петербургском метрополитене эксплуатируется 14 односводчатых станций. Их перечень, даты постройки и основные технические и эксплуатационные характеристики приведены в Таблице 1.1.

По мере введения в эксплуатацию новых станций совершенствовались и методы их сооружения. К основным из них следует отнести сквозную проходку щитовыми комплексами опорных тоннелей на ряде станций, а также внедрение механизированного агрегата для разработки грунта калоттной прорези. При применении механизированного агрегата время на разработку грунта калоттной прорези и монтаж двух арок свода с разжатием составляет 2,5 часа. Таким образом, темпы сооружения верхнего свода станции составляют $2 \div 2,5$ м в сутки, что существенно ускоряет темпы сооружения станции в целом.

Таблица 1. 1.

Основные технические характеристики эксплуатируемых односводчатых станций

Технические параметры	Площадь Мужества	Политехническая	Обухово	Черная речка	Пионерская	Удельная	Проспект Большевиков	Новочеркасская	Ладожская	Озерки	Лиговский проспект	Садовая	Старая Деревня	Чкаловская
Дата ввода в эксплуатацию	31.12.1975	31.12.1975	10.07.1981	06.11.1982	06.11.1982	06.11.1982	31.12.1985	31.12.1985	31.12.1985	18.08.1988	29.12.1991	15.09.1997	15.01.1999	15.01.1999
Пролёт верхнего свода, В, м	19,0	19,0	19,0	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
Пролет обратного свода, В, м	16	16	16	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Радиус верхнего свода, R, м	9,8	9,8	9,8	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	9,7	10,5	10,5	10,5	10,50
Радиус обратного свода, R, м	15,0	15,0	22,75	22,75	22,75	22,75	22,75	22,75	22,75	15	22,75	15	22,75	22,75
Подъемистость верхнего свода	1,94	1,94	1,94	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	2,11	1,95	1,95	1,95	1,37
Подъемистость обратного свода	1,07	1,07	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	1,17	0,77	1,17	0,77	0,77
Количество блоков верхнего свода	13	13	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Количество блоков обратного свода	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Толщина блоков верхнего свода, мм	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Толщина блоков обратного свода, м	700	700	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Диаметр опорного тоннеля, м	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Расстояние между осями главных путей, м	13,58	13,58	13,58	14,68	14,7	14,69	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54	14,54
Ширина островной платформы, м	10,7	10,7	10,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7
Наличие встроенных служебных помещений, расположенных выше уровня платформы	нет	нет	Помещения ДСП, линейный пункт, санитарно-бытовые помещения, СТП	Помещения ДСП, линейный пункт, санитарно-бытовые помещения, СТП	Помещения ДСП, линейный пункт, санитарно-бытовые помещения, СТП	Помещения ДСП, линейный пункт, санитарно-бытовые помещения, СТП, камера съездов	Помещения ДСП, линейный пункт, санитарно-бытовые помещения, СТП							
Глубина заложения, м	57	53	55,6	58	58,5	55	62	60	55	58	59	57,5	55	47
Кровля протерозоя над верхним сводом, м	6,50	7,00	12...16	24,00	28,00	13...15	12,00	12...13	11,00	7,50	16,00	20...22,5	30,00	10,00

1.3. Встроенные конструкции односводчатых станций

Наряду с рациональными конструктивными решениями и возможностью практически полной механизации проходческих операций при строительстве, односводчатые станции, по сравнению с пилонными и колонными, обладают и существенными эксплуатационными преимуществами.

В двух первых, по существу опытных, односводчатых станциях «Площадь Мужества» и «Политехническая» под единым сводом станции располагался только платформенный участок. Однако, с эксплуатационной точки зрения, конструкция станции, а именно значительный объем подсводкового пространства, позволял выполнить в едином объеме компоновку основных обеспечивающих функционирование станции конструкций и обустройств. Поэтому, на третьей, введенной в эксплуатацию в 1981 году станции «Обухово», и на введенных в эксплуатацию в 1982 году станциях «Черная речка», «Пионерская» и «Удельная» впервые в практике отечественно метростроения все основные элементы станционного комплекса были размещены в едином конструктивном пространстве. За счет удлинения выработки односводчатого сечения под единым сводом вместе собраны платформенный участок, натяжная камера, помещения ДСП, линейный пункт, санитарно-бытовые помещения, совмещённая тягово-понижительная подстанция (СТП). Конструкции возводили из однотипных элементов, по единой технологии и единым комплексом механизмов.

На станции «Черная речка» (конечной на момент строительства) под единым сводом выполнена и камера перекрестных съездов, что существенно снизило стоимость и трудозатраты при возведении станционного комплекса в целом. В этом случае общая длина станционного комплекса, включающего все перечисленные сооружения, составляет при шести вагонной платформе станции 250 м, а при восьми вагонной – 290 м.

Типовой продольный разрез и характерные сечения станции, иллюстрирующие компоновку встроенных конструкций и служебных помещений (на примере станции «Пионерская»), приведены на рисунке 1.13.

На рисунке (1.13, а) показан разрез по торцевой перегородке, разграничивающей платформенный участок станции от зоны натяжной камеры и затвора и обрамляющей начало людского прохода к эскалаторам. В этой же зоне располагаются выходы в путевые тоннели и в натяжную камеру.

Под платформой станции, выполненной в виде трехпролетной конструкции из сборных железобетонных элементов, располагаются подплатформенные служебные помещения и проходные коллекторы (рисунок 1.13,б).

Второй блок служебных помещений (рисунок 1.13, в) представляет собой встроенную трехэтажную (от уровня платформы) полнокаркасную конструкцию, выполненную из сборного и монолитного железобетона.

Конструкция расположенной далее СТП (рисунок 1.13, г) имеет три этажа и представляет собой полный каркас, выполненный из монолитного и сборного железобетона, встроенный в сечение станции. Продольная жесткость СТП обеспечивается его расположением без зазоров между массивной торцевой стеной станции и каркасом станционных помещений, а также заделкой обвязочных балок перекрытия первого этажа в торцевую стену. Поперечная жесткость обеспечивается наклонными стойками, монолитно связанными с балками перекрытия первого этажа, упирающимися в бетонную опору свода.

В зависимости от схемы примыкания эскалаторного тоннеля, наличия или отсутствия под единым сводом камеры съездов, компоновка встроенных конструкций и служебных помещений может видоизменяться. На некоторых станциях в зоне между служебными помещениями и СТП располагается монолитная камера для организации примыкания на перспективу второго наклонного хода. Более подробно компоновочные и конструктивные решения встроенных конструкций приводятся в главе 2.

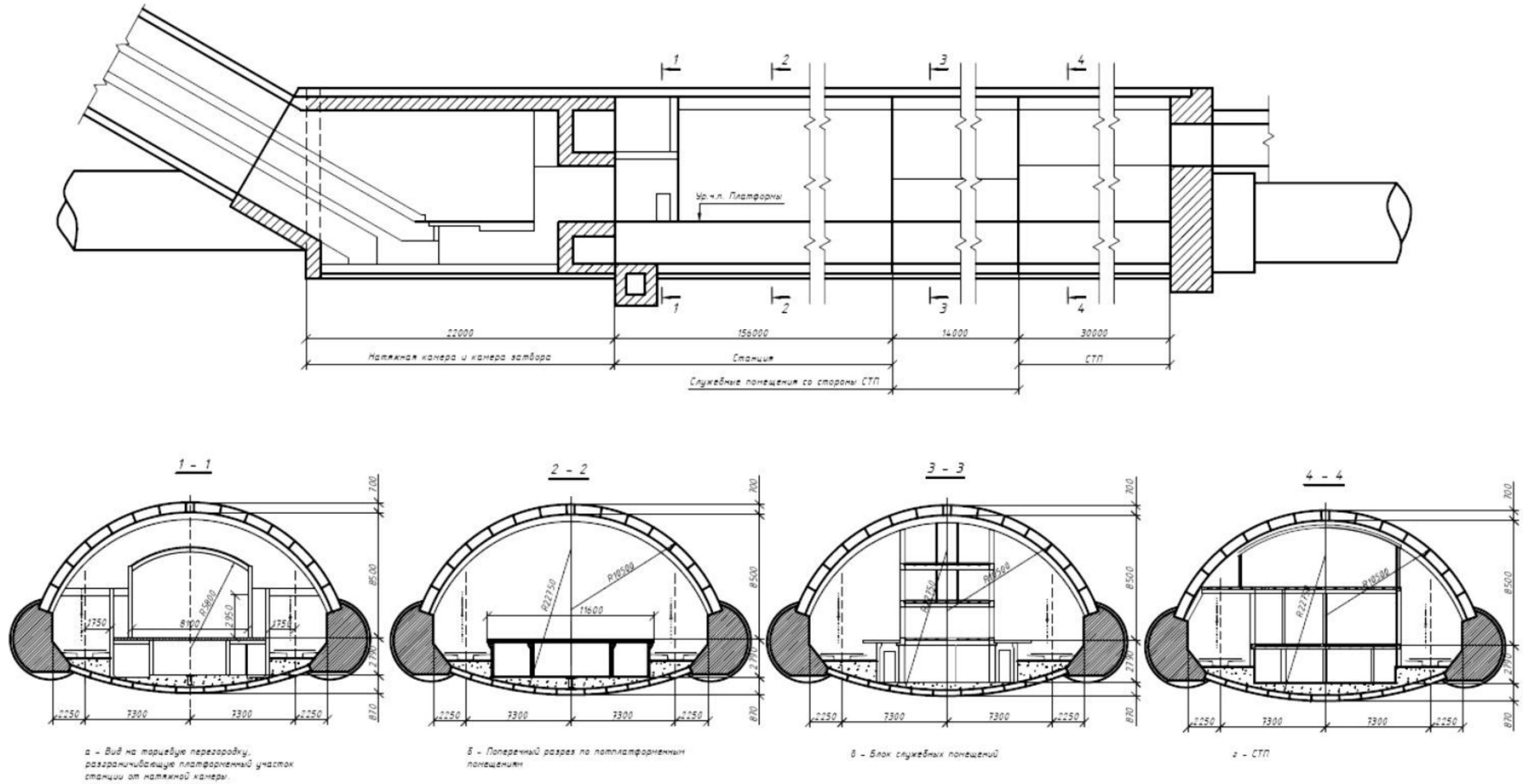


Рисунок 1.13 – Стандартное компоновочное решение одноводчатой станции (на примере станции «Пионерская»)

Благодаря компоновке, выполненной под единым сводом в пределах станции, односводчатые станции обладают следующими неоспоримыми эксплуатационными преимуществами.

1. Возможность круглосуточного доступа оперативного персонала к любым инженерным системам станционного комплекса без выхода в тоннель и снятия напряжения с контактного рельса (подходы к СТП, ДСП, С/У, КПП в зоне размещения платформенного участка).

2. Снижение эксплуатационных затрат при эксплуатации и перекладке инженерных систем за счет их расположения в едином объеме.

3. Наличие широкой платформы, что позволяет, в случае необходимости, выполнять на ней ремонтные работы без перерыва пассажиропотоков и устраивать в уровне платформы дополнительные сборные помещения для хранения средств подмащивания.

4. Возможность создания различных архитектурных и информационно-рекламных элементов интерьера станции, используя высотные-площадные параметры платформенного участка.

6. Возможность размещения пересадочной камеры, если в перспективе станция предусматривается пересадочной, или натяжной камеры эскалаторов, если планируется сооружение второго выхода на поверхность.

В настоящее время остается неиспользованными ряд дополнительных возможностей эффективного использования подсводкового пространства. Это может быть достигнуто, например, устройством балконов, захватывающих надпутевое и часть надплатформенного (в торцах станции) пространства. Эскалаторный тоннель в этом случае можно примыкать в одном уровне с балконом и связывать с платформой лестничным сходом. По длине станции с балконов могут устраиваться лестничные марши на платформу. Такое решение сможет обеспечить значительное увеличение пассажиропотоков без расширения платформы и увеличения размеров станции.

1.4. Состояние вопроса. Цели и задачи исследований

Вопросы обеспечения эксплуатационной надежности подземных сооружений метрополитена нашли отражение в работах К.П.Безродного, В.А.Гарбера, А.Н. Конькова М.О. Лебедева В.Е. Меркина и др.[10, 11, 12, 22, 23, 33, 34, 43, 48, 51,69]. Однако вопрос об эксплуатационной надежности односводчатых станций со встроенными сооружениями и обустройствами, способных выполнять на протяжении длительного времени заданные функции, сохраняя при определенных условиях свои технические характеристики в установленных пределах, остался малоизученным, так как при проектировании и строительстве первых односводчатых станций («Площадь Мужества» и Политехническая») по односводчатой схеме были выполнены только платформенные участки.

До середины 90-х годов наблюдению за деформациями построенных односводчатых станций не уделялось достаточного внимания. Между тем персоналом Службы тоннельных сооружений регулярно стали отмечаться появления различных дефектов в эксплуатируемых станциях. Развитие дефектов происходило по двум основным направлениям:

- возникновение различных по характеру повреждений встроенных конструкций (служебных помещений, СТП, рам обрамления людских проходов к эскалаторам, торцевых и путевых стен).
- неравномерный подъем путей в пределах станции;
- деформации облицовочных покрытий путевых стен и пассажирских платформ;

На станциях «Площадь Мужества» и «Политехническая», полностью аналогичных по конструкции, с 1977 года начали отмечаться нарушения облицовки путевых и торцевых стен, а также повреждение отдельных рядов станционных водоотводящих зонтов и перегородок в зоне служебных помещений. Ремонт облицовки и декоративных зонтов был выполнен силами метрополитена. Тем не менее, более серьезных проблем при эксплуатации первых двух станций не возникало.

Более серьезные повреждения отмечались на третьей введенной в эксплуатацию станции «Обухово» с увеличенным пролетом свода. Начиная с 1982 года, происходило отставание мраморной облицовки путевых стен по 1 и 2 главным путям. В 1984 году были выявлены повреждения стен и перегородок помещений СТП и служебных встроенных помещений, выразившихся в появлении трещин протяженностью до 3 м, шириной раскрытия до 3 мм. К концу 1985 количество трещин резко увеличилось. На отдельных участках кирпичных стен образовались вывалы. Можно было предположить, что основная масса повреждений связана с деформациями верхнего свода станций, раздавливающих перегородки встроенных помещений.

На станциях «Черная речка», «Пионерская» и «Удельная», введенных в эксплуатацию в ноябре 1982 года первые повреждения внутренних стен и перегородок СТП были обнаружены в 1984 году. Произошло смятие стен и перегородок по контакту свода с этими конструкциями, в некоторых местах образовались вывалы.

В 1984 по проекту института Ленметрогипротранс Ленметрострой произвел вырубку стен на высоту 180 мм в зоне контакта со сводом. Однако уже в начале 1985 года были обнаружены новые повреждения стен, внутренних перегородок и полов СТП, а также деформации гранитной облицовки полов платформенного участка. Одновременно с этим, отмечались опасные смещения (подъем) головок рельсов до 16 мм, вместо допускаемых 4 мм.

На станциях «Перспект Большевиков», «Ладожская» и «Новочеркасская», введенных в эксплуатацию в декабре 1985 года, был частично учтен опыт эксплуатации ранее построенных станций. В конструкции встроенных служебных помещений был внесен ряд изменений: все стены не доведены до верхнего свода на 150 мм, а пространство между стенами и сводом заполнено демпфирующим материалом (пенопластом), уменьшено количество перегородок в блоке служебных помещений, внесены отдельные изменения в конструкцию каркаса СТП. Однако в процессе эксплуатации уже через 2 месяца были обнаружены трещины в перегородках 2 этажа и зонтах.

По результатам предварительного анализа всех выявленных повреждений в станциях постройки по 1985 год включительно, стало очевидно, что в основной обделке и встроенных в ее объем конструкциях, происходят процессы, не учтенные при разработке проектных решений и серьезно нарушающие нормальную эксплуатацию станций.

После 1986 года был произведен значительный объем ремонтных мероприятий, а также внесен ряд коррективов в проектную документацию и технологию сооружения станций. Однако, проведенное в период с 2000 года по 2007 год сплошное плановое обследование эксплуатируемых станций, вывило существенное количество как ранее не устраненных или незамеченных дефектов, так и появление новых.

Исходя из того, что все сооружения станционного комплекса должны выполнять на протяжении длительного времени заданные функции, сохраняя свои технические характеристики в установленных пределах, определилась основная цель настоящей работы - обеспечить эксплуатационную надежность конструкций, встроенных в односводчатые станции Петербургского метрополитена, в процессе их длительной эксплуатации.

Поставленная цель достигалась решением следующих задач:

1. Выполнить анализ объемно-планировочных и конструктивных решений односводчатых станций с обделкой из железобетонных блоков со встроенными сооружениями и обустройствами.
2. Изучить имеющиеся материалы о результатах ранее проведенных обследований по факту обнаружения негативных проявлений в элементах встроенных конструкций.
3. Выполнить техническое диагностирование встроенных объектов, с целью оценки уровня их технического состояния. Дать классификацию выявленных дефектов.
4. Установить причины возникновения и закономерности развития различных дефектов встроенных конструкций в период длительной эксплуатации односводчатых станций.

5. Выполнить расчетно-теоретические исследования обделки односводчатых станций со встроенными конструкциями с целью установления причинно-следственных связей силового взаимодействия обделки станции с различными типами встроенных конструкций.

6. Произвести сравнительный анализ полученных теоретических данных о деформированном состоянии элементов встроенных конструкций с результатами натурного обследования.

7. Разработать рекомендации по проектированию конструкций, встроенных в односводчатые станции.

8. Разработать инструкцию по текущему содержанию односводчатых станций с учетом особенности эксплуатации встроенных конструкций и обустройств.

1.5. Выводы по главе 1

1. К существенному преимуществу односводчатых станций со сводами из железобетонных блоков, опирающихся на монолитные опоры, следует отнести рациональное объемно-планировочное решение станционного комплекса за счет размещения в едином конструктивном объеме всех вспомогательных сооружений и устройств, обеспечивающих четкую организацию движения поездов, удобное и безопасное обслуживание пассажиров.

2. В процессе достаточно длительной эксплуатации односводчатых станций (на сегодняшний день более 30 лет) выявлены негативные проявления, снижающие уровень технического состояния встроенных конструкций.

3. Специфика совместной работы обделки односводчатых станций и встроенных сооружений и обустройств, обусловила необходимость совершенствования существующих проектных решений встроенных конструкций и разработку новых.

4. Особую актуальность приобретают исследования процессов деформирования обделок односводчатых станций, анализ совместности работы несущей обделки и встроенных конструкций с целью разработки конструктивных решений внутренней встроенной инфраструктуры и технических мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность станционных комплексов в процессе длительной эксплуатации.

2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ И ОБУСТРОЙСТВ, ВСТРОЕННЫХ В ОДНОСВОДЧАТЫЕ СТАНЦИИ

2.1. Предварительное обследование текущего состояния встроенных конструкций односводчатых станций (с момента ввода в эксплуатацию и до 2000 г.)

С момента введения в эксплуатацию первых двух станций в 1975 году и до 1986 года специальных плановых комплексных обследований несущих и встроенных конструкций односводчатых станций не проводилось. Периодические осмотры станций выполнялись в рамках текущего содержания, а в случаях выявления серьезных дефектов к осмотрам и обследованиям поврежденных конструкций привлекался Генпроектировщик (проектный институт «Ленметрогипротранс»). По мере выявления дефектов встроенных конструкций проводился выборочный ремонт отдельных узлов и конструкций.

Текущая эксплуатация первых двух, введенных в эксплуатацию в 1975 году, станций «Площадь Мужества» и «Политехническая» первые два года происходила на фоне отсутствия каких-либо повреждений несущей обделки и внутренних конструкций. Общеувязочный чертеж станций «Площадь Мужества» и «Политехническая» приведен на рисунке 2.1. На этих станционных комплексах встроенные сооружения отсутствовали (СТП, служебные помещения, рамы проходов к эскалаторам). Участок обделки односводчатой конструкции расположен только в пределах островной пассажирской платформы, ограниченной с одной стороны торцевой стеной с проемом к эскалатору, а с другой – торцевой стеной, перед которой расположено несколько встроенных служебных помещений (около 8м).

Через два года эксплуатации (в 1977 году) были выявлены отдельные локальные нарушения облицовки путевых и торцевых стен, а в 1978 году повреждения на некоторых участках водоотводящих зонтов и перегородок в зоне служебных помещений. Ремонтные работы на отдельных участках облицовочных

План станции

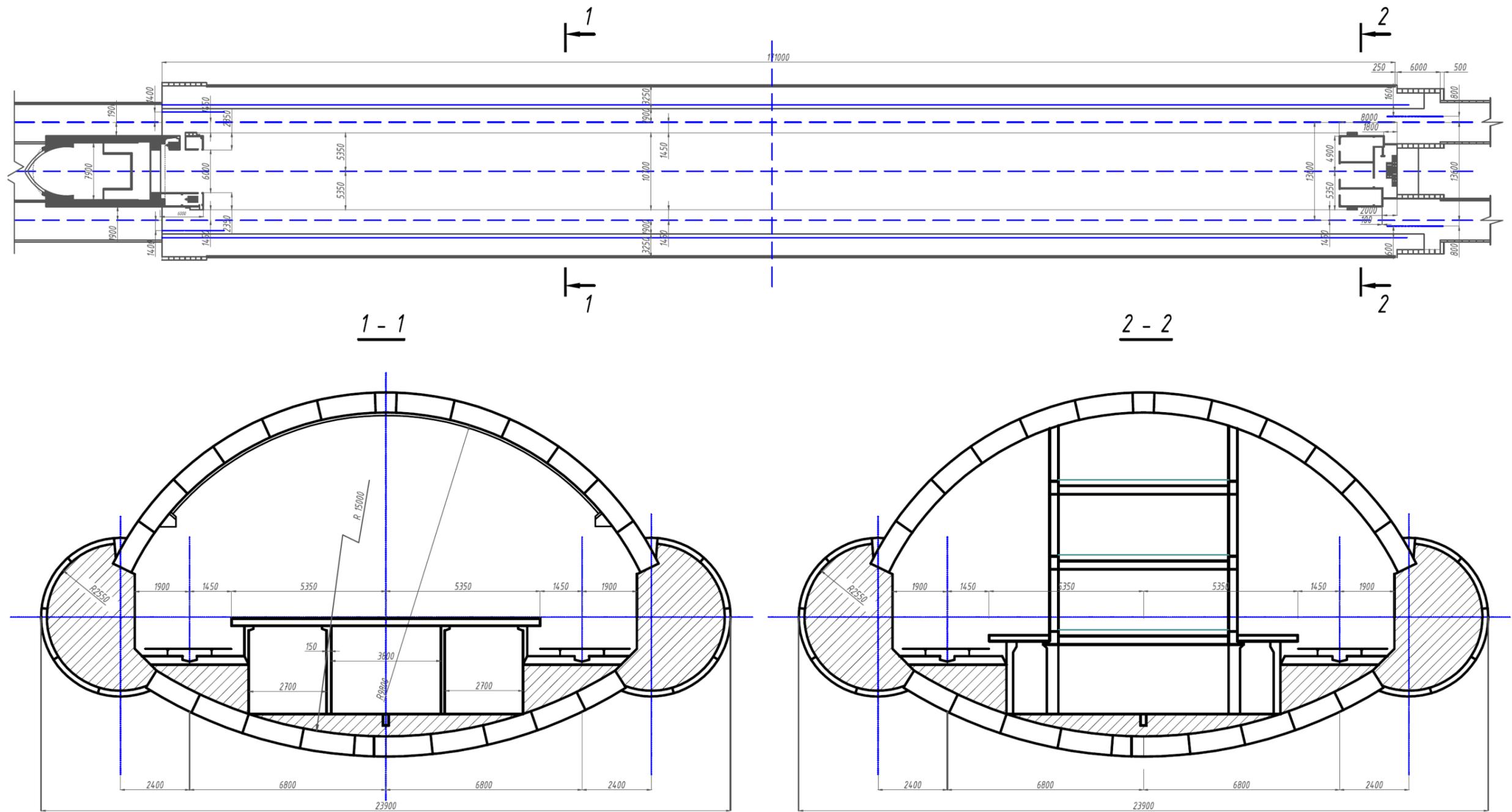


Рисунок 2.1 – Общевязочный чертеж станций «Площадь Мужества» и « Политехническая»

покрытий, стыков водоотводных зонтов и перегородок в служебных помещениях были выполнены силами метрополитена. В дальнейшем серьезных проблем при эксплуатации первых двух станций не возникало, станции находились в исправном состоянии и обеспечивали нормативную эксплуатацию сооружений, пути и устройств.

Третья односводчатая станция «Обухово» была введена в эксплуатацию в 1981 году. В конструкцию станции были внесены изменения: уменьшена толщина блоков обратного свода до 400 мм (вместо 700 мм) и увеличен радиус обратного свода до 22750 мм (вместо 15000 мм), за исключением участка натяжной камеры, где обратный свод оставлен радиусом 15000 мм. Таким образом, конструкция станции являлась переходной между первыми двумя станциями и последующими конструктивными решениями с платформой 11,7 м (см. рисунок 1.12).

Как отмечалось ранее, на этой станции, впервые в практике проектирования и строительства односводчатых станций глубокого заложения под единым сводом, кроме пассажирской островной платформы, расположили встроенные служебные помещения и совмещенную тягово-понижительную подстанцию (СТП). Конструкция отделки всего комплекса аналогична конструкции отделки, принятой для участка с пассажирской платформой.

Через год после пуска на станции отмечалось отставание мраморной облицовки путевых стен по обоим главным путям (рисунок 2.2). Этот процесс продолжался вплоть до 1986 года и требовал проведения регулярных работ по отступиванию облицовки и закреплению бунящих участков специальными анкерами (рисунок 2.3).

В октябре 1984 года после 3-х лет эксплуатации появились повреждения стен и перегородок в помещениях СТП и блока служебных помещений (ВСП) в виде трещин протяженностью от 0,5 м до 3,0 м с раскрытием 2...3 мм. Количество трещин, их длина и величина раскрытия постоянно увеличивались. Разрушение маяков, установленных на трещины, происходило с интервалом от 1-го до 4-х месяцев.

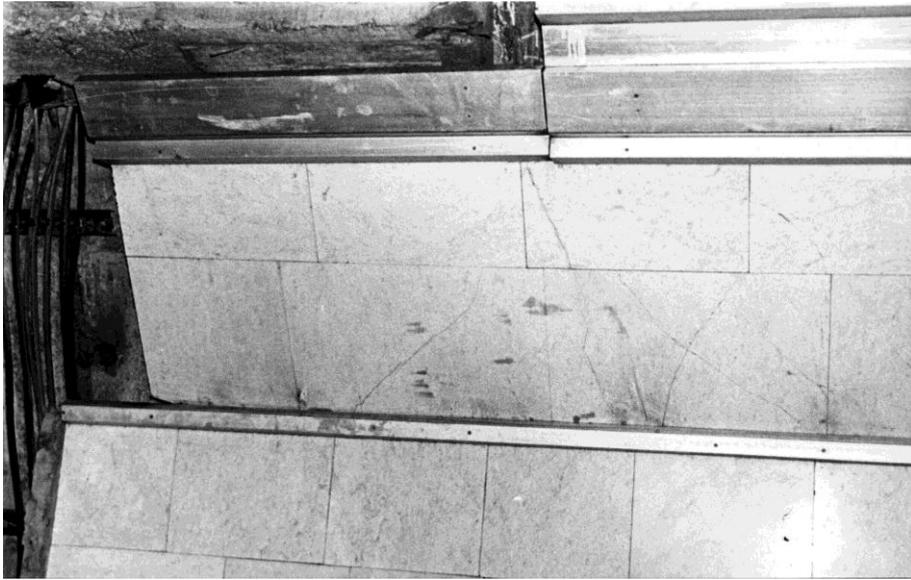


Рисунок 2.2 – Отслоение мраморной облицовки



Рисунок 2.3 – Закрепление бунящих участков специальными анкерами

В июле 1985 года поврежденные конструкции были обследованы тоннельно-обследовательской испытательной станцией (ТОИС) главного управления метрополитенов. В ходе обследования было зарегистрировано до 60 повреждений конструкций СТП и встроенных помещений. Основными видами повреждений

были трещины стен и перегородок протяженностью до 4 м и раскрытием до 15,0 мм. В отдельных местах кирпичных стен образовались вывалы. Характерные виды повреждений приведены на рисунках 2.4...2.6.



Рисунок 2.4 – Вывал в кирпичной стене. Коридор блока служебных помещений (БСП)



Рисунок 2.5– Смятие стены мастерской перекрытием второго этажа и повреждение лестничного марша



Рисунок 2.6 – Продавливание зонта кламмером в СТП

По результатам обследования институт Ленметрогипротранс разработал техническое решение по разгрузке стен СТП и БСП путем вырубке верха стен на величину 150 мм. Вид стены после вырубке показан на рисунке 2.7. Однако, в ходе дальнейшей эксплуатации (в конце 2005 – январе 2006 года) были обнаружены сквозные трещины в консолях второго этажа СТП с раскрытием до 5...10 мм (рисунок 2.8). Вероятной причиной послужили дополнительные нагрузки от колонн, опирающихся на консоли и доведенных вплотную до верхнего свода. Поэтому, было принято и осуществлено решение о вырубке верха колонн для предотвращения дальнейшего разрушения консолей.



Рисунок 2.7– Вид стены после вырубке и устройства заполнения пенопластом



Рисунок 2.8 – Сквозные трещины в консолях второго этажа СТП

Следует особо отметить, что длительный характер образования повреждений и медленный темп проведения работ по их восстановлению отрицательно сказался на функционировании оборудования СТП и условиях труда обслуживающего персонала. Вследствие длительного хранения строительных материалов, разрушений штукатурных покрытий, вырубки стен и перегородок были существенно увеличены запыленность оборудования, загрязнение служебных помещений, увеличена пожароопасность, что в итоге ставило под угрозу безопасность эксплуатации..

Три следующих односводчатых станции - «Черная речка», «Пионерская» и «Удельная» - были введены в эксплуатацию 6 ноября 1982 года. Конструкция этих станций была принята как типовое решение для всех построенных в последующем односводчатых конструкций (см. рисунок 1.12). Помимо корректировок, осуществленных в конструкции станции «Обухово», новые станции были выполнены с верхним сводом радиусом 10500 мм. Это позволило увеличить ширину платформы с 10,7 м до 11,7 м. В дальнейшем очертание и характеристики обделки

всех строящихся односводчатых станций более не изменялись, за исключением станций «Озерки» и «Садовая», где по условиям заложения был применен обратный свод радиусом 15000 мм (см. таблицу 1.1).

Планировочные и конструктивные решения всех трех станций были, в принципе, аналогичны принятым для станции «Обухово». Под единым сводом располагались пассажирская островная платформа, встроенные служебные помещения (ВСП) и совмещенная тягово-понижительная подстанция (СТП) (см. рисунок 1.18). На станции «Удельная» дополнительно под единым сводом размещена камера перекрестного съезда для оборота поездов. Над съездом расположена дополнительная группа встроенных служебных помещений. Конструкция обделки постоянна на протяжении всего комплекса сооружений.

Первые повреждения стен и перегородок СТП на этих станциях обнаружены в апреле 1984 года, т.е. через полтора года после введения станций в эксплуатацию. Повреждения, в основном, выразились в смятии стен и перегородок по контакту свода основной обделки и встроенных конструкций. В некоторых стенах образовались вывалы. Наиболее характерные дефекты приведены на рисунках 2.9...2.14.

Институтом Ленметрогипротранс было принято решение о вырубке стен СТП и ВСП по контакту со сводом обделки и разработаны решения по усилению стен ВСП. Работы по вырубке стен были произведены в 1984 году на СТП-29 (ст. «Черная речка»), СТП-30(ст. «Пионерская») и СТП-31 (ст. «Удельная»).

Однако в апреле 1985 года были обнаружены новые повреждения стен, внутренних перегородок, полов в СТП и в подплатформенных служебных помещениях, а также деформации гранитной облицовки полов платформы. Одновременно с этим, отмечались опасные смещения (подъем) головок рельсов до 16 мм, вместо допускаемых 4 мм. При наличии зазора между стенами и колоннами встроенных конструкций выявленные нарушения позволяют предположить, что причина их возникновения - подвижки блоков обратного свода и опор обделки станции.



Рисунок 2.9 – Трещина по стене и вывал на ст. «Черная речка» СТП-29

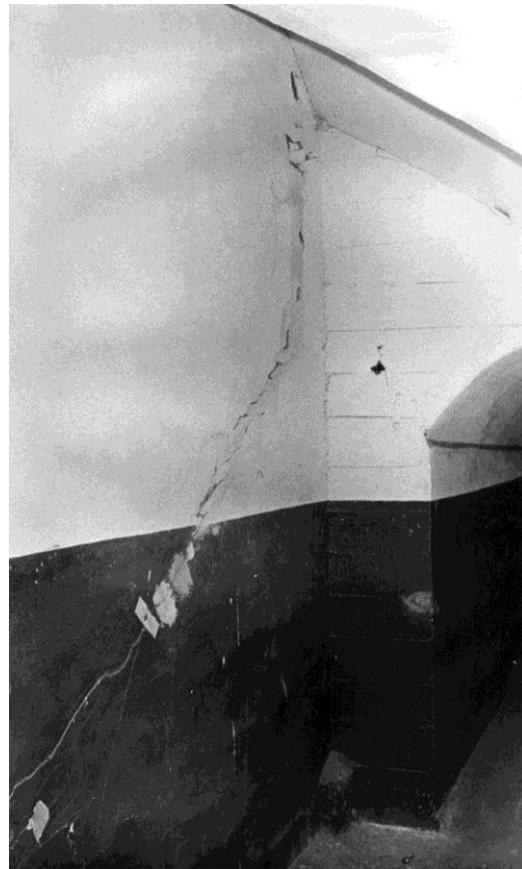


Рисунок 2.10 – Наклонная трещина по стене. Ст. «Удельная» СТП-31

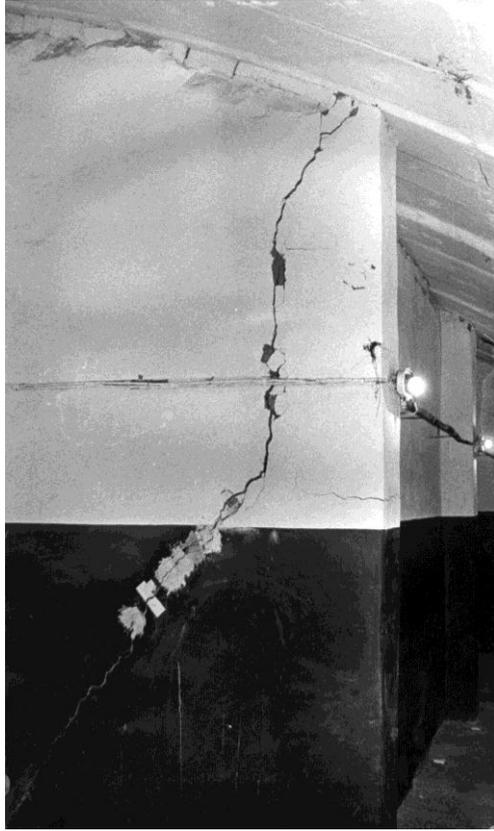


Рисунок 2.11 – Трещина по стене. Ст. «Удельная» СТП-31

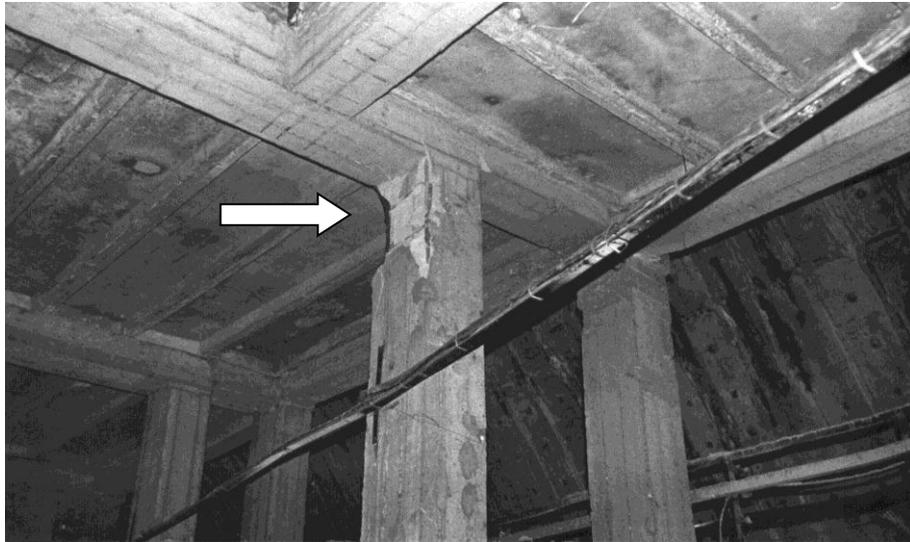


Рисунок 2.12 – Ст. «Удельная», съезд. Разрушение защитного слоя бетона колон с обнажением арматуры

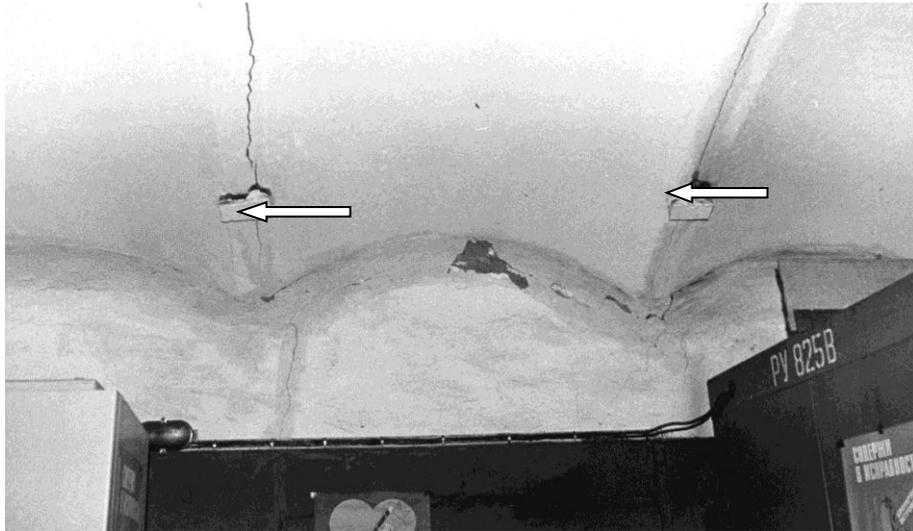


Рисунок 2.13 – Трещины по стыкам зонтов и выдавливание кламмеров. Станция «Черная речка», СТП-29



Рисунок 2.14 – Трещина по монолитному перекрытию и в зоне примыкания колонны к стене. Станция «Черная речка»

По результатам предварительного анализа всех выявленных повреждений в станциях постройки по 1985 год включительно, стало очевидно, что в основной обделке и встроенных в ее объем конструкциях, происходят процессы, не учтен-

ные при разработке проектных решений. В результате через полтора года после ввода станций в эксплуатацию техническое состояние встроенных конструкций приближалось к категории «недопустимое». Поэтому, в 1986 году совместным приказом Министерства путей сообщения и Министерства транспортного строительства от 04.08.1986 г. № 27-ЦЗ/271-ОР, была создана комиссия по определению причин и характера деформаций конструкций односводчатых станций глубокого заложения на Ленинградском метрополитене, а также по установлению уровня технического состояния встроенных конструкций с целью оценки степени опасности выявленных нарушений для движения поездов, эксплуатационного персонала и пассажиров.

Комиссия осмотрела 9 эксплуатирующихся на тот момент станций глубокого заложения и провела анализ проектной исполнительной и эксплуатационной документации. Основное внимание было уделено станции «Обухово» 1981 года постройки и станциям «Черная речка», «Пионерская» и «Удельная», эксплуатирующимся с конца 1982 года, так как эти станции имели наибольшее количество повреждений.

Из заключения комиссии следует, что основными причинами повреждений являются:

- незатухающее в течение длительного времени силовое взаимодействие обделки станции и грунтового массива, и, как следствие, длительные деформации не только верхнего, но и обратного сводов после сдачи объекта в эксплуатацию;

- недостаточная изученность деформированного состояния многосводчатых сводов, опирающихся на массивные опоры, расположенные в твердых глинах, и отсутствующая в связи с этим нормативная документация, регламентирующая порядок расчета, конструирования и строительства станций с учетом наличия встроенных конструкций;

- наличие непосредственного контакта между элементами конструкций ВСП и СТП и верхним сводом станции, что приводит к повреждениям встроенных конструкций при развитии деформаций сводов;

- возможное некачественное обжатие обратного свода, позволяющее поворот опорных узлов, а также отставание в подведении обратного свода при строительстве ряда станций до 6 месяцев, вместо проектных 30-ти суток.

Комиссия рекомендовала выполнить следующие мероприятия:

- все конструкции ВСП и СТП не должны иметь контакта с верхним сводом станции, а зазор между ними обеспечивать свободное смещение свода в течении всего периода эксплуатации;

- изменить технологию обжатия на породе обратного свода, введя два узла разжатия в четвертях пролета;

- произвести работы по ликвидации дефектов в действующих станциях;

- разработать новое проектное решение СТП с учетом выявленных в ходе эксплуатации повреждений, усилив пространственную жесткость встроенных конструкций;

В период с 1986 по 2000 годы были произведены в различном объеме ремонтные работы по обеспечению работоспособности встроенных конструкций на действующих станциях, на что были затрачены значительные средства. Например, только на капитальный ремонт станции «Удельная» в 1998г. израсходовано 11 500 тыс. рублей (80 500 тыс. рублей в текущих ценах). Однако, несмотря на выполненные ремонтные мероприятия и корректировки проекта в части исключения контакта встроенных конструкций с верхним сводом, введение обжатия обратного свода в четвертях свода и ряд других мероприятий, определенные негативные процессы, хотя и в меньшей степени, продолжали проявляться, как на уже отремонтированных станциях, так и на станциях, вновь вводимых в эксплуатацию.

Таким образом, стало очевидно, что без специальных исследований, определяющих характер силового взаимодействия встроенных конструкций с обделкой станции, решить проблему обеспечения эксплуатационной надежности односводчатых станций не представляется возможным.

2.2. Классификация выявленных дефектов элементов обделки и встроенных конструкций односводчатых станций

Обследование технического состояния подземных станций метрополитена, проведенное на первом этапе исследований, выполнялось с целью выявления дефектов и повреждений строительных конструкций, приобретенных в ходе эксплуатации, определения причин их возникновения и разработки мероприятий по их ликвидации.

Односводчатая станция является, по сути, сложной взаимосвязанной системой несущих и встроенных конструкций различного типа. К несущим конструкциям, обеспечивающим создание и устойчивость основного эксплуатационного объема, относятся верхний и обратный своды, массивные опоры, на которые эти своды опираются, и торцевые стены. В этот объем по различным конструктивным схемам встроены разнотипные строительные конструкции, обеспечивающие возможность использования основного строительного объема как функционального транспортного сооружения. К ним относятся конструкции пассажирской платформы, служебных помещений, станционной тяговой подстанции (СТП), узла соединения станции с эскалаторным комплексом, затворной камеры, а также жесткое основание пути, защитные зонты, отделочные покрытия. Все эти конструкции контактируют, опираются или встраиваются в основную несущую обделку по различным конструктивным схемам и принципам.

Очевидно, что повреждения и деформации основной несущей обделки оказывают непосредственное влияние на техническое состояние встроенных конструкций. Так как значительный объем несущих конструкций станции недоступен для непосредственного обследования (например, декоративные зонты, жесткое основание, путевой бетон не дают возможности осмотра большей части верхнего и обратного сводов), поэтому оценить техническое состояние несущей обделки и процессы, в ней происходящие, можно только по характеру деформаций и разрушений встроенных конструкций.

С другой стороны, дефекты и разрушения встроенных конструкций могут иметь полностью самостоятельный характер и быть вызваны строительным браком, ошибками при проектировании или иными причинами.

Таким образом, причины дефектов в элементах отделки и повреждения встроенных конструкций можно классифицировать как **силовые и производственные**.

Силовые повреждения отделки станции вызваны воздействием горного давления, а встроенных конструкций - деформациями верхнего и обратного сводов при отсутствии зазоров между верхним сводом и несущими элементами встроенных конструкций, поворотами опор, т.е. являются прямым следствием воздействия отделки на встроенные конструкции при ее деформировании.

К силовым повреждениям конструкций отделки станции следует отнести имеющие место трещины и сколы стыков блоков, деформации верхнего и обратного сводов, смещения опор, деформации жесткого основания.

К силовым повреждениям встроенных конструкций следует отнести различные виды нарушения внутренних конструкций, вызванные деформациями отделки. К ним относятся раздавливание стен и перегородок между сводами, деформации и разрушения каркасов служебных помещений и СТП, дефекты строительных конструкций пассажирских платформ, деформации и разрушения зонтов, облицовочных покрытий.

Производственным дефекты отделки и встроенных конструкций вызваны строительным браком, отступлениями от проекта, применением некачественных материалов или снижением несущей способности вследствие изменения прочностных характеристик материалов в процессе эксплуатации.

Схема классификации дефектов и виды их проявления приведены на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Классификация дефектов и повреждений строительных конструкции односводчатых станций

Характер и особенности дефектов и повреждений встроенных конструкций, выявленные на этапе предварительного обследования их текущего состояния, и появление новых нарушений в процессе дальнейшей эксплуатации станций, обусловили проведение специальных обследований с целью:

- выявления причинно-следственных связей снижения эксплуатационной надежности встроенных сооружений;
- оценки их технического состояния;
- разработки научно обоснованных рекомендаций по составу ремонтных мероприятий;
- корректировки объемно-планировочных и конструктивных решений.

2.3. Техническое диагностирование сооружений и обустройств, встроенных в односводчатые станции

В связи с тем, что, несмотря на выполненные ремонтные мероприятия по ряду станций, введенных в эксплуатацию до 1986 года, в ходе текущего содержания постоянно отмечалось появление новых или развитие ранее выявленных дефектов, руководством ГУП «Петербургский метрополитен» в 2000г. было принято решение о проведении технического диагностирования всех действующих односводчатых станций. В соответствии с ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика» и ГОСТ27.002-89 «Надежность в технике» под руководством автора настоящей диссертационной работы была разработана программа технического диагностирования. Основная концепция, определяющая содержание программы и объем исследований: станционный комплекс является, по сути, сложной взаимосвязанной системой «грунтовый массив - обделка станции - встроенные конструкции». В соответствии с этой концепцией, программа включала решение следующих задач:

- выявление дефектов обделки и встроенных конструкций эксплуатируемых односводчатых станций путем выполнения визуальных и инструментальных обследований;

- оценка текущего технического состояния конструкций на станциях, где ранее были проведены обследования и ремонты внутренних конструкций;
- установление закономерности процесса деформирования системы «обделка станции - встроенные конструкции» в течение продолжительного времени эксплуатации станционных комплексов.
- расчетно-теоретические исследования деформированного состояния обделок станций и прогноз возможного влияния деформаций несущей обделки на внутренние конструкции;
- анализ результатов проведенных исследований;
- разработка рекомендаций по ликвидации дефектов, текущему содержанию и организации контроля технического состояния эксплуатируемых односводчатых станций;

Специальные обследования проводились по методике, изложенной в «Правилах обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», утвержденных Госстроем России (СП 13-102-2003) [79].

Методика предусматривает следующие категории технического состояния несущих тоннельных конструкций.

Работоспособное состояние, при котором некоторые из численно оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта, норм и стандартов, но имеющиеся нарушения требований, например, по прочности или деформативности, в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению функционирования конструкций, и их несущая способность, с учетом влияния имеющихся дефектов, обеспечивается.

Ограниченно работоспособное состояние, при котором имеются дефекты, приведшие к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения и функционирование конструкции возможно при контроле ее состояния в условиях длительной эксплуатации.

Недопустимое состояние строительной конструкции и сооружения в целом, характеризуется снижением несущей способности и эксплуатационных характеристик, при котором существует опасность для пребывания людей и для

движения транспорта (необходимо проведение страховочных мероприятий и усиление конструкций).

Аварийное состояние строительной конструкции и сооружения в целом, характеризующееся дефектами и деформациями, свидетельствующими об истощении несущей способности и опасности обрушения (необходимо проведение срочных противоаварийных мероприятий).

Идентификация технического состояния обделки и встроенных конструкций с одной из приведенных категорий являлась в дальнейшем основой для принятия технических решений по выбору ремонтно-оздоровительных мероприятий и поддержания тоннельных конструкций в исправном состоянии.

В состав специальных обследований входили следующие работы:

1. Визуальное освидетельствование конструкций с составлением карт дефектов и дефектных ведомостей;

2. Инструментальные исследования в составе:

- определение прочностных характеристик бетона конструкций методами неразрушающего контроля и путем непосредственного испытания образцов;

- определение параметров армирования конструкций и толщины защитного слоя;

- замеры прогибов и отклонений элементов строительных конструкций;

- определение коррозионного износа металлических конструкций и арматуры в местах разрушения защитного слоя.

3. Выполнение расчетно-теоретических исследований обделки обследуемых односводчатых станции с учетом наличия встроенных конструкций.

4. Анализ величин деформаций сводов и смещений опор с учетом фактической глубины заложения станций и оценка их влияния на состояние встроенных конструкций на различных участках станционного комплекса.

С 2001 по 2006 г.г. были последовательно выполнены обследования станций: «Черная речка», «Пионерская», «Новочеркасская», «Обухово», «Озерки» (2001...2003 г.), «Удельная», «Площадь Мужества», «Спортивная», «Садовая», «Лиговский проспект» (2004...2006 г.) [56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66].

Таким образом, было выполнено обследование 10-ти из 14 эксплуатируемых станций. В их число входили как станции, на которых были в 1985...1987 г.г. выполнены ремонтные работы и мероприятия по разгрузке встроенных конструкций, так и позднее возведенные станции, где встроенные конструкции были частично изменены на основании обследований и выводов 1985...1986 г.г.

Объем диссертационной работы не позволяет детально описать результаты обследования всех станций, поэтому ниже в качестве примеров приводятся результаты обследования лишь отдельных станций, на которых выявлены наиболее характерные и массовые дефекты.

Компоновочные решения встроенных конструкций на различных станциях несколько отличаются друг от друга в зависимости от объемно-планировочного решения, но в целом встроенные конструкции можно разделить на 4 характерных блока (см. рисунок 1.18, гл. 1). В состав первого входят встроенные конструкции зоны натяжной камеры (лобовые перегородки, рамы и обстройки проходов к эскалаторам, путевые стены, незначительный объем служебных помещений). В состав второго блока - конструкции посадочной платформы, подплатформенных помещений и кабельных подплатформенных коллекторов. В состав третьего – конструкции зоны служебных помещений, расположенных в конце посадочной платформы, четвертого – конструкции совмещенных тяговых подстанций (СТП).

2.4. Характерные дефекты обделки станции и встроенных конструкций, возникающие в процессе длительной эксплуатации

Обделка станций.

Следует отметить, что в ходе обследования односводчатых станций выявлено весьма незначительное количество дефектов самой несущей обделки. Основные дефекты представлены отдельными сколами блоков, вероятно полученными еще в ходе монтажа и обжата обделки. Также присутствуют участки кольцевых стыков с отсутствием чеканки, из которых выдавливается увлажненный материал по структуре и свойствам напоминающий торф. Анализ показал, что этот материал представляет собой перегнившую паклю, которой были уплотнены стыки при производстве нагнетания за арки верхнего свода.

Встроенные конструкции.

Описание выявленных дефектов и повреждений встроенных конструкций рационально проиллюстрировать по вышеприведенным характерным блокам на примере обследованных станций.

Несущие конструкции торцевых перегородок и рам проходов к эскалатора.

Одной из станций, во внутренних конструкциях которой были наиболее ярко выражены различные повреждения в этой зоне, являлась станция «Пионерская» [60. 61]. Станция сдана в эксплуатацию в ноябре 1982 года, под единым сводом скомпонованы участок подходного коридора от эскалаторов к платформе, платформенный зал, санитарно-бытовые помещения ГО, блок служебных помещений (ДСП) и СТП. Компоновочное решение станции приведено на рисунке 1.13 (см. гл.1) как типовое проектное решение для конструкций постройки до 1986 года включительно.

Обследование станции, выполненное в 2002 году, выявило значительное повреждение встроенных конструкций на всех участках станционного комплекса,

но одной из основных причин первоочередного обследования станции явилось наличие серьезных разрушений железобетонной мембраны торцевой перегородки и деформации рам обрамления прохода к эскалаторам.

Проектное решение конструкция торцевой перегородки (рисунок 2.16) представляет собой жесткую распорную систему в составе монолитной железобетонной арки 1, прилегающей без зазоров к блокам верхнего свода станции; надпутевых балок 2, одним концом омоноличенных с аркой, другим – жестко связанных с железобетонными стойками 3 и 4; в верхней части стоек к ним примыкают две распорные арки (5 и 5а). Стойки 3 заделаны в жесткое основание. В зоне подплатформенных коллекторов выполнены монолитные балки 8. На эти балки через платформу опираются стойки 4. Пяты арки выполнены в виде металлического листа, приваренного к закладному металлическому листу на опорах. Пространство между аркой 1, балками 2 и аркой 5 перекрыто железобетонной мембраной толщиной 100 мм, армированной металлической сеткой.

Мембрана в ходе эксплуатации получила сквозные повреждения и трещины (рисунки 2.17 и 2.18), наблюдалась постоянная тенденция их увеличения. Повреждения мембраны сопровождалась деформированием дверного проема и участка стены пешеходного прохода к эскалаторам (рисунок 2.19), свидетельствующие о происходящих деформациях стоек рам обрамления проходов к эскалаторам.

Как видно из представленных фотографий и карты дефектов, основные разрушения приурочены, в основном, к одной стороне мембраны, что могло свидетельствовать, в том числе, о несимметричном деформировании несущей отделки станции.

Деформации и разрушения мембраны и конструкций обрамления прохода к эскалаторам в условиях передвижения значительных масс пассажиров представляло угрозу нормальной эксплуатации станции.

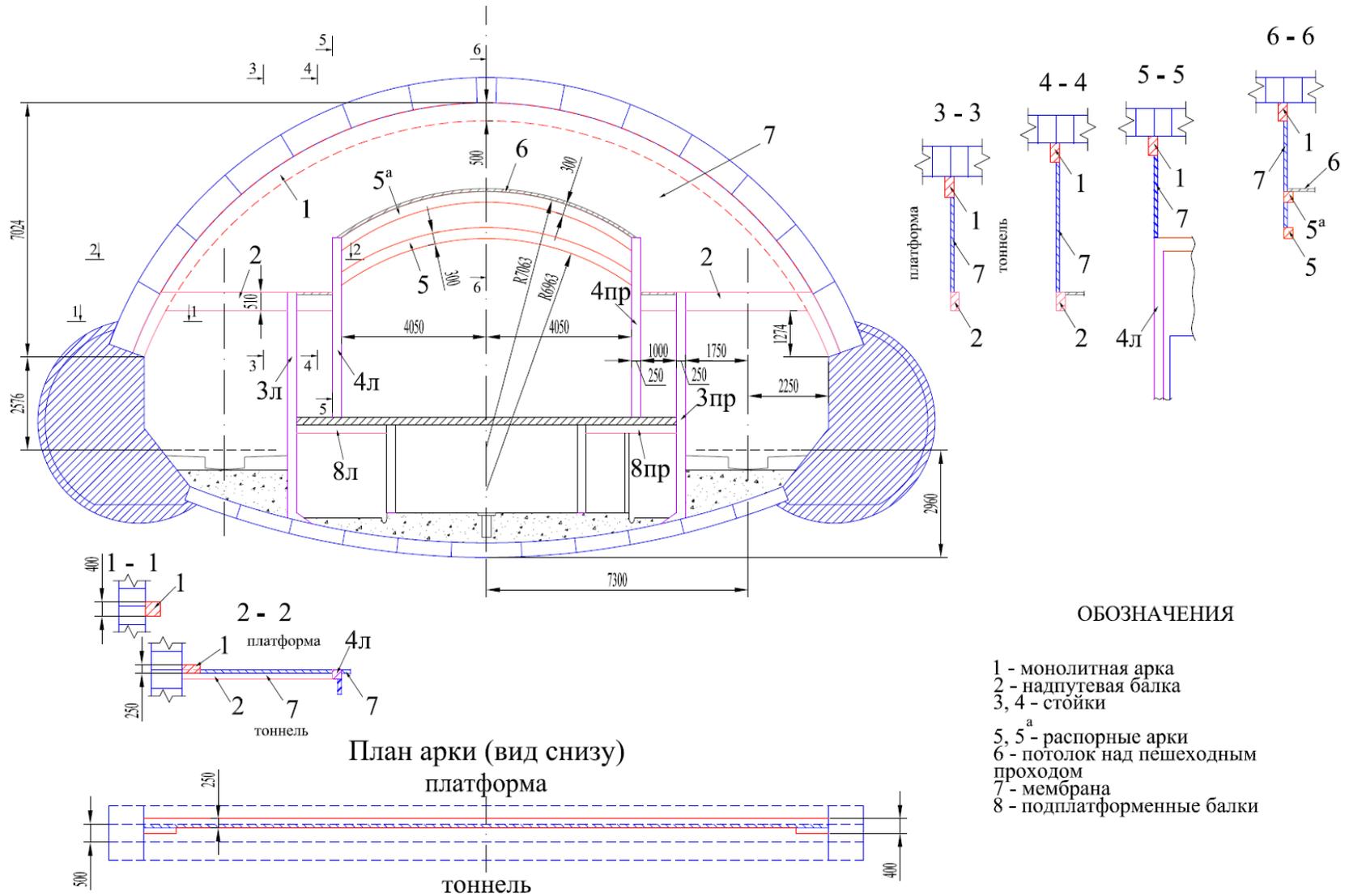


Рисунок 2.16 – Конструктивное решение торцевой перегородки (вид со стороны путевых тоннелей)

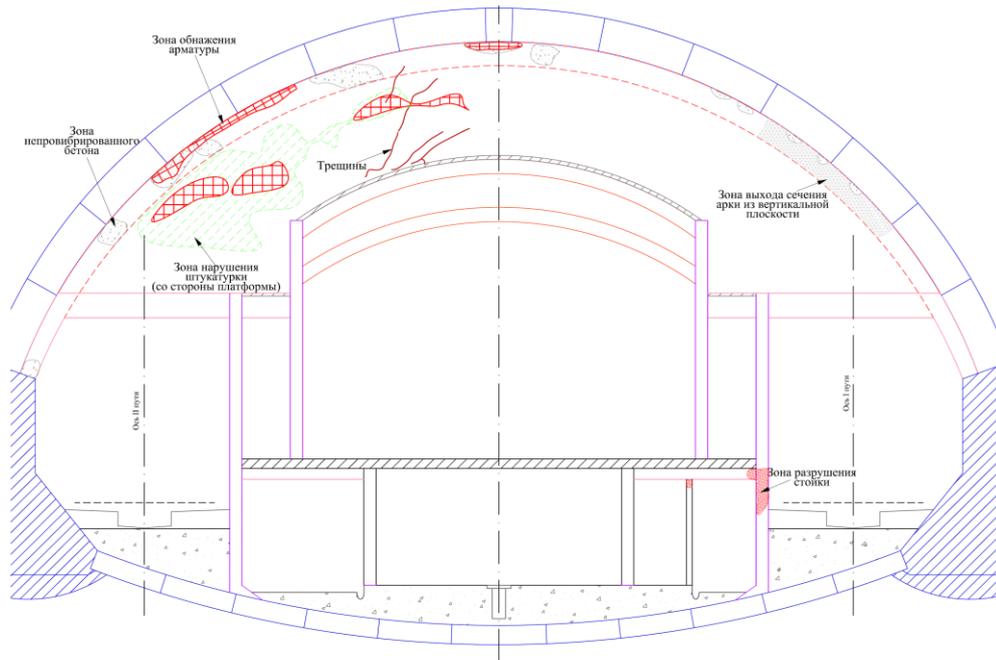


Рисунок 2.17 – Карта дефектов торцевой перегородки(вид со стороны путевых тоннелей)



Рисунок 2.18 – Разрушение лобовой железобетонной мембраны. Вид со стороны тоннеля



Рисунок 2.19 – Деформации дверного проема и участка стены пешеходного перехода к эскалаторам

Результаты обследования арки, мембраны и рам прохода выявили, что при строительстве были допущены серьезные нарушения при выполнении опалубочных и бетонных работ. Бетонирование арки выполнено с низким качеством. Имеют место многочисленные зоны обнажения арматуры и зоны непровибрированного и некачественного бетона, представляющие, по существу, пористую структуру из крупного заполнителя, схваченного цементным молоком (рисунки 2.20 и 2.21).

Геометрические параметры арки не выдержаны: она «завалена» из вертикальной плоскости. Отклонение арки от вертикальной плоскости от уровня пяты до шельги свода составил в левой части (II путь) около 420 мм, в правой части (I путь) – 250 мм. Линия смещения арки абсолютно четко прослеживается по линиям стыков колец верхнего несущего свода.



Рисунок 2.20 – Обнажения рабочей арматуры монолитной арки



Рисунок 2.21– Участок непровибрированного бетона монолитной арки

Обследование несущих конструкций рамы торцевой перегородки выявило разрушение участка опорной стойки 3пр от уровня платформы до уровня головки рельсов I пути (рисунок 2.22).



Рисунок 2.22 – Разрушение участка опорной стойки в уровне подплатформенных коллекторов

Разрушение вызвано крайне низким качеством бетона: прочность бетона в уцелевших частях не превышает 4...7 МПа (вместо проектных 30 МПа). Так же выявлено разрушение верха перегородки кабельного коллектора в зоне примыкания к подплатформенной балке.

Полученные результаты обследования и анализ данных текущего содержания станции за время эксплуатации позволили установить причину повреждений рамы надпутевого прохода и железобетонной мембраны. Начало деформаций приурочено к периоду деформирования верхнего свода в первые годы эксплуатации станции. Вследствие некачественного бетонирования подсводной арки, она сдемпфировала эти смещения. Однако можно предположить, что жестко закрепленная к арочно-балочной системе торцевой перегородки железобетонная мембрана получила при этом начальные смещения и в ней возникли микротрещины, не приведшие на этой стадии к ее разрушению.

В ходе дальнейшей эксплуатации происходило поднятие обратного свода, которое наблюдалось не только на ст. Пионерская, но и на ряде других станций

этого периода постройки ("Черная речка", "Обухово"). Следы поднятия обратного свода хорошо просматриваются как на некоторых внутренних конструкциях зоны торцевой стены (рисунок 2.23), так и в зоне СТП. По этой же причине на станции "Пионерская" уже в 1997 г был выполнен ремонт платформы с полной заменой покрытия. Поднятие обратного свода обусловило дальнейшие смещения несущих конструкций торцевой перегородки. В результате смещений стоек и связанной с ними надпутевой балки в сторону верхнего свода, в левой части торцевой перегородки (II путь) жесткая железобетонная мембрана частично разрушилась, частично подверглась растрескиванию.

В несущих конструкциях правой части торцевой перегородки (I путь) произошло разрушение участка опорной стойки от уровня платформы до уровня головки рельсов I пути. Разрушение стойки компенсировало поднятие обратного свода в этой части, поэтому жесткая железобетонная мембрана с этой стороны торцевой перегородки не получила дополнительных смещений и не подверглась разрушению и растрескиванию.

В ходе деформирования стойки получили также небольшой перекосяк в сторону наклонного хода, который хорошо просматривается по деформации дверного проема и участка стены пешеходного прохода к эскалаторам (см. фото на рисунке 2.19).

Парадоксальным фактом является то, что в данном конкретном случае низкое качество выполнения работ строительной организацией сыграло скорее положительную роль, позволив демпфировать усилия от верхнего и обратного свода и предотвратить аварийное разрушение несущих конструкций железобетонной рамы и мембраны.



Рисунок 2.23 – Следы поднятия обратного свода на внутренних конструкциях зоны торцевой стены

В 2003 году по проекту кафедры «Тоннели и метрополитены» ПГУПС был произведен капитальный ремонт торцевой перегородки. В ходе ремонта восстановлена несущая способность разрушенной стойки, произведен ремонт арки, а железобетонная мембрана демонтирована и заменена легкой ограждающей конструкцией из металлопрофиля и профлиста. В ходе текущего содержания станции до 2012 г. никаких новых повреждений лобовой перегородки и элементов рамы прохода не выявлено.

Очевидно, что все имеющиеся повреждения связаны с деформациями верхнего и обратного свода, по существу передавших часть горного давления на подсводную арку и рамные конструкции проходов, не рассчитанные на восприятие таких нагрузок. При этом можно констатировать, что рост деформаций сводов протекал с 1982 года (момента постройки станции) до 2002 года (до момента обследования и ремонта конструкций), т.е. в течение 20-ти лет эксплуатации. Величины деформаций по шельге арки замерить не представлялось возможным. Вели-

чина смещения (сдвига) опорной стойки в зоне разрушения ориентировочно составляет 120...130 мм и, очевидно, равна величине сближения верхнего и обратного свода в этой плоскости.

На станциях «Черная речка», «Ладожская», «Проспект Большевиков» выявлены аналогичные повреждения встроенных конструкций в зоне натяжных камер, но в значительно меньшей степени. Значительная большая интенсивность разрушений в станции «Пионерская» может свидетельствовать, в частности, о некачественном обжатию обратного свода.

В станциях постройки после 1986 года от встроенных в распор со сводами конструкций в зоне натяжных камер отказались.

Пассажирская платформа, подплатформенные помещения и кабельные коллекторы.

Конструкции пассажирских островных платформ идентичны на всех станциях с платформой шириной 11,7 м (см.гл1, рисунок 18, б). Полноборная типовая конструкция платформы состоит из четырех продольных несущих стеновых панелей, перекрытых тремя ребристыми платформенными плитами, по которым выполнена стяжка и уложено покрытие платформы (гранитные или керамогранитные плиты).

Подплатформенные служебные помещения размещены в среднем отсеке номинальной шириной 5 м, разделенном поперечными перегородками на отдельные служебные помещения шириной от 2,5 до 20 м в зависимости от назначения. Помещения имеют продольные несущие стены толщиной около 150 мм и разделительные поперечные перегородки толщиной около 90 мм. Как продольные, так и поперечные стены выполнены из сборных железобетонных панелей номинальной шириной 1,0 м. В верхней части продольных стен имеются уширения, образующие площадки для опирания плит перекрытия платформы.

Картина развития и характер повреждений пассажирских платформ и подплатформенных помещений одинакова для всех обследованных станций и отличается лишь интенсивностью повреждений и сроками их проявления.

По результатам обследований основными дефектами являются:

- деформации облицовочных покрытий платформ;
- нарушение стыков сборных плит покрытия платформы с продольными стенами;
- трещины сдвига в продольных стенах и перегородках служебных помещений;
- трещины в покрытиях полов подплатформенных помещений.

Повреждения покрытия платформ выражены, в основном, в появлении и развитии продольных трещин, расположенных по линиям продольных стен служебных помещений, являющихся промежуточными опорами для опирания плит покрытия платформы.

Анализ материалов обследований и проводившихся в ходе эксплуатации наблюдений позволил построить графики вертикальных деформаций покрытий платформ по продольной оси (центру платформы) и краю платформы для разных станций (рисунки 2.24; 2.25). По оси абсцисс отложено время протекания смещений с момента ввода станций в эксплуатацию.

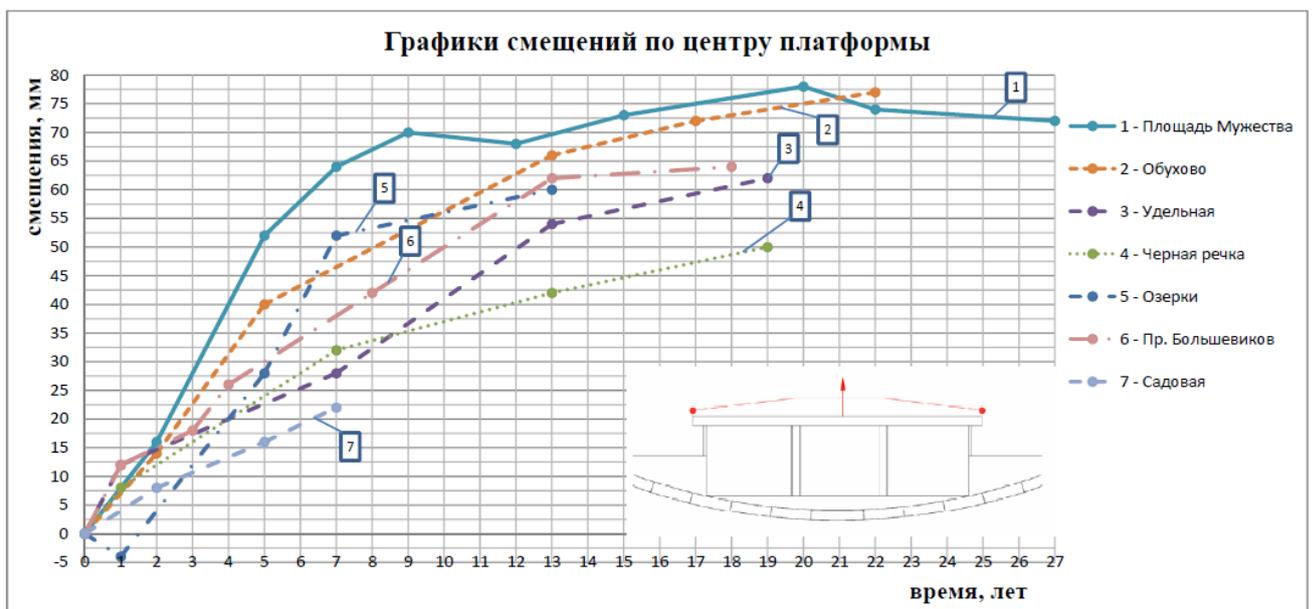


Рисунок 2.24 –Графики смещений по центру покрытия платформ

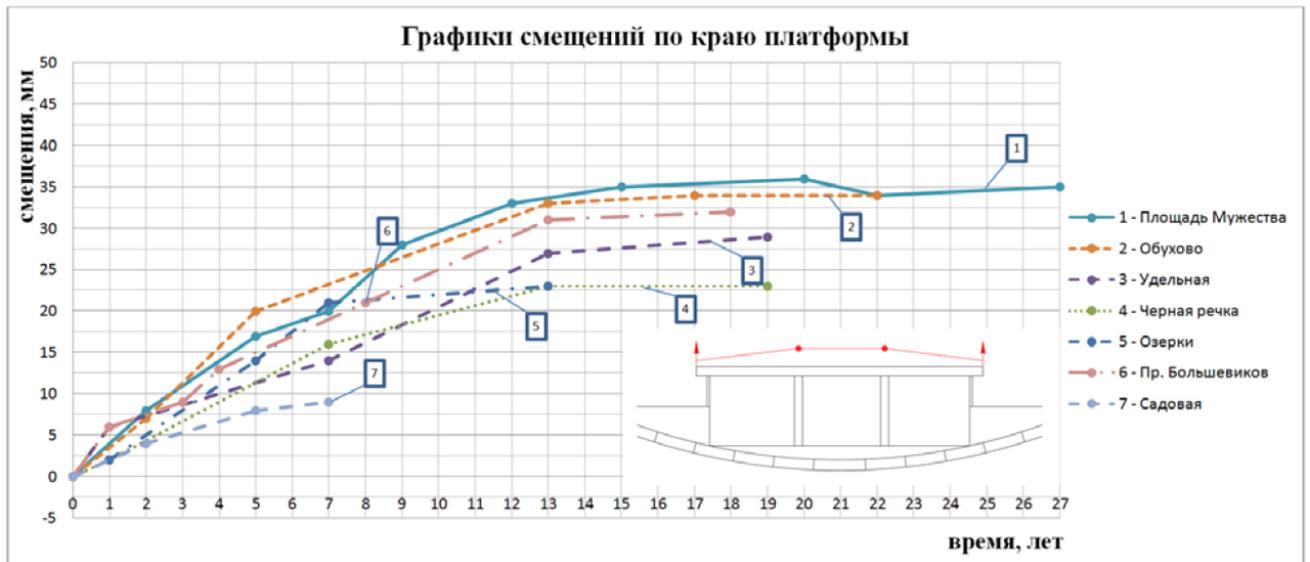


Рисунок 2.25 – Графики смещений по краю покрытия платформы

Анализ графиков показывает, что:

- величина смещений по центру платформы почти в два раза превышает величину аналогичных смещений по краю платформы;
- очевидно, что величинам смещений, зафиксированным по центру платформы, соответствуют величины поднятия продольных стен служебных помещений в плоскости их опирания на блоки обратного свода, а величинам смещений, зафиксированным по краю платформы, соответствуют величины поднятия наружных стен кабельных коллекторов;
- наиболее интенсивно подъем платформы происходит в первые 5 лет после ввода станций в эксплуатацию, постепенно затухая к 12—15 годам эксплуатации.

Массовыми дефектами, обусловленными деформацией обратного свода отделки, являются нарушения в стыках плит покрытия платформ с опорными стенами, на которых уложены облицовочные плиты (рисунки 2.26..2.27), трещины сдвига в поперечных перегородках (рисунок 2.28) и трещины и деформации в жестком основании и полах подплатформенных помещений (рисунок 2.29).

Очевидно, что характер всех повреждений связан с происходившими в ходе эксплуатации деформациями обратного свода. Рассматривая конструкцию каркаса

платформы, можно утверждать, что основной причиной является тот факт, что продольные стены кабельных коллекторов и подплатформенных помещений, являющихся опорами плит покрытия платформы, расположены на точках обратного свода (жесткого основания), претерпевающих различные по величине вертикальные смещения. Об этом также свидетельствует характер деформаций покрытий платформ, максимальные значения которых наблюдаются по линиям стен подплатформенных помещений (см. рисунки 2.24; 2.25).



Рисунок 2.26 – Станция «Лиговский проспект». Нарушение стыков опирания плит покрытия платформы на продольные стены



Рисунок 2.27 – Станция «Ладожская». Трещины и деформации ребер плит в зоне опирания на стены кабельного коллектора



Рисунок 2.28 – Станция «Ладожская». Трещина в поперечной стене между служебными помещениями



Рисунок 2.29 – Станция «Новочеркасская». Деформации (выпучивание) пола вдоль продольной стены кабельного коллектора

На большинстве станций также наблюдался неравномерный подъем пути (превышение вертикальных смещений внутреннего рельса над смещениями наружного).

Встроенные конструкции служебных помещений

Блок служебных помещений в большинстве существующих станций представляет собой встроенную трехэтажную (от уровня платформы) полнокаркасную конструкцию. В зонных станциях с одним выходом на поверхность служебные помещения располагаются в торце платформы перед СТП, размеры в плане составляют $6,5 \times 19$ м, общая высота 12 м (см. рисунок 1.18, в). Каркас выполнен из монолитного железобетона, состоит из семи однопролетных поперечных рам и продольных обвязочных балок. Шаг поперечных рам составляет 3200 мм, перекрытия выполнены в основном из сборных ребристых плит пролетом 2,8 м. В блок служебных помещений входит лестничная клетка, обеспечивающая доступ с платформы в подплатформенные помещения, помещения второго и третьего этажей, а также в СТП. В подвальной части блока размещены концевые части кабельных коллекторов, идущих вдоль станционных путей под платформой, фекальный бак, помещение дренажной перекачки и кладовая ГСМ.

Планировка второго и третьего этажей симметрична относительно продольной оси станции. Вдоль этой оси проходит продольный коридор, справа и слева от которого расположены отдельные помещения. Наружные стены блока служебных помещений выполнены из кирпичной кладки. Стены третьего этажа подведены под водозащитные станционные зонты в станциях постройки до 1986 года без зазоров; начиная с 1986 года во всех станциях стены не доведены до верхнего свода на 150 мм.

Повреждения каркасов и элементов встроенных конструкций примерно аналогичны по типам во всех обследованных станциях, но различны по интенсивности проявления и степени опасности для текущей эксплуатации. Примеры характерных повреждений в настоящем разделе приведены для станций «Пионерская», «Удельная», «Проспект Большевиков», «Ладожская» и «Новочеркасская».

По результатам обследований основными дефектами являются:

- трещины в стенах и перегородках служебных помещений
- трещины в опорных зонах балок перекрытий;

- трещины на стыках колонн с перегородками
- разрушения продольных ребер сборных плит перекрытия;
- раздавливание и разрушения зонтов в зонах крепления опорных столиков к кламмерам, многочисленные разрушения чеканки стыков зонтов и ряд других повреждений.

Наиболее типичные повреждения представлены на рисунках 2.30...2.33.



Рисунок 2.30 – Станция “Удельная». Санузел ГО. Разрушение продольного ребра сборной плиты перекрытия по наклонным трещинам с одновременным отрывом поперечного ребра от полки



Рисунок 2.31 – Станция “Пионерская». Вентиляторная. Сверхнормативный прогиб и трещины в ребрах сборных плит вентиляторной



Рисунок 2.32 – Станция «Озерки». Повреждение зонта и выдавливание демпфирующего слоя в помещении мастерской



Рисунок 2.33 – Станция «Ладожская». Трещины в приопорных зонах плит перекрытия 2-го этажа

На рисунке 2.30 представлен вид разрушения и прогиб плит, перекрывающих санузел ГО. Разрушения произошла из-за воздействия выше расположенных перегородок, сооруженных враспор с верхним сводом.

На рисунке 2.31 показан аварийный прогиб сборных плит перекрытия вентиляционной, расположенной в районе продольной оси станции, на которую опирается продольная перегородка коридора к СТП, возведенная в распор с верхним сводом. Величина прогиба составляет 160 мм при пролете 3,0 м, что означает образование пластического шарнира (превышение величин напряжений растянутой арматуры предела текучести). Ситуации, представленные на рисунке 2.30 и рисунке 2.31, приводят к недопустимому техническому состоянию отдельных зон встроенных конструкций.

Анализируя характер повреждений встроенных конструкций служебных помещений и сравнивая между собой их интенсивность в станциях разных годов постройки, можно сделать следующие выводы.

Значительная часть дефектов в станциях постройки до 1985 года была вызвана раздавливанием стен, перегородок, колонн каркаса между верхним и обратным сводами. При этом в зонах, где были установлены водозащитные зонты и перегородки подводились под них, зонты отрывались от кламмеров, поднимались к своду и раздавливались.

В станциях постройки, начиная с 1986 года (где изначально предусматривались зазоры 150 мм между сводами и верхом встроенных конструкций), количество подобных дефектов уменьшилось. Однако частично они остались, что свидетельствует о том, что либо зазоры были выполнены некачественно, либо взаимное смещение сводов превышало по вертикали 150 мм.

Во всех обследованных станциях, независимо от года постройки, сохранялись такие дефекты, как трещины на стыках колонн с перегородками, трещины в опорных зонах балок и разрушение продольных ребер плит перекрытия. Эти дефекты не связаны с процессом взаимного сближения сводов, а также, как и в конструкциях платформ и подплатформенных помещений, вызваны тем, что элементы несущего каркаса опираются на точки обратного свода, претерпевающие разные по величине значения смещений. Это приводит к перенапряжению и деформациям стыковых соединений каркаса, повреждению ребер плит перекрытий.

Совмещенные тягово-понижительные подстанции

Схема несущих конструкций СТП практически во всех обследованных станциях однотипна и представляет собой полный каркас, выполненный из монолитного железобетона, встроенный в сечение станции, и расположенный за зоной служебных помещений (см. глава 1, рисунок 1.18). В состав каркаса входят колонны, поперечные балки, продольные обвязочные балки и монолитные участки перекрытий. Шаг поперечных рам составляет 4 000 мм, 3 100 мм и 4 150 мм в различных осях. Стены и перегородки СТП выполнены либо из монолитного железобетона толщиной 100 мм, либо из кирпичной кладки в полкирпича (150 мм). В силу незначительной толщины, они являются исключительно ограждающими конструкциями и не увеличивают несущую способность и жесткость каркаса ни в вертикальной, ни в горизонтальной плоскостях.

Продольная жесткость каркаса СТП обеспечивается его расположением без зазоров между массивной торцевой стеной станции и каркасом зоны служебных помещений, а также заделкой правой обвязочной балки перекрытия первого этажа в торцевую стену. Поперечная жесткость обеспечивается наклонными стойками, монолитно связанными с надпутевыми балками перекрытия второго этажа, проходящими над левым (II) путем, и левой бетонной опорой верхнего свода (рисунок 2.34). Надпутевые балки жестко связаны с наружными колоннами каркаса. Помещения второго этажа размещены в подсводовой части станции, их перегородки подведены без зазоров под водозащитные армоцементные зонты, подвешенные к своду станционной обделки. Помещения второго этажа несимметричны относительно оси СТП.

На ряде обследованных станций («Черная речка», «Пионерская», «Удельная», «Проспект Большевиков», «Озерки») в помещениях СТП уже проводились ремонтные работы, в ходе которых выполнялось восстановление участков полов, заделка трещин в перегородках, восстановление штукатурки и окраска стен и потолков, а также усиления участков некоторых стен. Также было выполнено штрабление части перегородок с заполнением промежутков пенопластом.

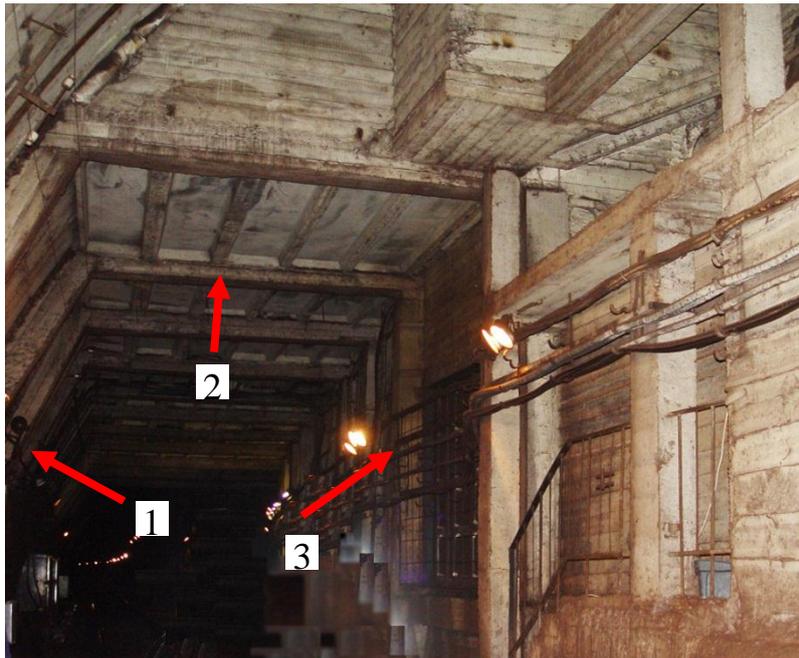


Рисунок 2.34– Конструкция элементов каркаса СТП, обеспечивающих его поперечную жесткость: 1 – наклонные стойки, опирающиеся на опоры; 2 – надпутевые балки; 3 – наружные колонны

Однако в ходе обследования 2002...2007 годов выявлено, что продолжают деформации и трещинообразования во всех внутренних конструкциях. Ниже приводятся типовые дефекты по разным видам конструкций.

Перегородки. Водозащитные зонты.

На всех этажах СТП наблюдались трещины с разветвлениями, системы параллельных трещин (в большинстве наклонных), пересекающиеся системы трещин с отслоением штукатурки и раздроблением материала перегородок. Также выявлены трещины в путевых стенах, как со стороны первого, так и со стороны второго пути. Примеры повреждений приведены на рисунках 2.35...2.40.

Часть перегородок первого и второго этажей имеют трещины растяжения. Некоторые поперечные перегородки второго этажа имеют трещины, вызванные сосредоточенной нагрузкой от давления ножек кламмеров (опорных столиков зонтов).



Рисунок 2.35 – Станция «Пионерская». Повреждения перегородки и зонта на втором этаже СТП



Рисунок 2.36 – Станция «Удельная». Повреждения путевой стены. Вид из аккумуляторной СТП



Рисунок 2.37– Подвал СТП. Сеть наклонных трещин в поперечной перегородке



Рисунок 2.38 – Станция «Новочеркасская». Продольная перегородка первого этажа. Горизонтальная трещина с выдавливанием кладки



Рисунок 2.39 – Станция «Проспект Большеви-ков». Отрыв зонтов от кламмеров



Рисунок 2.40 – Станция «Пионерская». Раз-давливание зонта колонной каркаса

На станциях, где не выполнялось штрабление перегородок, практически все водозащитные зонты, прилегающие к перегородкам и наружной стене, оторваны

со своих опорных столиков (кламмеров) и подняты перегородками к своду станционной обделки на величину от 90 до 130 мм. Наблюдаются многочисленные трещины вдоль стыков зонтов. Нарушено уплотнение поперечных стыков зонтов между собой.

В ходе обследования состояния кирпичных перегородок отмечено низкое качество кладки. Широко применяется бракованный кирпич: половняк, имеющий сквозные трещины, отколы углов, значительное коробление, недопал и пережог. Растворные швы имеют значительную толщину, весьма условную горизонтальность, и плохое заполнение раствором.

Полы и перекрытия

Покрытие полов подвалов и первых этажей СТП имеют продольные трещины, как вдоль центральной оси, так и в третях пролета. Отдельные трещины отмечаются в перекрытиях второго этажа.

Сборные плиты перекрытий имеют большое количество трещин, свидетельствующих об их продавливании. Часть трещин заходят на боковые поверхности ребер и пересекают их. Выявлены горизонтальные трещины в местах прилегания монолитных и сборных плит к балкам перекрытия и перегородкам. Дефекты свидетельствуют о происходящих неравномерных смещениях зон опирания сборных и монолитных участков плит на продольные и поперечные элементы каркаса. Примеры повреждений приведены на рисунках 2.41...2.42.



Рисунок 2.41– Станция «Садовая». Сеть трещин в зоне опирания плит перекрытия



Рисунок 2.42– Станция «Проспект Большевиков». Горизонтальные трещины в местах прилегания сборных плит к балкам перекрытия

Колонны и балки каркаса СТП

Наружное обследование состояния крайних колонн внешних путевых стен со стороны обеих путей выявило многочисленные дефекты:

1. Отчетливо заметные холодные швы в колоннах на уровнях чистого пола первого и второго этажей с пониженным качеством укладки и уплотнения бетона.
2. Наклонные и вертикальные трещины в стыках колонн с обвязочными балками, трещины в колоннах и путевых стенах (рисунок 2.43).
3. Наклонные трещины на боковой поверхности колонн подвала вблизи их стыков с балками перекрытия первого этажа,
4. Трещины в колоннах, сжатых между сводами станционной обделки (рисунки 2.44; 2.45).
5. Вертикальные трещины в торцах колонн, упирающихся в свод обделки через разрушенные водозащитные зонты.
6. Повреждение всех наклонных стоек, опирающихся на опоры обделки и жестко сопряженных с ними поперечных балок перекрытия 1-го этажа, обеспечивающих поперечную жесткость каркаса, в виде наклонных трещин в стыке их с колоннами наружного ряда (рисунок 2.46). Площадки опирания наклонных сто-

ек, связывающих балки перекрытия монолитными опорами, также имеют повреждения в виде локальных выкрашиваний бетона и сдвигов по опорным площадкам (рисунок 2.47).



Рисунок 2.43 – Станция «Лиговский проспект». Трещины в колонне наружного ряда, обвязочной балке и путевой стене



Рисунок 2.44 – Станция «Удельная». Трещины раздавливания в колонне наружного ряда



Рисунок 2.45 – Станция «Обухово». Раздавливание колонны между верхним и обратным сводом. Трещины в стыке с горизонтальной обвязочной балкой



Рисунок 2.46 – Станция «Пионерская». Конструкция усиления стыка надпутевой балки, с вертикальной стойкой каркаса СТП

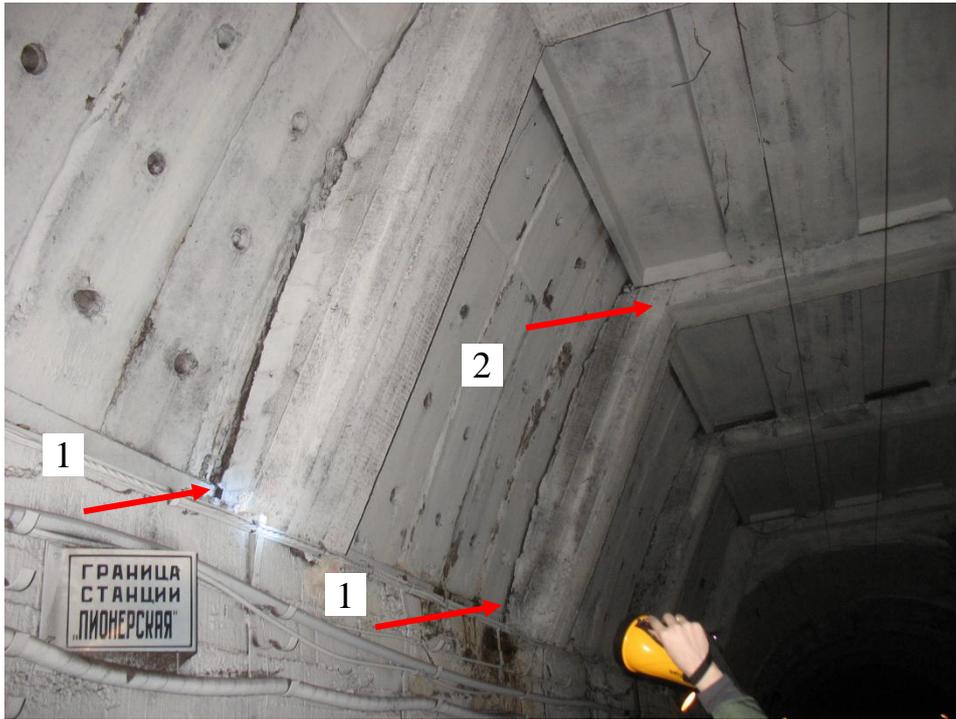


Рисунок 2.47 – Станция «Пионерская». Сдвиг наклонных стоек по опорным площадкам (1). Трещины в узлах сопряжения с надпутевыми балками (2)

Анализируя характер и виды повреждений встроенных конструкций СТП, следует отметить, что их количество и разнообразие видов проявления значительно выше, чем в остальных трех блоках встроенных конструкции. В них представлены практически все дефекты, связанные с взаимным сближением сводов и опиранием несущих элементов каркаса на точки обратного свода, испытывающие разные по величине деформации. Дополнительным фактором, увеличивающим количество и типы дефектов, является наличие наклонных стоек, опирающихся на опоры станции, и жестко сопряженных с ними надпутевых балок, обеспечивающих поперечную жесткость каркаса. Таким образом, смещение опор является дополнительным фактором воздействия на встроенные конструкции со стороны отделки станции. В результате происходят поперечные деформации каркаса и разрушение его стыковых соединений.

Результаты сравнения основных типов дефектов и их количественного соотношения в различных блоках встроенных конструкций по длине станционного комплекса представлены в Таблице 2.3.

Анализ характера и количества дефектов показывает, что наименьшее количество дефектов сосредоточено в первом блоке, в состав которого входят встроенные конструкции зоны натяжной камеры (лобовые перегородки, рамы и обстройки проходов к эскалаторам, путевые стены, незначительный объем служебных помещений). Наибольшее количество дефектов сосредоточено в четвертом блоке – в конструкциях СТП.

При этом категория технического состояния встроенных конструкций может снижаться до ограниченно работоспособного и даже недопустимого состояния. Примером недопустимого состояния в первом блоке могут служить деформации лобовой перегородки и встроенных конструкций зоны прохода к эскалаторам станции «Пионерская», в зоне служебных помещений и СТП - сверхнормативные прогибы плит перекрытий и разрушения стыков каркаса с надпутевыми балками, обеспечивающими поперечную жесткость каркаса.

Количество дефектов и повреждений во втором (конструкции платформ) и третьем (зоны служебных помещений) блоках занимают среднее положение (от 18% до 25% в каждом блоке от общего числа дефектов). При этом категория технического состояния встроенных конструкций во втором блоке, как правило, не снижается ниже ограниченно работоспособного.

Уровень технического состояния встроенных сооружений и обустройств одноводчатых станций

№	Зона одноводчатой станции и состав конструкций	Характеристика дефектов	Кол-во от общего объема дефектов, %	Возможное снижение категории технического состояния
1	2	3	4	5
1.	I. Зона натяжной камеры и проходы к эскалаторам <i>1.1. Рамы обрамления проходов к эскалаторам</i> <i>1.2. Лобовые перегородки</i> <i>1.3. Подсводные арки проходов</i> <i>1.4. Служебные помещения</i> <i>1.5. Путевые стены.</i>	1. Деформации и разрушения стоек и рам проемов. 2. Деформации и разрушения лобовых перегородок. 3. Трещинообразование в стенах служебных помещений. 4. Деформации и трещинообразование жесткого основания. 5. Деформации и трещины в путевых стенах	7..10%	От ограниченно-работоспособного до недопустимого.
2.	II. Платформенный участок <i>2.1. Несущие конструкции платформы.</i> <i>2.2. Облицовочные покрытия платформ.</i> <i>2.3. Стены служебных помещений и коллекторов.</i> <i>2.4. Путевые стены.</i> <i>2.5. Жесткое основание, в том числе пути.</i>	1. Деформации и трещинообразование в облицовочных покрытиях платформ. 2. Разрушения в зонах опирания несущих плит платформы. 3. Трещинообразование и деформации стен служебных помещений и коллекторов. 4. Трещины в жестком основании и полах служебных помещений и коллекторов 5. Неравномерное деформации верхнего строения пути. 6. Трещины и отслоения покрытий путевых стен.	22...25%	От работоспособного до ограниченно-работоспособного

Таблица 2.3 (окончание)

1	2	3	4	5
3	<p>III. Конструкции служебных помещений в торце платформы.</p> <p>3.1. Несущие стены и перегородки</p> <p>3.2. Перекрытия</p> <p>3.3. Лестницы</p> <p>3.4. Сан.узлы ГО</p> <p>3.5. Жесткое основание</p> <p>3.6 Зонты</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Раздавливание стен и перегородок между сводами. 2. Трещинообразование и деформации стен и перегородок. 3. Разрушение ребер плит перекрытий сан.узлов ГО. 4. Трещинообразование и деформации перекрытий. Разрушение опорных зон плит перекрытий. 5. Трещины в косоурах лестниц. 6. Деформации и трещины в жестком основании. 7. Отрыв от кламмеров и деформации зонтов. 	18...20%	От ограниченно-работоспособного до недопустимого.
4	<p>IV. Зона СТП</p> <p>4.1 Элементы каркаса СТП.</p> <p>4.2. Стены и перегородки.</p> <p>4.3. Перекрытия</p> <p>4.3. Путевые стены.</p> <p>4.4. Лестницы</p> <p>4.5. Жесткое основание</p> <p>4.6. Зонты</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Деформации и трещины в стойках и балках рам каркаса, разрушения в зонах опирания плит перекрытий. 2. Раздавливание стоек рам и перегородок между сводами. 3. Разрушения и сдвиги в узлах сопряжения наклонных стоек, опирающихся на опоры, и жестко связанных с ними надпутевых балок, обеспечивающих поперечную жесткость каркаса. 4. Деформации и трещинообразование в путевых стенах. 5.Отрыв зонтов от кламмеров, заклинивание зонтов между элементами каркаса и сводом. 6. Деформации и трещинообразование в жестком основании и покрытиях полов. 	53..45%	От ограниченно-работоспособного до недопустимого.

Диаграммы распределения дефектов в различных блоках встроенных конструкций некоторых обследованных станций приведены на рисунке 2.48.

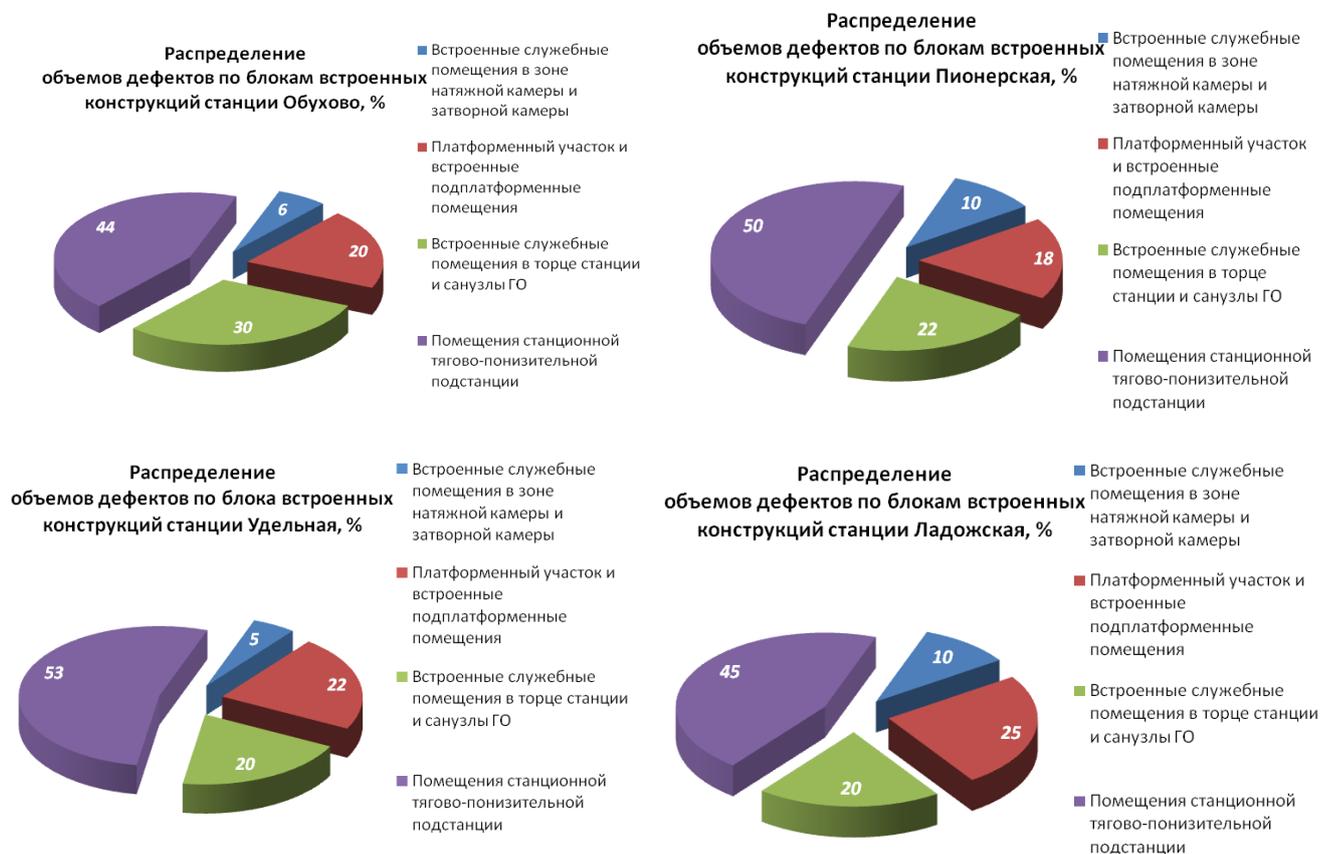


Рисунок 2.48 – Диаграммы распределения дефектов по блокам встроенных конструкций

Необходимость периодического проведения ремонтов встроенных конструкций одноводчатых станций связана со значительными затратами. В Таблице 2.4 приведены затраты на текущие ремонты встроенных конструкций некоторых одноводчатых станций. Как видно из таблицы, затраты на ремонт встроенных конструкций составляют около 800 млн. руб/ в действующих ценах.

Затраты на капитальный ремонт встроенных конструкций односводчатых станций Санкт-Петербурга

№ п.п.	Наименование станции	Проведенные мероприятия	Стоимость ремонта	Дата ремонта	Стоимость в текущих ценах
1	Удельная	Капитальный ремонт встроенных конструкций СТП	11500	1998г.	80500.
		Капитальный ремонт полов платформы	38600.	2003г.	154400
2	Пионерская	Капитальный ремонт встроенных конструкций СТП	14300	2004г.	57200
		Капитальный ремонт конструкций в зоне прохода к эскалаторам	6800	2005г.	20400
3	Черная речка	Капитальный ремонт встроенных конструкций СТП и служебных помещений	13800	2003г.	55200
		Капитальный ремонт полов платформы	39200	2004г.	156800.
4	Удельная	Капитальный ремонт полов платформы	36400	2005г.	109200.
		Капитальный ремонт путевых стен	42200	2009г.	63300.
5	Проспект Большевиков	Капитальный ремонт полов платформы	36500	2006г.	73000
		Капитальный ремонт путевых стен	43700	2009г.	65500
Итого:			283 000		755 080.5

В таблице не учтена стоимость ремонтов, выполнявшихся на ряде станций с 1986 года по 2000 год, а также затраты на текущие ремонтные работы, выполнявшиеся собственными силами служб ГУП «Петербургский метрополитен». С учетом не учтенных в таблице ремонтных мероприятий, ориентировочная стоимость затрат на обследование и ремонт встроенных конструкций действующих односводчатых станций приблизительно оценивается в 1,4...1,5 млрд. руб. в действующих ценах.

Следует также отметить, что по причине необходимости усиленного контроля состояния конструкций, текущее содержание односводчатых станций также удорожается, по сравнению с пилонными и колонными станциями.

Таким образом, анализ результатов специального обследования односводчатых станций показал, что подавляющее количество повреждений внутренних конструкций односводчатых станций является следствием деформаций элементов обделки станций, вызванных горным давлением, развивающимся в течение достаточно длительного периода времени. При этом, при разработке конструктивно-планировочных решений встроенных конструкций величины и характер деформаций обделки не были в достаточной степени учтены, что повлекло за собой возникновение в них многочисленных дефектов и повреждений.

Необходимо отметить, что количество дефектов встроенных конструкций, вызванных браком, применением некачественных материалов или отступлениями от проекта, весьма незначительно и составляет не более 5...7% от общего количества.

2.5. Выводы по главе 2

1. Установлено, что большинство повреждений встроенных конструкций проявляется в период первых лет после сдачи станционного комплекса в эксплуатацию и развиваются в течение длительного времени – до 18-20 лет.

2. Периодические и специальные обследования, проведенные по разработанной автором программе, позволили установить причины возникновения и закономерности развития различных дефектов встроенных конструкций в период длительной эксплуатации односводчатых станций.

3. В ходе специальных обследований 10 станций выявлены причины возникновения дефектов в элементах обделки и повреждений встроенных конструкций, которые можно классифицировать как силовые и производственные.

4. Доминирующими для встроенных конструкций являются силовые дефекты, вызванные деформациями элементов обделки станции. Эти дефекты обусловлены отсутствием или недостаточной величиной зазоров между верхним сводом и несущими элементами встроенных конструкций, необоснованным расположением узлов их опирания на обратный свод и на опоры станции.

5. Количество дефектов существенно отличается в различных типах встроенных конструкций по длине станционного комплекса. Наименьшее их количество выявлено на участках натяжных камер и проходов к эскалаторам (до 10%), наибольшее – в конструкциях СТП (до 53%).

6. Анализ характера, интенсивности развития и количества дефектов встроенных конструкций показывает, что их совокупность приводит к снижению категории технического состояния от ограниченно работоспособного до недопустимого. При этом недопустимое техническое состояние отдельных элементов конструкций, как правило, отмечается в конструкциях СТП, служебных помещений в торце платформы и на участках натяжной камеры.

7. Капитальный ремонт и текущее содержание встроенных конструкций односводчатых станций связаны со значительными затратами. Так, затраты на ремонтные работы по обеспечению надлежащих эксплуатационных показателей встроенных конструкций односводчатых станций за время эксплуатации оценивается в 1,4...1,5 млрд. руб. в действующих ценах.

8. Результаты обследований позволяют заключить, что при разработке конструктивно-планировочных решений встроенных конструкций величины и характер деформаций обделки не были в достаточной степени учтены, что повлекло за собой возникновение в них многочисленных дефектов и повреждений.

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «ГРУНТОВЫЙ МАССИВ - ОБДЕЛКА СТАНЦИИ - ВСТРОЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

3.1. Цель и задачи математического моделирования.

Цель исследований методом математического моделирования – изучение степени влияния деформаций элементов односводчатой станции на характер и величины деформаций встроенных конструкций.

Исследования выполнялись в два этапа. На первом этапе необходимо было выявить особенности деформирования многошарнирных сводов, опертых на массивные опоры обделки, расположенной в протерозойских глинах, а на втором этапе дать качественную и количественную оценку степени влияния выявленных деформаций обделки станции на статическую работу встроенных конструкций.

Математические модели выполнялись с учетом физико-механических характеристик грунтового массива и материала элементов конструкций, глубины заложения станции и толщины кровли протерозойских глин над станцией. Типовые односводчатые станции с платформой шириной 11,7м залегают на глубине от 47 до 62м, имея над шельгой свода кровлю ненарушенных протерозойских глин от 8 до 28 метров (см. таблицу 1.1) . В соответствии с глубиной заложения нагрузка от веса полного столба грунта над тоннелем колеблется в пределах от 1,0 МПа до 1,8 МПа (см. рисунок 1.12).

Численный анализ выполнялся для шести из десяти станций, где было проведено специальное обследование в период с 2000 по 2006 гг. Для станций, сданных в эксплуатацию до 1986г («Пионерская», «Удельная», «Проспект большевиков», «Новочеркасская»), с учетом возможного нарушения регламента при обжати обратного свода при строительстве, рассматривалось три наиболее характерные схемы статической работы обделки односводчатой станции:

- обделка станции с проектным обжатием обратного свода (плотное примыкание в местах сопряжения с опорами);

- обделка станции при некачественном обжатии обратного свода (наличие зазоров в местах сопряжения с опорами);

- обделка станции со встроенными конструкциями.

Для станций, сданных в эксплуатацию после 1986гг., («Садовая», «Лиговский проспект»), учитывая принятые мероприятия по организации и контролю обжатия обратного свода, вторая расчетная схема была исключена.

В процессе выполнения численного анализа решались следующие задачи:

- установить характер и определить величины смещений элементов обделки станции (блоков верхнего и обратного сводов, опор) в зависимости от глубины заложения станции;

- выявить особенности взаимодействия элементов обделки станций со встроенными конструкциями;

- оценить степень влияния на деформации обделки односводчатой станции некачественного (или несвоевременного) обжатия при сооружении первых односводчатых станций;

- дать сравнительный анализ результатов расчетно-теоретических исследований с данными, полученными при обследовании технического состояния указанных выше односводчатых станций.

3.2.Выбор и обоснование расчетных схем, методика выполнения численного анализа

Математическое моделирование выполнено с использованием удобной в практическом отношении методики численного расчета, а именно, метода конечных элементов (МКЭ) [18, 20, 21, 27, 38, 93, 94]. При этом обделка и грунтовый массив моделируются плоскими конечными элементами.

Объем диссертационной работы не позволяет привести расчеты, выполненные для всех шести указанных выше станций. В настоящем разделе изложена методика построения модели и последовательность расчета на примере односводчатой станции «Проспект большевиков». Анализ результатов математического мо-

делирования и вытекающие из него выводы выполнены на основании всего комплекса проведенных расчетно-теоретических исследований.

Первоначально проводилось изучение деформированного состояния сборной железобетонной обделки односводчатой станции метрополитена с массивными опорами, расположенной в протерозойских глинах. Для расчета выделена область грунтового массива протяженностью 1 м вдоль оси станции. Размеры этой области определены в соответствии с поставленными задачами и с учетом зоны влияния выработки. Высота и ширина массива составили, соответственно, 65 м и 100 м. В массиве размещен фрагмент обделки односводчатой станции метрополитена (рисунок 3.1). С учетом симметрии задачи относительно оси ОУ в расчетную схему включены половина сечения обделки и выделенной области грунтового массива шириной 50 м.

Своды обделки станции выполнены из железобетона (бетон класса В35), массивная опора – из монолитного бетона класса В25. Приведенный модуль упругости бетона блоков сводов принят равным 31 000 МПа, бетона опор – 30 000 МПа, коэффициент Пуассона – 0.2, объемный вес – 24 кН/м³.

Окружающий обделку грунтовый массив представлен протерозойскими глинами (модуль деформации – 120 МПа, коэффициент Пуассона – 0.30, объемный вес – 23 кН/м³). Глубина заложения станции оставляет 62 м. Толщина протерозойских глин над шельгой свода станции – 14 м. Расположенные выше грунты четвертичных отложений (мощностью слоя 48 м) заменяются пригрузом.

Считаем, что на начальных стадиях деформирования плотные протерозойские глины могут рассматриваться как изотропная линейно деформируемая среда.

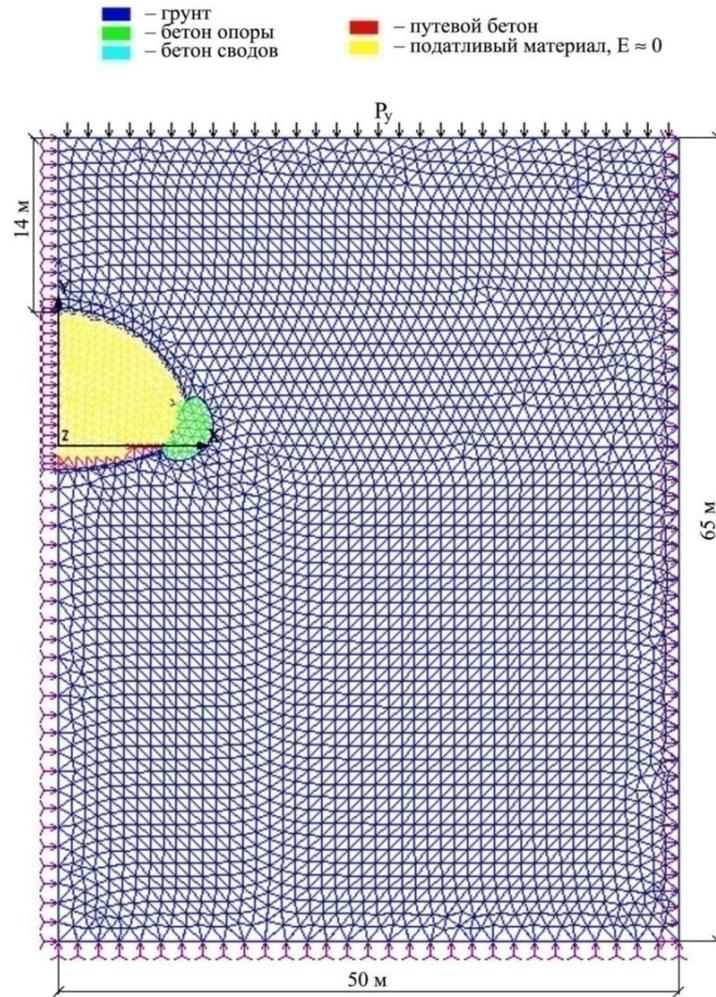


Рисунок 3.1 – Расчетная схема станции по методу конечных элементов (МКЭ)

Внешняя по отношению к станции область грунтового массива разбита на 5629 оболочечных трехузловых элементов типа SHTLL3T, внутренняя – на 381 аналогичный элемент. Верхний и обратный своды станции представлены 26 балочными элементами BEAM2D с шарнирным примыканием блоков друг к другу и к опорам (рисунок 3.2). Опоры станции и путевой бетон представлены 61 оболочечным трехузловым элементом типа SHTLL3T. Такой подход при решении задач горной геомеханики позволяет учесть конструктивные и технологические особенности обделки станции, а также существенно упрощает решение задачи без снижения точности получаемых результатов.

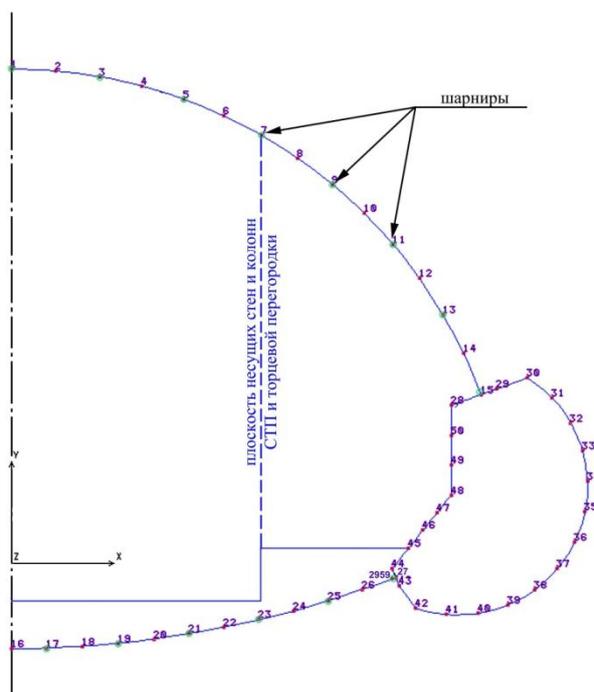


Рисунок 3.2 – Расчетная схема конструкции обделки односводчатой станции

В качестве граничных условий задан запрет перемещений узлов системы в направлении оси Y по нижней грани выделенной грунтовой области, оси X – по правой боковой грани. Для узлов, расположенных на оси симметрии OY были запрещены горизонтальные смещения в направлении оси X и повороты $R_z = 0$. Кроме этого, дан запрет перемещений всех узлов системы из плоскости YOX , учитывающие плоско деформированное состояние массива: $R_x = R_y = 0$ и $U_z = 0$.

Элементы, моделирующие конструкцию обделки станции – весомые, элементы грунтового массива – невесомые. По верхней грани выделенного массива приложена нагрузка P_y , эквивалентная воздействию от веса грунтов, расположенных выше горизонтальной оси станции.

Учитывая, что толщина протерозойских глин $h_1=14,0\text{м}$, а грунтов четвертичных отложений $h_2=48\text{м}$, получаем $P_y=1,36\text{МПа}$.

Как отмечалось выше, в ходе исследований рассматривались две наиболее характерные схемы статической работы односводчатой станции: 1– работа замкнутой конструкции с проектным обжатием обратного свода и 2 – работа конструкции при некачественном обжатии обратного свода (наличие зазоров в местах сопряжения с опорами).

При исследовании деформированного состояния встроенных в станцию конструкций ввиду их асимметрии выделенная в предыдущей задаче область грунтового массива принята шириной 100 м. В массиве размещен фрагмент обделки односводчатой станции метрополитена с встроенными конструкциями (каркас типовой конструкции СТП). Расчетная схема односводчатой станции со встроенными конструкциями СТП представлена на рисунке 3.3. Элементы каркаса встроенных конструкций СТП (колонны и балки перекрытия) выполнены из железобетона (бетон класса В35). Приведенный модуль упругости бетона балок перекрытия и колонн принят равным 31000 МПа, путевого бетона и кирпичных стен 1000 МПа, коэффициент Пуассона – 0,2, объемный вес – 24 кН/м³. Расчетная схема встроенных конструкций СТП и бетона жесткого основания показана на рисунке 3.4.

Для определения абсолютных значений смещений обделки станции и окружающего ее грунтового массива по каждой из рассматриваемых схем статические расчеты выполнялись в два этапа.

На первом этапе проводился расчет начальных смещений ненарушенного грунтового массива. При этом всем элементам расчетной схемы присваивались свойства элементов грунта. На втором этапе были проведены непосредственно расчеты напряженно-деформированного состояния системы "обделка – грунтовый массив". На этом этапе элементам, моделирующим конструкцию станции, присваивались характеристики бетона соответствующего класса, а грунтовым элементам внутри контура станции – модуль деформации близкий к нулю.

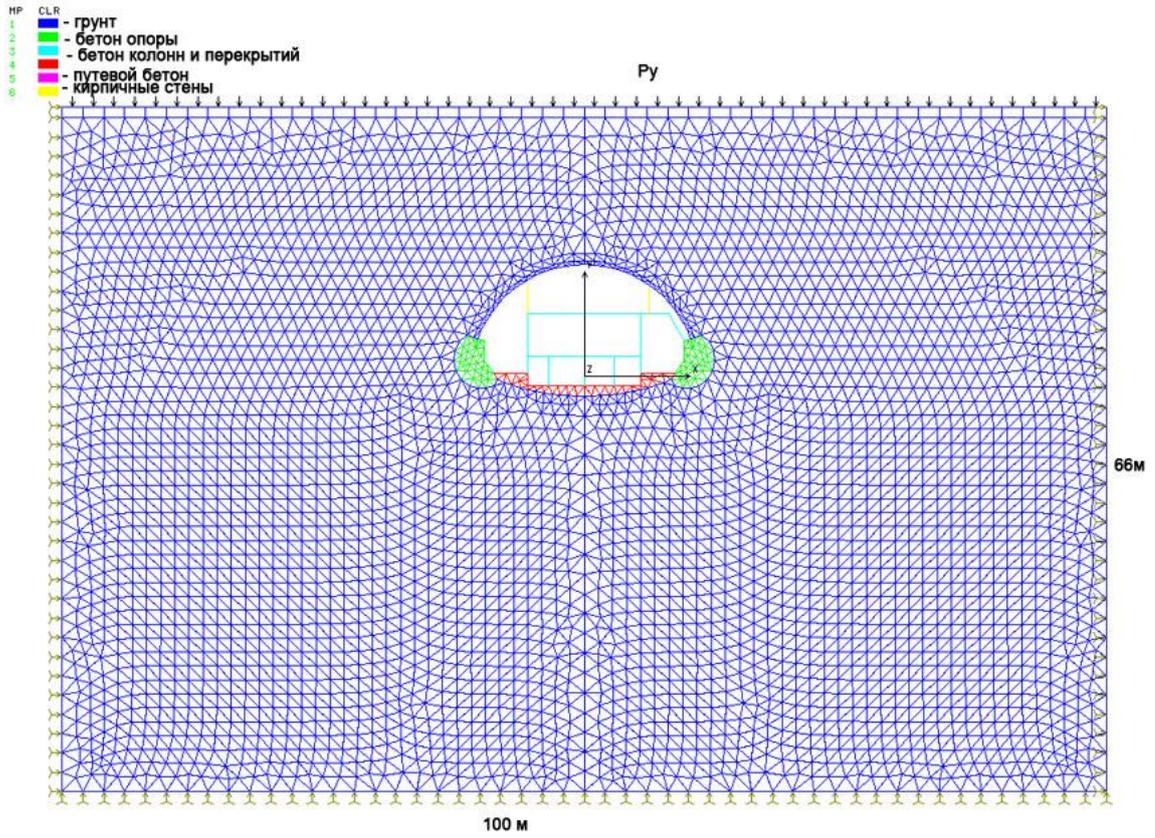


Рисунок 3.3 – Расчетная схема МКЭ станции со встроенными конструкциями

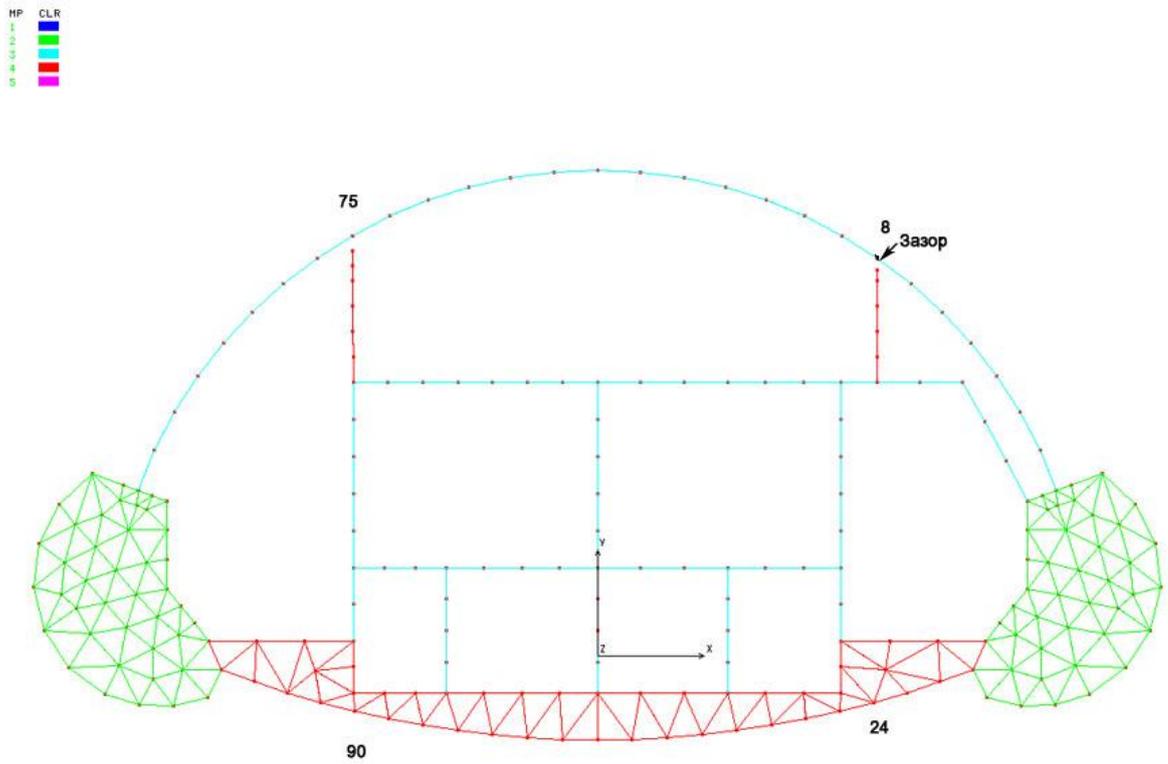


Рисунок 3.4 – Расчетная схема обделки станции со встроенными конструкциями СТП

Абсолютные смещения были рассчитаны как разность смещений узлов расчетной схемы, полученных на втором этапе расчета системы "обделка – грунтовый массив" $U(\gamma H)$, и смещений в ненарушенном грунтовом массиве, произошедших до проходки выработки и возведения обделки станции $U_m(\gamma H)$, полученных на первом этапе расчета:

$$U = U(\gamma H) - U_m(\gamma H) \quad (3.1)$$

В рамках расчетно-теоретических исследований также была произведена оценка влияния деформаций ползучести бетона сводов на их деформированное состояние [1, 17, 40, 50, 52, 71, 95]. Это влияние оценивалось путем введения в расчет длительного модуля деформации $E_{дл}$, учитывающего развитие длительных деформаций ползучести и вычисляемого по формуле [25,50, 52, 88]:

$$E_{дл} = \frac{E_б}{1 + E_б C_б \xi_{дл} \xi_h}, \quad (3.2)$$

где $E_б$ – начальный модуль упругости бетона;

$C_б$ – предельная мера ползучести;

$\xi_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки;

ξ_h – коэффициент, зависящий от толщины блоков обделки.

Расчеты показали, что деформации конструкции обделки с учетом модуля длительной деформации, увеличиваются незначительно (в пределах 4...6%). Поэтому, при анализе деформированного состояния конструкций деформации, обусловленные ползучестью бетона, не учитывались.

3.3. Результаты исследований деформированного состояния обделки односводчатой станции

В соответствии с формулированными в п.3.1. задачами математического моделирования первоначально изучалось напряженно - деформированное состояние системы "обделка – грунтовый массив" при замкнутом обратном своде. Абсо-

лутные смещения узлов конструкции станции, полученные в соответствии с зависимостью (3.1), приведены на рисунке 3.5. На рисунке 3.6 приведена картина распределения смещений обделки и грунтового массива, а на рисунках 3.7 и 3.8 – вертикальные и горизонтальные смещения узлов верхнего и обратного сводов станции, а также опор.

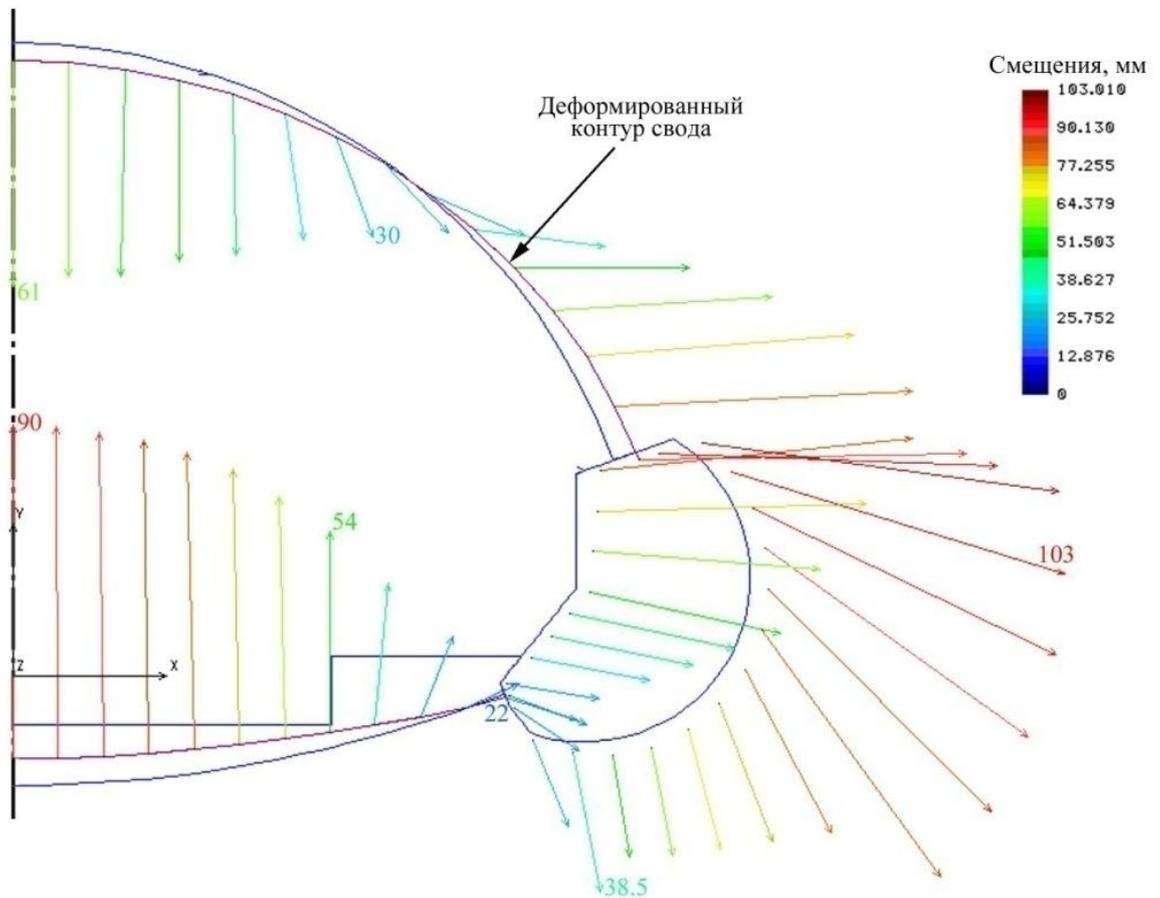


Рисунок 3.5 – Полные смещения узлов обделки станции в замкнутых конструкциях, мм

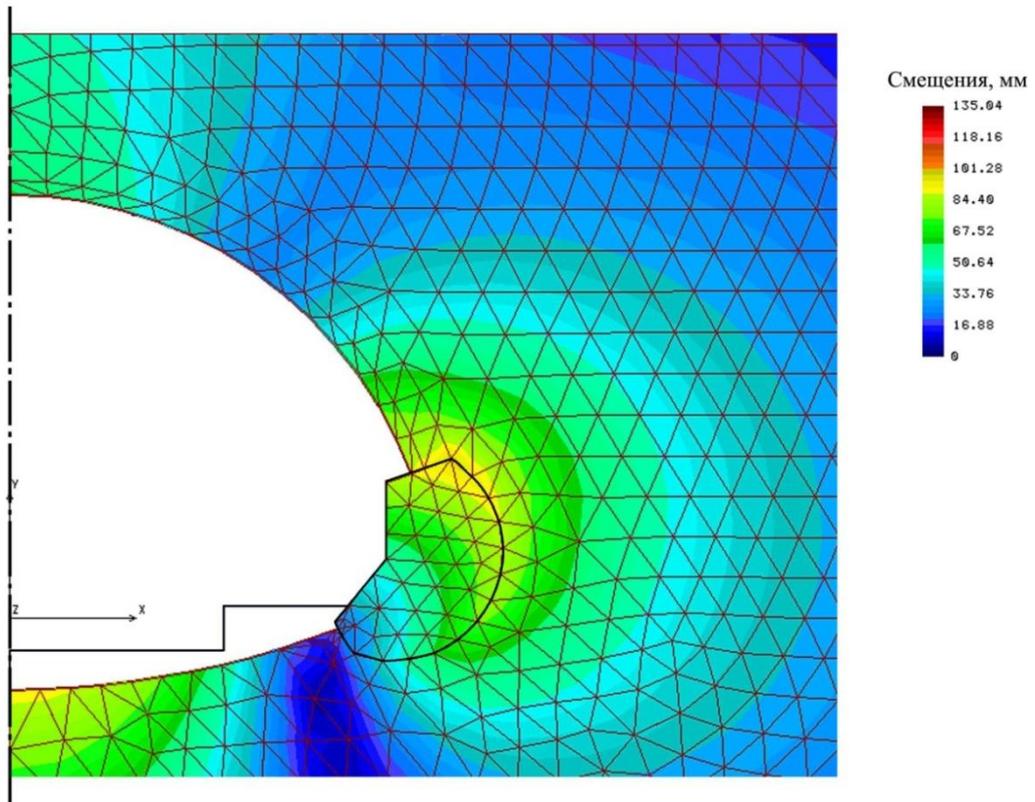


Рисунок 3.6 – Картина распределения абсолютных смещений обделки и грунтового массива при замкнутой конструкции, мм

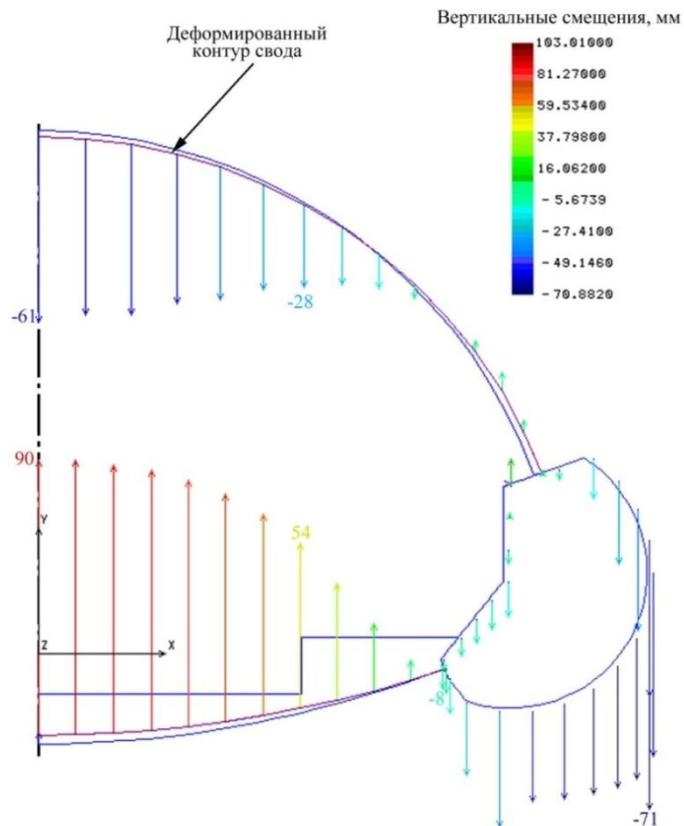


Рисунок 3.7 – Вертикальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции в замкнутой конструкции, мм

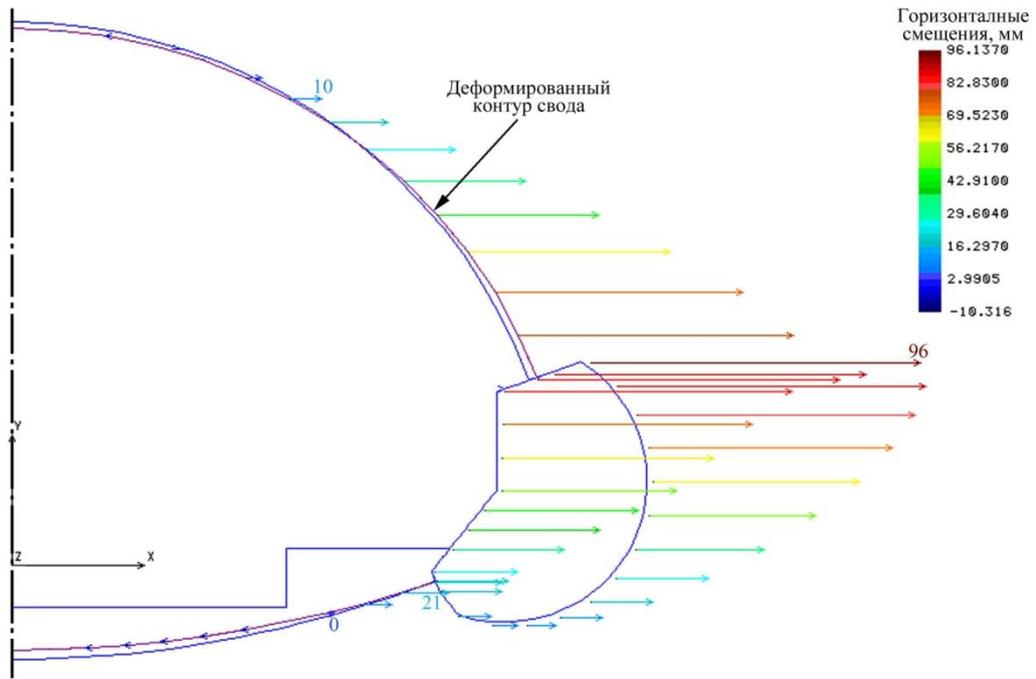


Рисунок 3.8 – Горизонтальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции в замкнутой конструкции, мм

Анализ результатов расчета показывает, что в замкнутой односводчатой конструкции вертикальные смещения почти всех блоков верхнего свода и опор станции, направлены вниз (см. рисунок 3.5). Однако, вертикальная составляющая смещений двух блоков верхнего свода, примыкающих к опоре, направлена вверх. Наибольшие вертикальные смещения в шельге верхнего свода – -61 мм, в опорах станции – -71 мм (см. рисунок 3.7).

Смещения обратного свода направлены, в основном, вверх. Наибольшее поднятие обратного свода в сечении по оси станции составило +90 мм (см. рисунок 3.7). Исключение представляет незначительная осадка торца крайнего блока обратного свода, примыкающего к опоре, на -8 мм.

Таким образом, максимальное сближение точек верхнего и обратного сводов, расположенных по оси обделки станции, составляют 151 мм. Наибольшие горизонтальные смещения, зафиксированные в уровне верха опоры, достигают +96 мм от оси станции (см. рисунок 3.8).

Наибольший интерес представляют смещения блоков обделки в сечениях станции, расположенных в плоскости несущих стен и колонн СТП, а также смещения опор в точках опирания наклонных балок, обеспечивающих поперечную жесткость каркаса СТП. Вертикальные смещения верхнего свода в плоскости несущих стен и колонн СТП составили -28 мм, а поднятие обратного свода $+54$ мм. Взаимное смещение этих узлов сводов (сближение) составило 82 мм. Горизонтальное смещение верхней площадки опоры в узлах опирания наклонных балок составили около 70 мм, вертикальные $- +8$ мм. Подъем жесткого основания в зонах расположения пути составили: внутреннего рельса $+30$ мм, наружного (ближнего к опоре) $- -7$ мм.

С целью выявления степени влияния некачественного обжатия обратного свода на статическую работу сооружения в целом было проведено исследование напряженно-деформированного состояния системы "обделка – грунтовый массив" при наличии зазоров между опорами и блоками обратного свода. Абсолютные смещения узлов конструкции станции приведены на рисунке 3.9. На ках 3.10 и 3.11 приведены вертикальные и горизонтальные смещения узлов верхнего и обратного сводов станции, а также, наружного контура опоры.

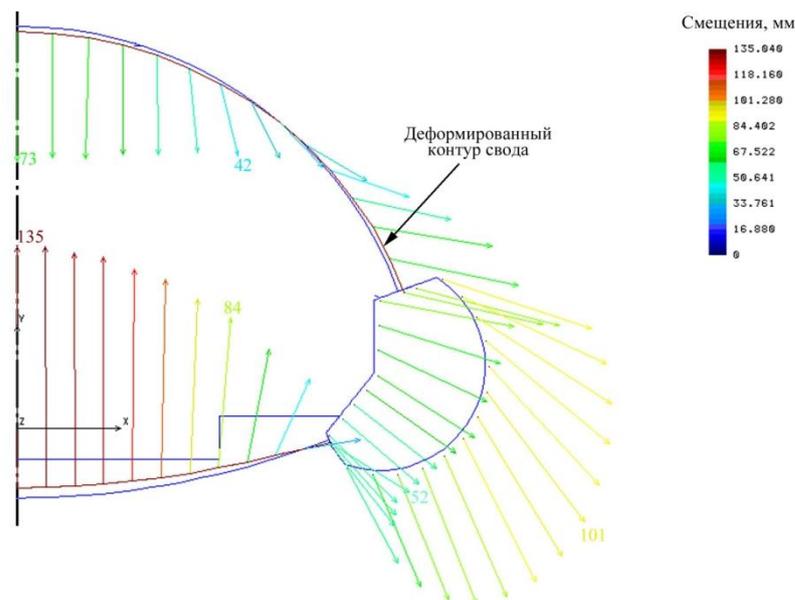


Рисунок 3.9 – Полные смещения узлов обделки станции при наличии зазоров между опорой и блоком обратного свода, мм

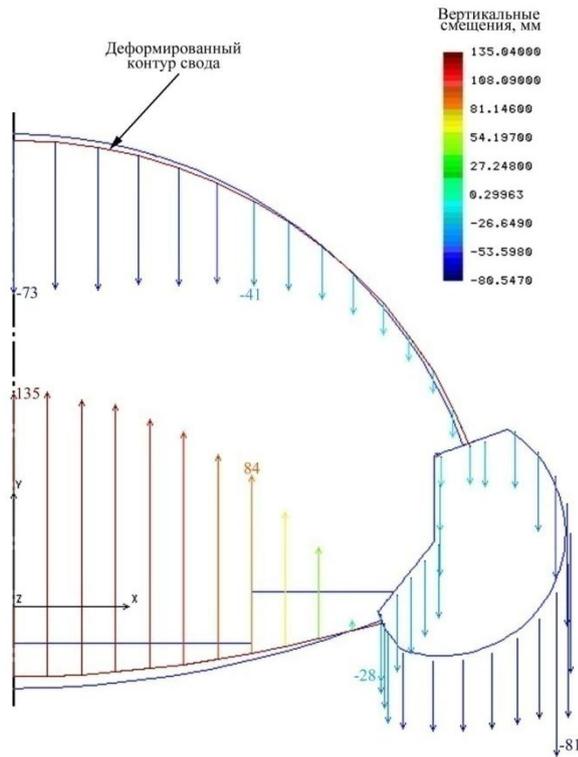


Рисунок 3.10 – Вертикальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции при наличии зазоров между опорой и блоком обратного свода, мм

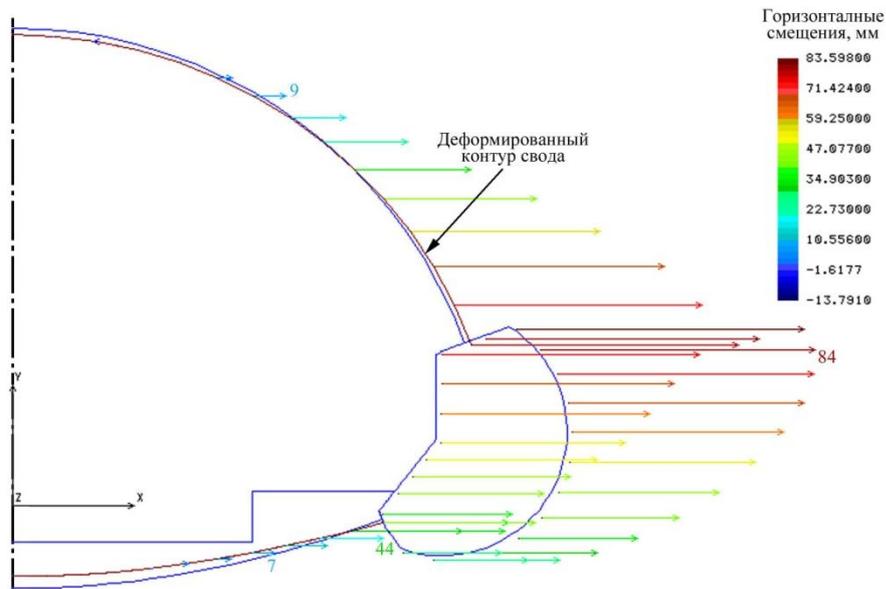


Рисунок 3.11 – Горизонтальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции при наличии зазоров между опорой и блоком обратного свода

Анализ результатов расчета односводчатой конструкции при наличии зазоров между опорами и блоками обратного свода показывает, что полные смещения узлов верхнего свода и опор станции, как и в замкнутой конструкции, направлены вниз, но величины смещений несколько выше (см. рис. 3.9). Так наибольшие вертикальные смещения в шельге верхнего свода составили -73 мм, в опорах стан-

ции -81 мм (см. рисунок 3.10). Причем, вертикальная составляющая смещений всех блоков свода также направлена вниз.

Смещения обратного свода направлены, в основном, вверх и также превышают аналогичные смещения свода в замкнутой конструкции. Наибольшее поднятие обратного свода в сечении по оси станции составило +135 мм (см. рисунок 3.10). Исключение представляет крайний блок обратного свода, примыкающий к опоре. Осадка блока более существенная, чем в замкнутой конструкции и составляет -28 мм.

Таким образом, максимальное сближения точек верхнего и обратного сводов в плоскости оси станции составляет 208мм (против 151мм в случае плотного примыкания блоков обратного свода к основанию опор).

Горизонтальные смещения, зафиксированные в уровне верха опоры меньше, чем в замкнутой конструкции и достигают +84 мм в сторону от оси станции (см. рисунок 3.11).

В сечениях станции, расположенных при симметричном относительно оси Y расположении встроенных конструкций,

Вертикальные смещения верхнего свода в плоскости несущих стен и колонн СТП составили -41 мм, а поднятие обратного свода - +84 мм, Взаимное смещение этих узлов сводов (сближение) достигает 125 мм, т.е в 1,5 раза больше, чем в замкнутой конструкции. (см. рисунок 3.9). При этом узлы опирания колонн и стен получают и горизонтальные смещения до + 7мм. Горизонтальные смещения верха опоры в точках опирания наклонных балок составили около 84мм в сторону от оси станции, вертикальные - +14мм. Жесткое основание по внутреннему рельсу поднялось на 60мм, а по наружному опустилось на 16мм.

По результатам серии расчетов конструкций односводчатых станций, отличающихся глубиной заложения станции, а, следовательно, и нагрузкой на конструкцию, построены графики зависимости вертикальных смещений сводов и опор станций от нагрузок на конструкцию (рисунок 3.12).

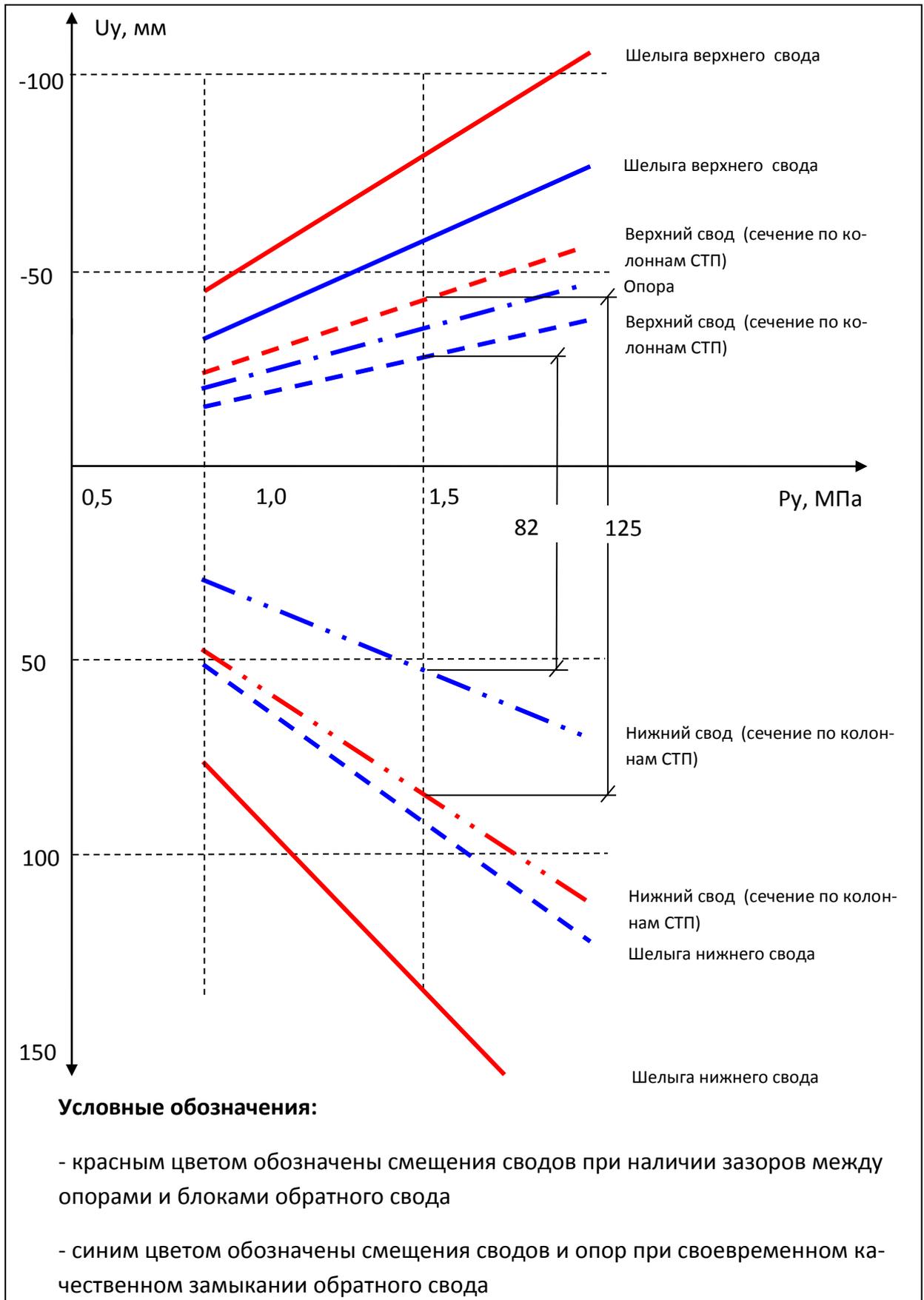


Рисунок 3.12 – Графические зависимости вертикальных смещений сводов и опор станций от нагрузок на конструкцию

Для анализа выбраны наиболее характерные узлы конструкции, а именно: узлы верхнего и нижнего сводов в плоскости оси станции, узлы верхнего и нижнего сводов в плоскости несущих стен и колонн СТП, нижний узел опоры.

На графиках на рисунке 3.12 синим цветом обозначены смещения сводов и опор при своевременном качественном замыкании обратного свода, а красным цветом обозначены смещения сводов при наличии зазоров между опорами и блоками обратного свода.

3.4. Результаты исследований деформированного состояния встроенных в односводчатую станцию конструкций

Изучалось напряженно - деформированное состояние системы "обделка – грунтовый массив - встроенные конструкции" при своевременном замыкании обратного свода и при несимметричном относительно оси Y расположении встроенных конструкций СТП.

Поскольку условия примыкания несущих стен и колонн СТП к путевому бетону достаточно неопределенны, то рассматривались две наиболее характерные схемы статической работы встроенных конструкций односводчатой станции: 1 – шарнирное опирание стен и колонн СТП и 2 – жесткая заделка стен и колонн в путевом бетоне. В расчетных схемах были учтены результаты предыдущего анализа - между стенами верхнего яруса и верхним сводом станции предусмотрен зазор 250...300 мм, исключающий возможность «раздавливания» каркаса между верхним и обратным сводом.

Первоначально проводились расчеты при шарнирном примыкании стен и колонн СТП к путевому бетону.

Абсолютные смещения узлов конструкции станции, полученные в соответствии с зависимостью (3.2), приведены на рисунке 3.13. На рисунке 3.14 приведена картина распределения смещений обделки и грунтового массива, а на рисунках 3.15 и 3.16 – вертикальные и горизонтальные смещения узлов верхнего и обратного сводов станции, встроенных конструкций, а также, узлов опоры.

Анализ результатов расчета показывает, что в замкнутой односводчатой конструкции полные смещения большинства блоков верхнего свода и опор станции направлены вниз (см. рисунок 3.13). Однако, вертикальная составляющая смещений последних двух блоков верхнего свода, примыкающих к опоре, направлена вверх. Наибольшие вертикальные смещения в шельге верхнего свода – -72 мм, в опорах станции – -75 мм (см. рисунок 3.15).

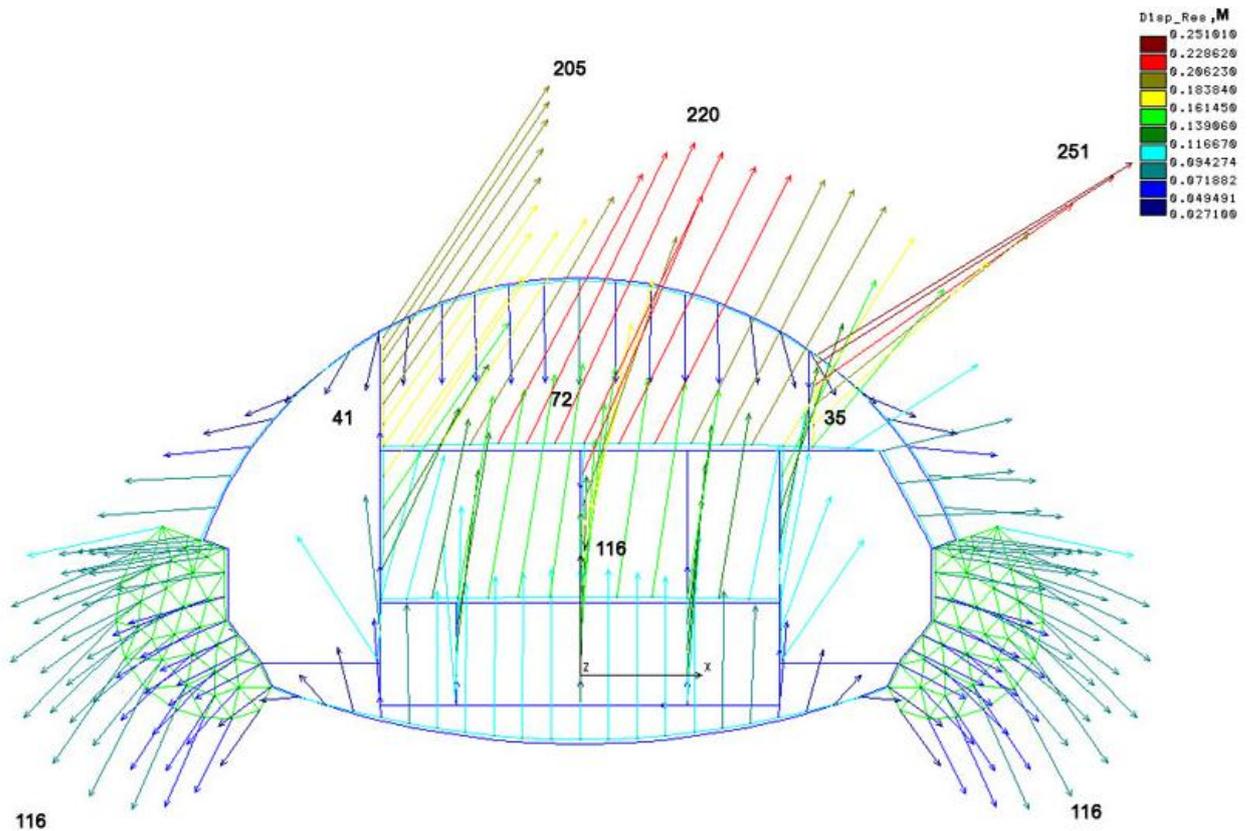


Рисунок 3.13 – Полные смещения узлов обделки станции и встроенных конструкций при шарнирном сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, мм

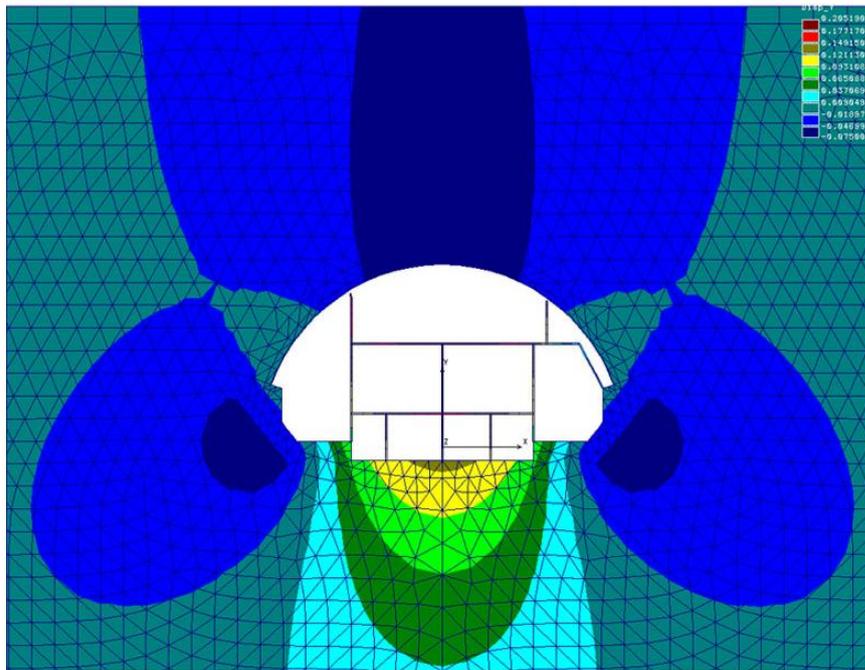


Рисунок 3.14 – Картина абсолютных смещений грунтового массива и обделки станции с встроенными конструкциями, м

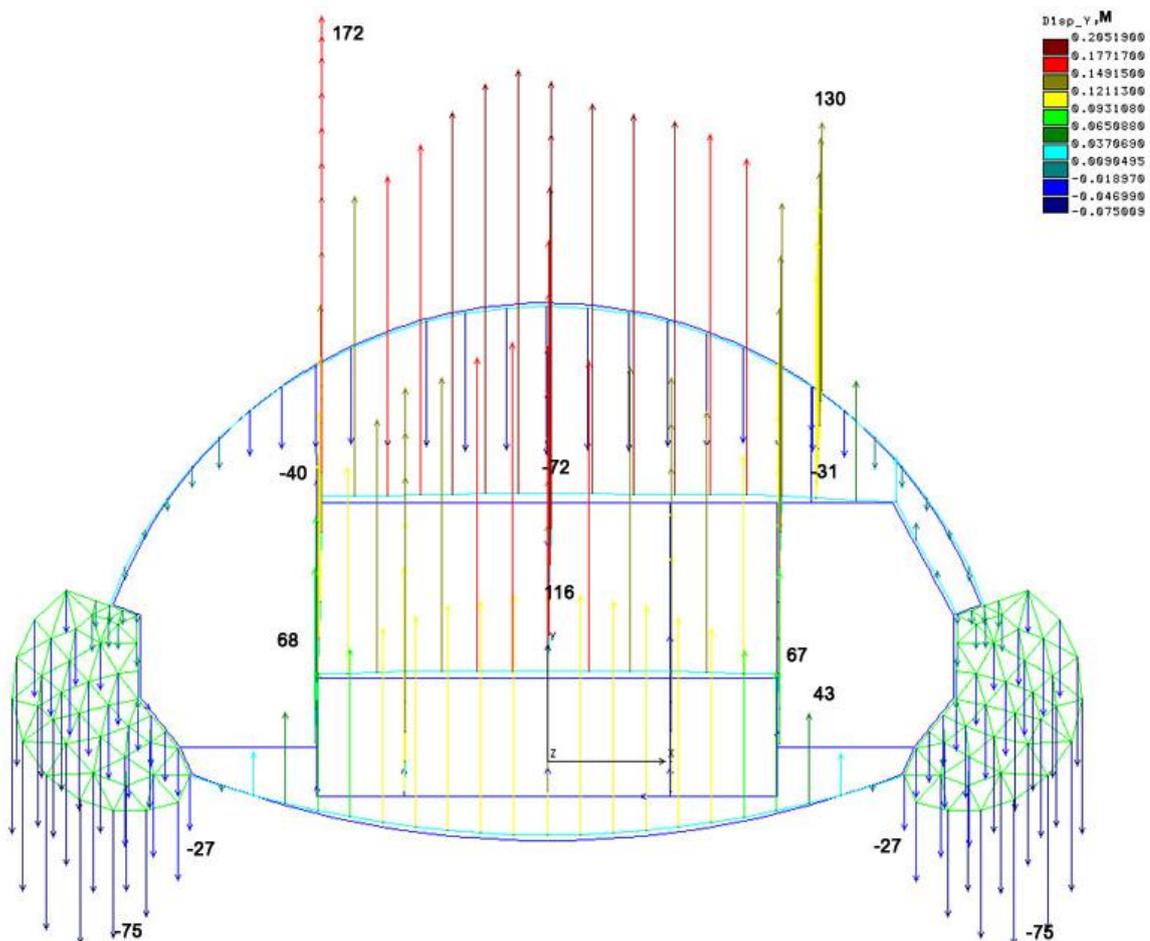


Рисунок 3.15 – Вертикальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции и встроенных конструкций при шарнирном сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, мм

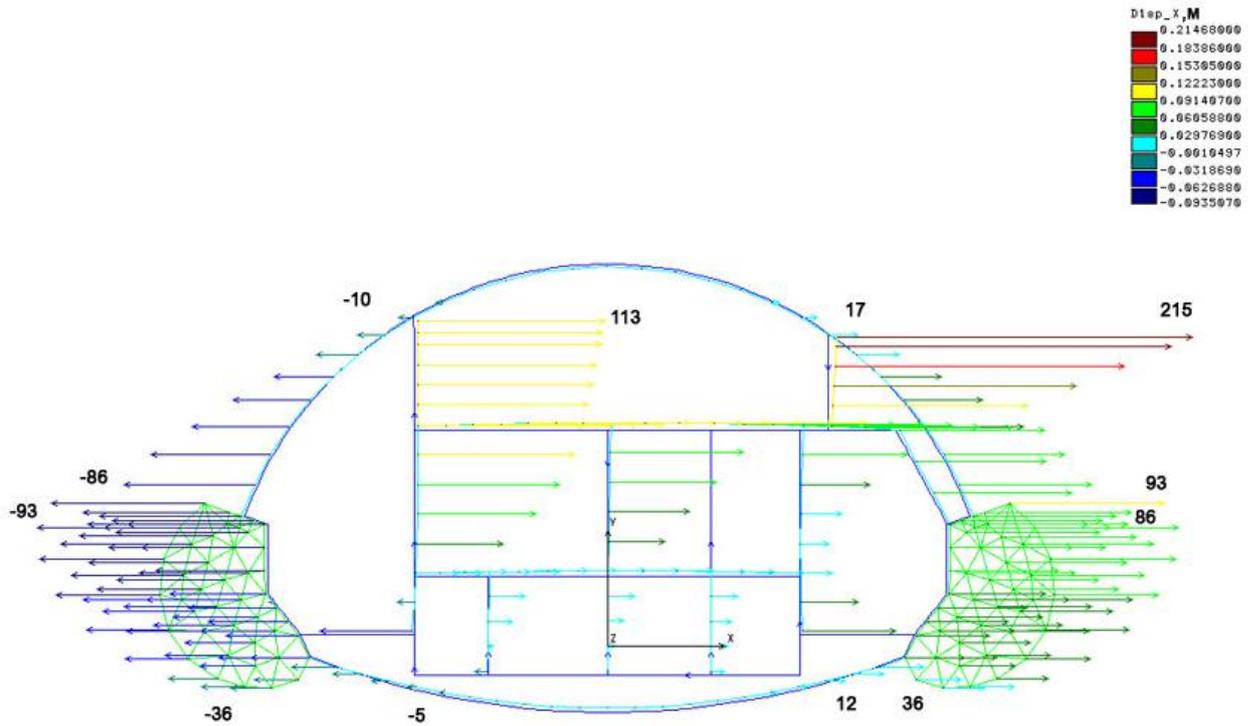


Рисунок 3.16 – Горизонтальная составляющая вектора результирующих перемещений обделки станции и встроенных конструкций при шарнирном сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, мм

Смещения обратного свода направлены, в основном, вверх. Наибольшее поднятие обратного свода в сечении по оси станции составило +116 мм (см. рисунок 3.15). Исключение представляет незначительная осадка крайнего блока обратного свода, примыкающего к опоре, на -27 мм.

Наибольшие горизонтальные смещения, зафиксированные в уровне верха опоры, достигают +93 мм в сторону от оси станции (см. рисунок 3.16).

В сечениях правой части станции, расположенных в плоскости несущих стен и колонн СТП, вертикальные смещения верхнего свода в узле 8 составили -31 мм, а поднятие обратного свода в узле 24 +43 мм, при горизонтальных смещениях узлов, соответственно, +17 мм и +12 мм. Взаимное смещение этих узлов сводов (сближение) составило 74 мм (см. рисунок 3.16).

В сечениях левой части станции, расположенных в плоскости несущих стен и колонн СТП, вертикальные смещения верхнего свода в узле 75 ли -40 мм, а поднятие обратного свода в узле 90 +68 мм, при горизонтальных смещениях узлов, соответственно, +10 мм и +5 мм. Взаимное смещение этих узлов сводов (сближение) составило 108 мм (см. рисунок 3.15).

При этом, результирующие смещения узлов 8 и 75 верхнего свода станции составили, соответственно, 35мм и 41мм (см. рисунок 3.13).

На рисунке 3.17 приведена деформированная схема станции и встроенных конструкций при шарнирном опирании стен и колонн СТП.

Наблюдается поворот стен и колонн вправо относительно вертикальной оси станции и прогиб вверх перекрытий. Максимальное горизонтальное смещение правой стены верхнего яруса составило 215мм, левой – 113мм (см. рисунок 3.16). Поднятие правой стены – 130мм, левой – 172мм (см. рисунок 3.15). При этом, результирующие смещения верха стен составили: правой – 251мм, левой – 205мм (см. рисунок 3.13). С учетом опускания верхнего свода в точках 8 и 75, соответственно, на 35мм и 41мм предусмотренный в расчете зазор между стенами и верхним сводом станции в 250мм полностью исчерпан. Для обеспечения независимой работы стен верхнего яруса при шарнирном опирании колонн и стен СТП величина зазора для правой стены должна быть не менее 286мм.

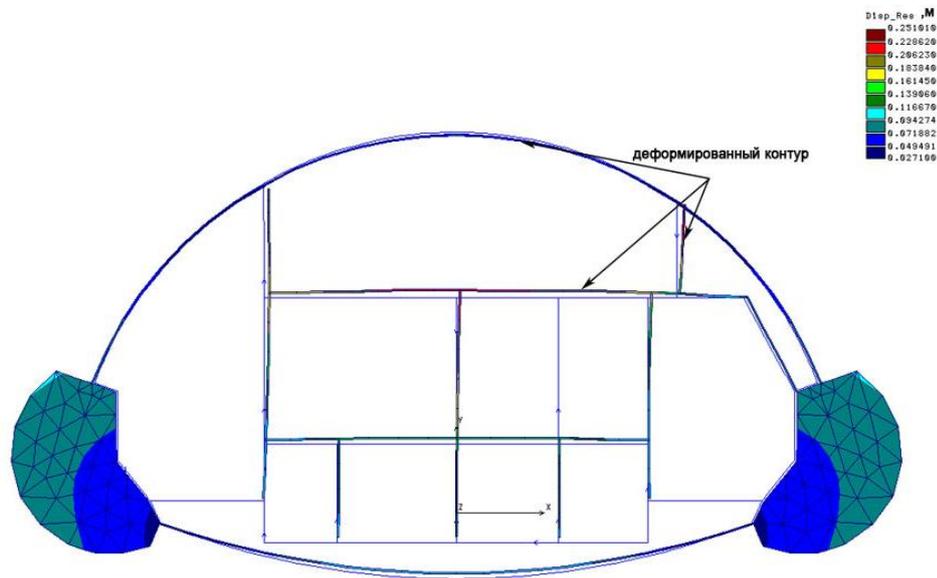


Рисунок 3.17 – Деформированная схема станции и встроенных конструкций при шарнирном сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, м

Затем проводились аналогичные расчеты при жестком примыкании стен и колонн СТП к путевому бетону. Абсолютные смещения узлов конструкции стан-

ции, полученные в соответствии с зависимостью (3.2), приведены на рисунке 3.18. На рисунках 3.19 и 3.20 приведены вертикальные и горизонтальные смещения узлов верхнего и обратного сводов станции, встроенных конструкций, а также, узлов опоры.

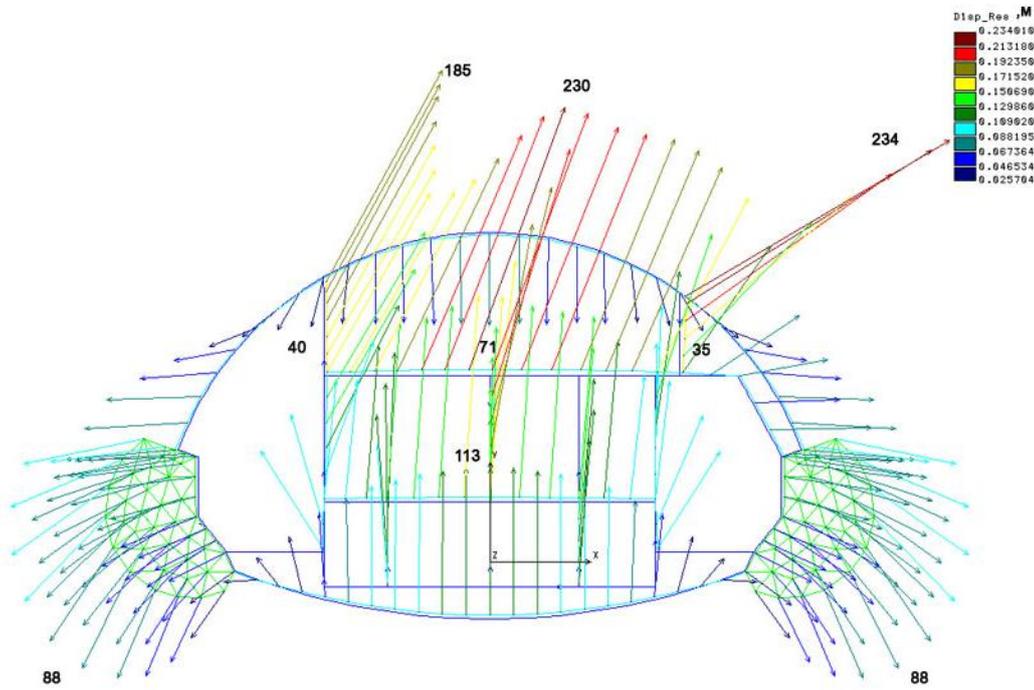


Рисунок 3.18 – Полные смещения узлов обделки станции и встроенных конструкций при жестком сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, мм

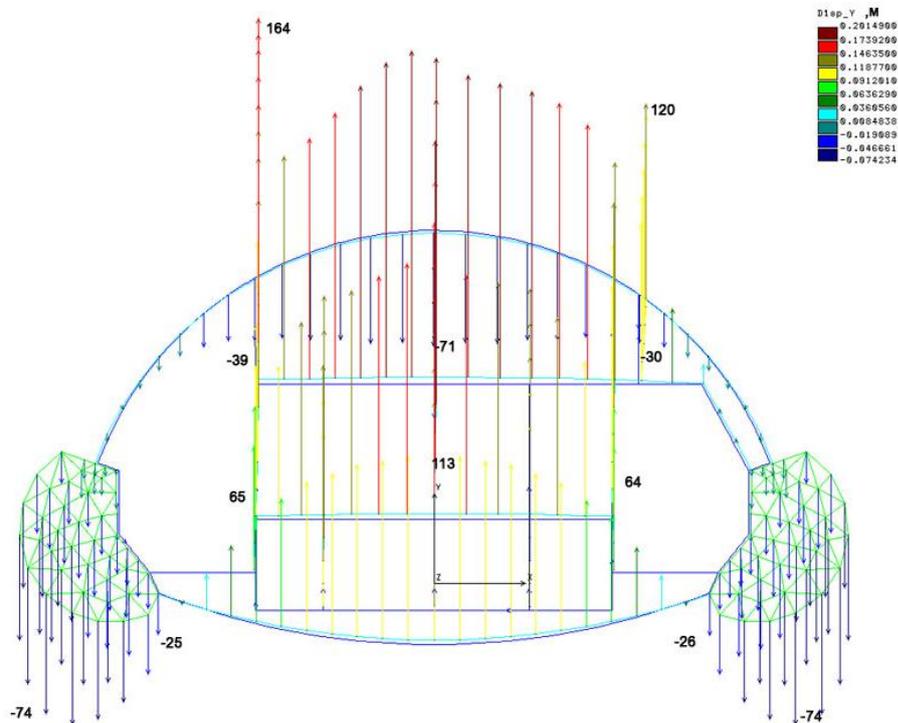


Рисунок 3.19 – Вертикальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции и встроенных конструкций при жестком сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, мм

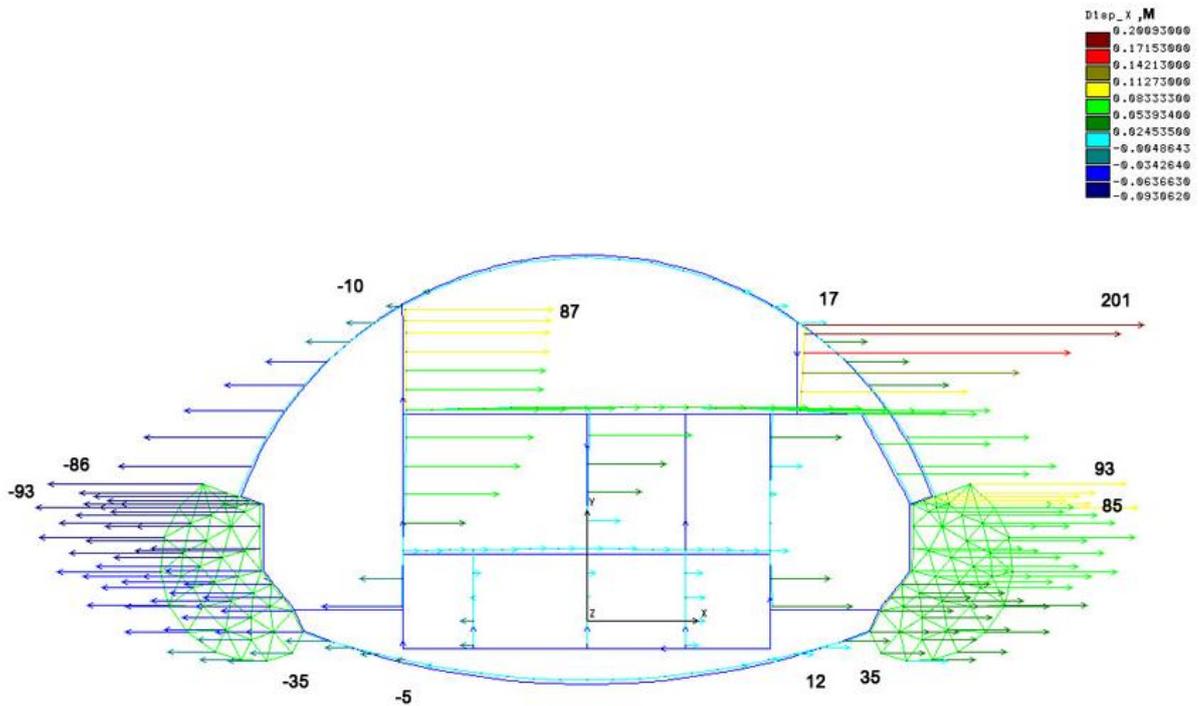


Рисунок 3.20 – Горизонтальная составляющая вектора результирующих перемещений узлов обделки станции и встроенных конструкций при жестком сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, мм

Анализ результатов расчета показывает, что условия опирания колонн СТП практически не оказывают влияния на смещения сводов и опор станции.

На рисунке 3.21 приведена деформированная схема станции и встроенных конструкций при жестком сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном. Как и в предыдущем случае наблюдается поворот стен и колонн вправо относительно вертикальной оси станции и прогиб вверх перекрытий. При этом, значения смещений узлов конструкции несколько меньше, чем в предыдущем случае. Максимальное горизонтальное смещение правой стены верхнего яруса составило 201мм, левой – 87мм (см. рисунок 3.19). Поднятие правой стены – 120мм, левой – 164мм (см. рис. 3.18). При этом, результирующие смещения верха стен составили: правой – 234мм, левой – 185мм (см. рисунок 3.19). С учетом опускания верхнего свода в точках 8 и 75, соответственно, на 35мм и 40мм предусмотренный в расчете зазор между стенами и верхним сводом станции в 250мм полностью исчерпан. Для обеспечения независимой работы стен верхнего яруса при жестком опирании колонн и стен СТП величина зазора для правой стены должна быть не менее 270мм.

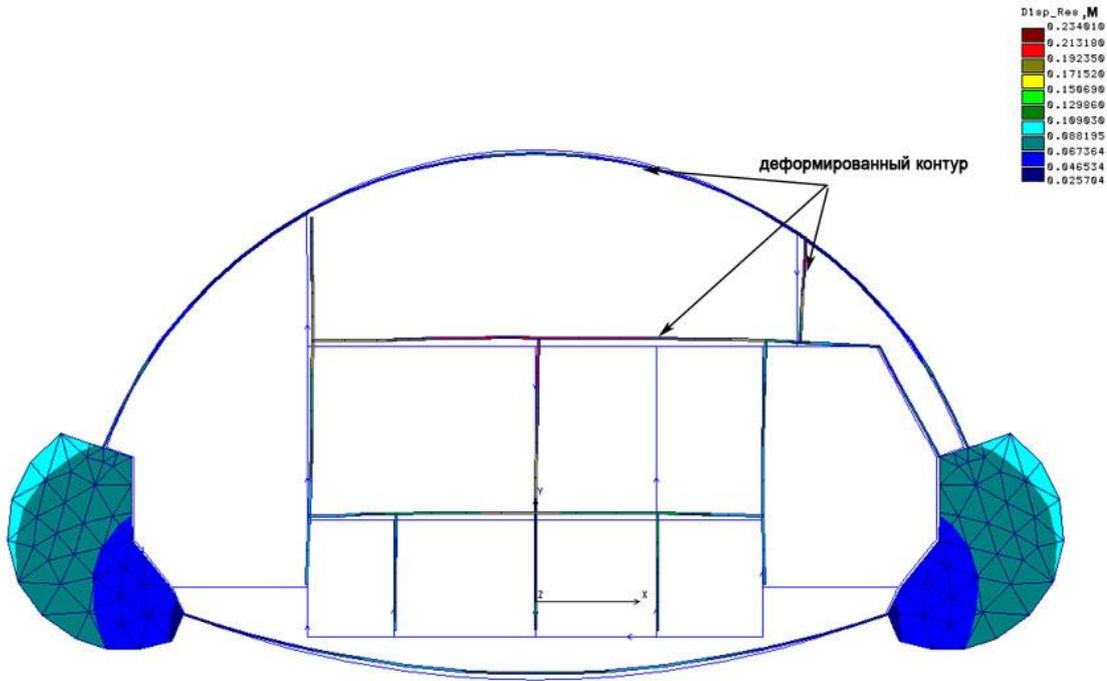


Рисунок 3.21 – Деформированная схема станции и встроенных конструкций при жестком сопряжении стен и колонн СТП с путевым бетоном, м

3.5. Выводы по главе 3

Результаты численного анализа деформированного состояния обделки односводчатой станции позволяют сделать следующие выводы.

1. Вертикальные смещения шельги верхнего свода в зависимости от нагрузки (глубины заложения) и качества обжатия обратного свода колеблются от 50 мм до 90 мм; вертикальные смещения (поднятие) по оси обратного свода при этом составляет от 60 до 150 мм. Некачественное разжатие или несвоевременное возведение обратного свода увеличивает значение смещений элементов обделки на 30-60%.

2. Суммарное сближение верхнего и обратного свода, таким образом, может находиться в пределах от 110 мм до 240 мм. Взаимные сближения верхнего и обратного сводов в узлах опирания элементов каркаса встроенных конструкций изменяются в пределах от 80 до 200 мм.

3. Горизонтальные смещения верха опор по наружному контуру составляют от 80 мм до 96 мм.

4. Верх стен и колонн СТП сдвигается относительно вертикальной оси станции из-за горизонтальных смещений, возникающих вследствие поворота опоры свода обделки, на которую опираются наклонные балки, обеспечивающие поперечную жесткость каркаса. Установлено, что максимальные горизонтальные смещения верха путевой стены СТП со стороны наклонных балок достигает 215мм, при этом стена поднимается до 130мм. С противоположной стороны верх стены смещается по горизонтали на 113мм и она поднимается на 172мм. Отсюда следует, что значения величин зазоров, которые должны оставляться между элементами каркаса встроенных конструкций и верхним сводом в плоскости крайний рядов, должны быть значительно больше, чем абсолютные расчетные величины сближения верхнего и обратного свода в этих плоскостях. Расчеты показали, что эти зазоры должны составлять не менее 250...300 мм.

5. Наблюдается неравномерный прогиб вверх перекрытий всех этажей СТП, обусловленный различными значениями подъема обратного свода (и жесткого основания) в точках опирания продольных стен подвала и первого этажа СТП.

6. Неравнозначные по величине деформации блоков обратного свода и опор станции приводят к неравномерному смещению жесткого основания в зоне расположения путей. При этом отмечается подъем жесткого основания в зоне расположения внутреннего рельса (до 30-60мм) и опускание основания в зоне расположения наружного рельса (ближнего к опоре) до 8...16мм.

7. Различные значения подъема блоков обратного свода (и жесткого основания) в точках опирания продольных стен перекрытий служебных помещений, а также несущих стоек пассажирской платформы являются причиной существенного снижения уровня их технического состояния.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Сравнительный анализ результатов математического моделирования и натуральных исследований.

Анализ результатов натуральных обследований и комплекса расчетно-теоретических исследований работы обделок односводчатых станций и встроенных конструкций, показывает, что подавляющая часть повреждений и деформаций встроенных конструкций в ходе длительной эксплуатации обусловлены именно деформациями несущей обделки, на которую опираются или в которую встроены эти конструкции. Дефекты встроенных конструкций, вызванные строительным браком, некачественными материалами или недостаточной несущей способностью составляют не более 5...7% от общего количества дефектов.

По результатам анализа можно с достаточной степенью достоверности установить причинно-следственную связь между деформациями элементов несущей обделки на различных участках станционного комплекса с характером и видом повреждений различных типов встроенных конструкций (Таблица 4.1)

В рамках диссертационной работы было проведено сравнение полученных расчетных данных с результатами наблюдений в ходе текущего содержания и специальных обследований станций. При этом сравнительный анализ выполнен на основании качественной картины измеренных и расчетных показателей деформированного состояния элементов конструкций. Количественная осадка полученных результатов не могла быть осуществлена по следующим причинам.

Во-первых, встроенные конструкции станций возводились не немедленно после сооружения обделки станции, а с определенным отставанием, которое в разных станциях было различным. Таким образом, часть деформаций сводов и смещений опор происходило до возведения внутренних конструкций, причем, чем больше составляет отставание в их возведении, тем меньше оказывается степень влияния на них деформаций обделки.

Таблица 4.1.

№	Встроенные конструкции	Причины дефектов
I.	Рамы проемов в зоне натяжных камер, подсводные арки проходов, торцевые стены проходов.	«раздавливание» при деформациях верхнего (+) и обратного (-) сводов обделки станции, связанные с отсутствием или недостаточным зазором между верхним сводом и конструкциями.
II	Облицовочные покрытия платформ, несущие элементы конструкций платформ и подплатформенных помещений.	Опирающие элементы конструкций на точки жесткого основания обратного свода, претерпевающие разные по значению вертикальные перемещения.
III	Несущие элементы каркаса служебных помещений в торце платформы.	Раздавливание перегородок, стоек каркаса, разрушения зонтов, связанные с отсутствием или недостаточностью конструктивных зазоров между верхним сводом и конструкциями. Расположение опорных узлов несущих стен и стоек каркаса в точках жесткого основания, претерпевающих не только различные по величине деформации, но и горизонтальные смещения в сторону от оси станции.
IV.	Несущие элементы каркаса тягово-понижительной подстанции, перегородки и зонты.	Раздавливание колонн каркаса и перегородок, связанные с отсутствием или недостаточным зазором между верхним сводом. Расположение опорных узлов несущих стен и стоек каркаса в точках жесткого основания, претерпевающих не только различные по величине деформации, но и горизонтальные смещения в сторону от оси станции. Смещения опор, обуславливающие деформации элементов каркаса, обеспечивающих поперечную жесткость, и вызывающие смещения всего каркаса в целом.

Во-вторых, при возведении станций время отстаивания в подведении обратного свода колебалось от 1-го до 2..3-х месяцев. Таким образом, часть деформаций верхнего свода и смещений опор происходило до замыкания обратного свода.

В-третьих, при возведении и начальной эксплуатации не были организованы постоянные и систематические наблюдения за смещениями элементов обделки. По оценкам разных исследователей [9, 10, 12, 13, 15, 33, 34, 48, 51, 85, 93] в первый год эксплуатации односводчатых станций происходит от 20% до 50% де-

формаций односводчатых конструкций. Поэтому при количественном сравнении расчетных и фактических деформаций в тех обследованных станциях, где такое сравнение было возможным, условно принималось, что до возведения встроенных конструкций произошло 25% деформаций.

Одновременно с этим, результаты обследований и характер выявленных дефектов могут быть в полной мере сравнены с качественной картиной деформаций, полученной в ходе расчетно-теоретических исследований. Такое сравнение рационально произвести по всем характерным блокам встроенных конструкций.

Несущие конструкции торцевых перегородок и рам проходов к эскалаторам.

Основные дефекты встроенных конструкций этих зон по своему характеру обусловлены взаимным сближением верхнего и обратного сводов, так как в первых станциях конструкции рам проходов и торцевых перегородок выполнены без технологических зазоров. Замеренные смещения по разрушенной стойке рамы прохода к эскалаторам станции «Пионерская» составляют около 120...130 мм, что примерно соответствует взаимному сближению сводов в плоскости стойки по расчетным данным для фактической глубины заложения станции - 150...160 мм.

Пассажирские платформы, подплатформенные помещения и кабельные коллектор, пути подвижного состава.

Все указанные конструкции опираются на обратный свод станции и зависят от его деформаций. Характер всех повреждений, выявленных в ходе специальных обследований, полностью соответствует деформированной схеме обратного свода и жесткого основания.

Продольные стены кабельных коллекторов и подплатформенных помещений, являющихся опорами плит покрытия платформы (см. рисунок 1.12), опираются на точки обратного свода (жесткого основания), имеющие различные по величине смещения обратного свода. Повреждения покрытий платформ выражены, в основном, в появлении и развитии продольных трещин, расположенных по линиям продольных стен служебных помещений, являющихся промежуточными

опорами для опирания плит покрытия платформы и имеющими значительно большие вертикальные смещения, по сравнению со стенами кабельных коллекторов, что полностью соответствует картине деформированного состояния обратного свода, полученного в результате расчетов. Разность вертикальных деформаций в точках опирания крайних и промежуточных стен для различных станций примерно соответствует по расчетным значениям графикам смещений, полученным в ходе наблюдений в ходе текущего содержания станций (см. рисунки 2.24; 2.25).

Другие массовые дефекты платформенных конструкций (трещины в опорных зонах плит, трещины сдвига в поперечных перегородках) также однозначно связаны с разностью вертикальных деформаций в их опорных зонах.

На эксплуатируемых станциях наблюдался подъем головки внутреннего рельса (ближнего к продольной стене подплатформенных коллекторов) до 16...18 мм, что полностью соответствует расчетной картине деформаций жесткого основания в зоне расположения пути. Одновременно с этим происходит опускание наружного рельса и зоны жесткого основания, примыкающей к опоре (см. деформированную схему на рисунок 3.19). Графики осадки путевых реперов, расположенных в зоне стыка тела опоры с жестким основанием пути для некоторых станций, приведены на графиках на рисунках 4.1..4.3.

Как видно из графиков, смещения путевых реперов наиболее интенсивно происходят в первые 3...5 лет эксплуатации, осадки постепенно снижается и стабилизируются к 20-му году эксплуатации.



Рисунок 4.1 – График смещений путевых реперов в зоне платформы «Ладожская»



Рисунок 4.2 – График смещений путевых реперов в зоне платформы «Проспект Большевиков»



Рисунок 4.3 – График смещений путевых реперов в зоне платформы станции «Пионерская»

Максимальные величины осадок составляют 70...80% от расчетных. Это связано с тем, что путевой бетон и пути укладываются с отставанием от возведения обделки станции до 4-х...6-ти месяцев и часть деформаций протекает до их устройства.

График смещений путевых реперов на станции «Пионерская» имеет некоторые особенности. Интенсивный рост осадок происходил в первые 8..10 лет после начала эксплуатации, затем зафиксирован некоторый подъем путевых реперов. По-видимому, это связано с некачественным обжатием обратного года в период строительства, при этом опоры в начальный период получали большие по-

вороты и вертикальные смещения. После выбора зазоров в ходе деформирования обделки, происходило перераспределение смещений, сопровождавшееся некоторым подъемом прилегающего к опоре блока и выпором вверх путевого бетона вдоль грани опоры станции.

Встроенные конструкции служебных помещений.

Блок служебных помещений симметричен относительно продольной оси станции и не имеет поперечных связей с опорами станции. Согласно результатам расчетно-теоретических исследований, в этом случае дефекты внутренних конструкций должны быть связаны с двумя факторами:

- раздавливанием перегородок между верхним и обратным сводами в случае отсутствия или недостаточной величины зазоров между перегородками и верхним сводом;

- неравномерным подъемом перекрытий и трещинообразованием в зоне опорных частей перекрытий из-за разных величин подъема обратного свода (жесткого основания) в местах опирания продольных и поперечных несущих стен.

Фактическая картина повреждений, выявленных в ходе обследования, полностью соответствует расчетному характеру деформаций обделки. В конструкциях обследованных станций широко представлены как дефекты, связанные с взаимным сближением сводов (раздавливание стен и перегородок, отрыв кламмеров и деформации зонтов), так и дефекты, связанные с неравномерными деформациями обратного свода (разрушение ребер плит перекрытий в опорных зонах, трещинообразование в теле перекрытий и покрытиях полов, трещины в косоурах лестниц).

На станции «Пионерская» были произведены замеры прогиба плиты вентиляторной (см. рисунок 2.30), расположенной в районе продольной оси станции, на которую опиралась продольная перегородка коридора к СТП, возведенная в распор с верхним сводом. Величина прогиба составила 160 мм, что составляет примерно 80% от расчетной величины взаимного сближения сводов. Величина отрыва кламмеров от тела зонтов в районе путевых стен составила по результатам обследования 80...100 мм, по расчетным данным сближение сводов в этой плоско-

сти составляет 110...130 мм. Таким образом, с учетом «свободных» деформаций обделки в результате отставания в возведении внутренних конструкций, расчетные величины смещений хорошо согласуются с результатами обследования.

Зоны совмещенных тяговых подстанций (СТП).

Встроенные конструкции СТП несимметричны относительно продольной оси станции и имеют поперечные распорные элементы (наклонные стойки, опирающиеся на опоры), обеспечивающие поперечную жесткость каркасов. Согласно данным расчетно-теоретических исследований в этом случае возникновение и развитие дефектов обуславливается тремя основными факторами:

- взаимным сближением сводов, вызывающим раздавливание элементов каркаса и путевых стен между верхним и обратным сводами в случае отсутствия или недостаточности зазоров между верхом конструкций и верхним сводом;

- неравномерным поднятием обратного свода в точках опирания элементов каркаса, стен и перегородок, что приводит к трещинообразованию в зоне опорных частей перекрытий, трещинам в перекрытиях и покрытиях полов, деформациям конструкций лестничных маршей, трещинам в поперечных стенах и перегородках;

- наличием поперечных деформаций каркаса и продольных стен из-за смещения опор, на которые опираются элементы, обеспечивающие поперечную жесткость каркаса.

В последнем случае дефекты должны выражаться в нарушении стыков элементов поперечной жесткости, сдвигом наклонных стоек по опорным площадкам, наличием горизонтальных трещин в путевых стенах, сдвигами в зонах плит опирания плит перекрытий. Результаты расчета также показывают, что из-за наклона конструкций необходимые зазоры в плоскостях наружных элементов каркаса стен должны быть больше величины взаимного сближения сводов.

Фактическая картина дефектов в зонах СТП по своему характеру полностью совпадает с расчетным прогнозом (см. деформированную схему на рисунке 3.13). Факты раздавливания элементов каркаса и перегородок наблюдаются на всех станциях постройки до 1986 года, где не были предусмотрены конструктивные

зазоры. Показательным является тот факт, что, несмотря на произведенные в 1986...1987 г.г. вырубки стен и элементов каркаса на величину 150...180 мм в ряде станций («Проспект Большевиков», «Черная речка», «Пионерская»), эти мероприятия не привели к прекращению процессов раздавливания. Это подтверждает результаты расчетных исследований, согласно которым зазоры в области крайних плоскостей каркаса между верхом конструкций и сводом из-за наклона каркасов должны быть больше, чем величина сближения сводов и составлять, в зависимости от глубины заложения конструкции, не менее 200...300 мм.

В конструкциях СТП ярко выражены также дефекты, вызванные неравномерным подъемом обратного свода в точках опирания элементов каркаса и стен. Они проявляются в нарушениях стыков плит перекрытия, деформациях и трещинообразовании в перекрытиях и покрытиях полов, наличия многочисленных наклонных трещин в поперечных перегородках.

Дефекты и разрушения, вызванные поперечными деформациями каркаса, выражаются в разрушениях и сдвигах в узлах сопряжения наклонных стоек, опирающихся на опоры, и жестко связанных с ними надпутевых балок, обеспечивающих поперечную жесткость каркаса и повышенном трещинообразовании в путевых стенах и продольных перегородок в виде наклонных и горизонтальных трещин. Следует особо отметить, что по причине воздействия поперечных деформаций, все дефекты встроенных конструкций имеют большее развитие и интенсивность, чем в зонах служебных и подплатформенных помещений. Это выражается как в увеличении размеров раскрытия трещин и повышении степени нарушения всех стыковочных узлов, так и в общем количестве дефектов. Специальные обследования выявили, что количество дефектов в зонах СТП составляет 45...53% от общего объема дефектов всего комплекса встроенных конструкций.

Таким образом, анализ результатов обследований станций и результатов расчетно-теоретических исследований показывает, что подавляющее количество дефектов и повреждений встроенных конструкций вызваны смещениями элементов несущей обделки, на которые опираются элементы их несущих каркасов. Перемещения несущих элементов обделки односводчатых станций носят пролонги-

рованный характер, с затуханием в течение длительного периода времени, и указанный фактор должен рассматриваться в качестве одного из объективных параметров условий эксплуатации, который следует принимать во внимание как на стадии эксплуатации уже введенных в действие объектов, так и на стадии проектирования новых стационарных комплексов.

Специфические условия статической работы встроенных в односводчатые станции конструкций, приводящие к снижению их технического уровня в процессе длительной эксплуатации, обуславливают необходимость как совершенствования существующих объемно-планировочных и конструктивных решений, так и разработку новых.

Результаты расчетно-теоретических исследований хорошо согласуются с результатами специальных обследований и на их базе можно разрабатывать обоснованные рекомендации по разработке конструктивных решений встроенных конструкций, не подверженных негативным воздействиям при деформировании обделки в ходе длительной эксплуатации.

4.2. Рекомендации по проектным решениям встроенных конструкций односводчатых станций

Специфические условия статической работы встроенных в односводчатые станции конструкций, приводящие к снижению их технического уровня в процессе длительной эксплуатации, обусловили необходимость как совершенствования существующих объемно-планировочных и конструктивных решений, так и разработку новых.

Как показал анализ результатов натурного обследования и данных расчетно-теоретических исследований, встроенные конструкции односводчатых станций имеют достаточно сложные и не всегда рациональные проектные решения, что способствует развитию в них повреждений и усложняет их текущее содержание. Анализ проектных решений встроенных строительных конструкций показывает, что для них использованы, преимущественно, такие традиционные материа-

лы как бетон, железобетон, кирпичная кладка, цементные и цементно-песчаные растворы. Одним из основных недостатков перечисленных строительных материалов, которые могут быть классифицированы как искусственные каменные материалы, является невысокая прочность их при работе на восприятие растягивающих напряжений. Это обуславливает низкую трещиностойкость строительных конструкций. Большое отношение величин расчетных сопротивлений при работе на сжатие и на растяжение даже в условиях предсказуемой картины деформаций обделки, не всегда позволяет адекватно оценивать и учитывать их напряженно-деформированное состояние при проектировании встроенных строительных конструкций.

Строительные конструкции из искусственных каменных материалов, обладая высокой жесткостью, достаточно остро реагируют на появления в их сечениях растягивающих напряжений, в том числе, вызванных неравномерными перемещениями основания (элементов обделки под ними), что в полной мере выявлено в ходе обследований. Очевидно, что применение конструкций из каменных материалов в условиях перемещений элементов тоннельных обделок, изменяющихся во времени, не является рациональным.

Следует отметить, что плотности искусственных каменных материалов обычно находятся в диапазоне $1.8 \text{ т/м}^3 \dots 2.5 \text{ т/м}^3$, что обуславливает значительную массу встроенных конструкций и значительные нагрузки на них от их же собственной массы, большие затраты на транспортировку к месту строительства. Значительное количество элементов конструкций изготавливались на месте (кирпичные стены и перегородки, монолитные бетонные и железобетонные конструкции), что является нерациональным.

В связи с отмеченным выше, вопрос о разработке новых конструктивных решений, принципиально отличающихся от традиционно применяемых в настоящее время для встроенных конструкций, является, безусловно, актуальным.

На основе анализа результатов исследований автором предложен ряд мероприятий, повышающих эксплуатационную надежность стационарного комплекса,

объединяющего под единым сводом в последовательной схеме все пристанционные сооружения.

При поиске новых конструктивных решений необходимо опираться, в первую очередь, на факт неизбежности перемещений элементов обделки станционного тоннеля в течение длительного периода времени после строительства. При этом данные накопленного опыта эксплуатации встроенных конструкций, и результаты проведенного численного анализа, позволяют сформулировать принципы, которые могли бы позволить, в дальнейшем, исключить повторения имеющих в настоящее время негативных ситуаций.

Как отмечалось в предыдущей главе, основными причинами, вызывающими появление дефектов в элементах встроенных строительных конструкций, следует считать:

- взаимное сближение верхнего и обратного сводов, приводящее к раздавливанию элементов каркаса и путевых стен;
- опирание элементов каркаса, стен и перегородок на блоки обратного свода с различными значениями вертикальных смещений;
- наличием поперечных деформаций каркаса и продольных стен из-за смещения опор.

С учетом вышеизложенного решение проблемы, по нашему мнению, следует искать по двум направлениям:

- во-первых, на пути совершенствования конструкции и технологии возведения обделки односводчатых станций, направленные на снижение их деформативности при эксплуатации, в первую очередь, деформативности обратного свода (например, путем увеличения радиуса кривизны обратного свода, увеличения толщины блоков обратного свода, установление оптимальной схемы и величин усилия обжатия обратного свода);
- во-вторых, на пути совершенствования проектных решений встроенных конструкций, учитывающих особенности работы обделок станций односводчатого типа в эксплуатационный период.

По нашему мнению, при поиске новых конструктивных решений для встроенных строительных конструкций односводчатых станций, следует руководствоваться следующими основными принципами, а также рекомендациями и требованиями, изложенными в технической литературе [22, 23, 26, 69, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 90, 91].

Встроенные строительные конструкции должны иметь минимальное количество опорных узлов (мест опирания, мест контакта) с элементами тоннельной обделки, что может существенно снизить степень влияния перемещений обделки на их напряженно-деформированное состояние.

Целесообразно совмещать расположение опор каркасов встроенных конструкций с «точками равного подъема» (смещения по вертикали) обратного свода обделки станционного тоннеля.

При разработке компоновочного решения встроенных строительных конструкций следует исключать влияние на их напряженно-деформированное состояние перемещений как верхнего, так и обратного сводов обделки станции. Это достигается организацией деформационных зазоров между элементами каркасов и верхним сводом станции. При этом величина этих зазоров должна быть обоснована расчетом суммарной деформации верхнего и обратного сводов каждой конкретной станции.

Следует отказаться от применения для встроенных строительных конструкций относительно мощных стен и перегородок, выполняемых из искусственных каменных материалов (кирпича, бетона), ввиду свойственных для них отрицательных качеств, таких, как низкие показатели по трещиностойкости и острое реагирование на смещения смежных с ними несущих конструкций. При проектировании этих элементов целесообразно использовать самонесущие современные сборные легкие перегородки офисного типа, собираемые на монтаже из негорючих материалов по металлическому каркасу (например, из гипрокартона, стеклопакетов, профилированных стальных листов и т.п.).

Рационально использовать принцип гибкой планировки встроенных в объем станции помещений, позволяющий без существенных затрат выполнить, при

необходимости, изменение конфигурации встроенных помещений при возможных изменениях технологических процессов или применения нового технологического оборудования.

Целесообразно применять для несущих встроенных конструкций строительные материалы, обладающие достаточно высокими физико-механическими характеристиками. Возможно использовать для указанных целей металлические конструкции из нержавеющей стали, из слоистых пластиков и других современных эффективных строительных материалов. Для обеспечения пожарной безопасности и коррозионной стойкости несущие металлические конструкции должны иметь защитную обмазку или футеровку. Полые металлические стержни (трубчатого поперечного сечения – квадратного, прямоугольного, круглого) следует проектировать с внутренним наполнением в виде арматурного каркаса, залитого бетонной смесью. Заполнение бетоном в этом случае производится после окончания монтажных работ встроенных конструкций через специальные отверстия, завариваемые после окончания бетонирования. Внутреннее железобетонное заполнение замкнутых металлических профилей предназначено для сохранения прямолинейной (проектной) формы несущими металлоконструкциями при любой температуре возможного пожара (формосохраняющее мероприятие).

Соединения элементов встроенных строительных конструкций следует проектировать без применения сварки на месте монтажа. Следует, преимущественно, использовать монтажные скрепления на высокопрочных болтах, самонарезающих болтах и винтах, обеспечивающих жесткие соединения и, практически, исключая влияние на качество соединений «человеческого фактора». Применение перечисленных соединений многократно апробировано в наземном строительстве и показало свою надежность. Как показывает опыт обследований, при проведении сварочных работ на монтаже в стесненных условиях, в большом числе случаев, не в полной мере соблюдаются технические условия наложения сварных швов и, как правило, не производится в полной мере комплекс мероприятий по контролю их качества. Кроме того, применение сварки в стесненных подземных условиях имеет известные технологические недостатки. Область применения

сварных соединений следует ограничить заводскими условиями при изготовлении монтажных марок встроенных конструкций.

С целью повышения коррозионной стойкости металлических встроенных конструкций, целесообразно применение замкнутых профилей (гнуто сварных труб квадратной или прямоугольной конфигурации, круглых труб, замкнутых сечений, сваренных из парных швеллеров и т.п.), имеющих относительно меньшие площади поверхностей соприкосновения с окружающей средой по сравнению с другими формами профилей. Все металлические конструкции и детали должны быть защищены от коррозии с использованием для этой цели современных антикоррозионных покрытий, преимущественно, с яркими сигнальными подстилочными слоями.

При проектировании каркасной системы встроенных конструкций целесообразно использовать приемы искусственного регулирования внутренних усилий, направленные на снижение напряжений в наиболее нагруженных сечениях элементов системы при приложении к ней эксплуатационных нагрузок. Возможно использование: разнообразных известных приемов предварительного напряжения металлических конструкций; приложение сосредоточенных грузов к консолям рам встроенного каркаса с целью разгрузки пролетных участков ригелей рам; приложения к консолям рам сил распора от арочного каркаса водозащитного зонта с искусственно создаваемым эксцентриситетом относительно продольных осей ригелей рам и др.

Необходимо, по возможности, ограничить использование «мокрых» работ, связанных с применением на месте монтажа монолитного железобетона. Однако применение монолитного железобетона может быть оправдано в конструкциях перекрытий при реализации современных технологий доставки и укладки бетонной смеси. В качестве несъемной опалубки для монолитных железобетонных перекрытий встроенных конструкций возможно применение стальных профилированных листов с установкой в гофрах настила арматуры с последующей укладкой бетонной смеси.

Необходимо обеспечить пространственную неизменяемость встроенных строительных конструкций за счет:

- собственной жесткости рам встроенного каркаса, как в поперечном, так и в продольном направлениях;
- системы вертикальных связей, устанавливаемых в направлениях из плоскостей рам встроенного каркаса;
- жесткости встроенных перекрытий (или встроенного перекрытия), образующих горизонтальные диафрагмы жесткости;
- жесткости железобетонных элементов станционной платформы, образующих горизонтальную диафрагму, которая является для стоек рам встроенного каркаса промежуточными жесткими распорками;
- дополнительных связей стоек рам каркаса с основанием под их базами;
- использования конструкций лестничных коммуникаций в качестве дополнительных связевых элементов.

Водозащитные зонты следует проектировать в ремонтно-пригодном варианте в виде легких стальных каркасов со съемными панелями, закрепляемых на встроенных конструкциях без возможности контакта с верхним сводом обделки станционного тоннеля при его деформациях.

Следует реализовать принцип типизации – создания каталога объемно-планировочных решений встроенных строительных конструкций для торцевых участков станций односводчатого типа, а также узлов и деталей, адаптированных к вариантам возможных конструктивных решений.

Важно осуществить принцип обратной связи во взаимодействии эксплуатационных структур метрополитена и проектной организации в части гибкого реагирования на возможные проблемные вопросы, которые могут возникнуть при эксплуатации встроенных конструкций. Результаты проводимых обследований эксплуатируемых встроенных конструкций с анализом выявленных дефектов должны в кратчайшие сроки доводиться до проектной организации, которая, в случае необходимости, может принять решение о внесении корректирующих из-

менений в проектную документацию на строительство последующих объектов аналогичного типа.

Ниже приводятся предложения по конкретным конструктивным решениям пассажирских платформ и СТП.

Конструкция пассажирской платформы и подплатформенных помещений.

Как отмечалось выше, основной причиной деформаций элементов подплатформенных помещений, разрушений плит покрытия и деформации облицовочных покрытий является опирание основных элементов каркаса (продольных стен коллекторов и служебных помещений) на точки обратного свода с разной высотой подъема. Этому фактора можно избежать, выполнив несущие конструкции платформы в виде двухконсольной рамы, разместив несущие продольные стены на точках равных деформаций жесткого основания (рисунок 4.4).

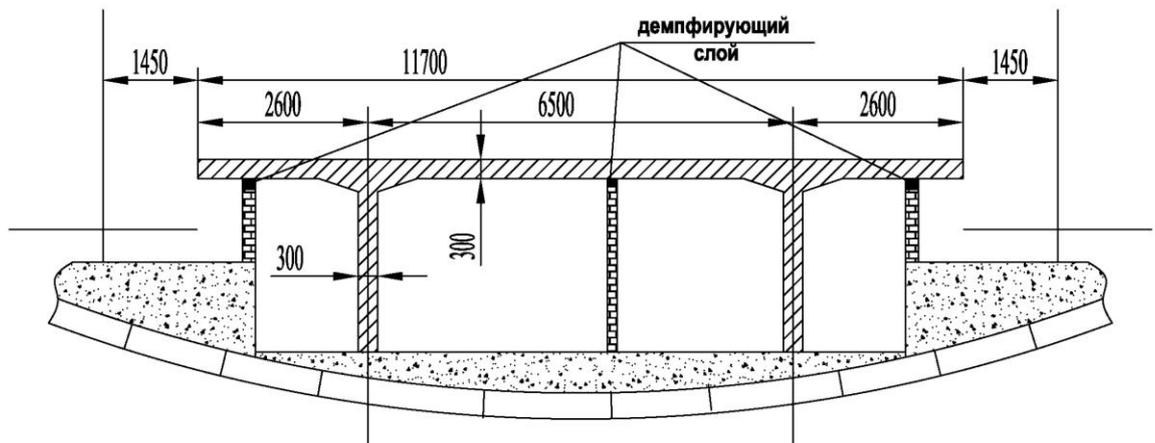


Рисунок 4.4 – Предлагаемая конструкция платформы

Конструкция полностью выполняется из монолитного железобетона. Основными несущими элементами являются стены коллекторов, опертые или заделанные в жесткое основание обратного свода в точках, симметричных относительно продольной оси несущей обделки. Все остальные внутренние перегородки (наружные стены коллекторов, продольные и поперечные стены служебных помещений) выполняются самонесущими с устройством демпфирующих зазоров, компенсирующих величину вертикальных смещений обратного свода.

Места расположения опорных стен определены из учета равенства опорных и пролетного момента, что позволяет оптимизировать армирование и улучшить статическую работу конструкции (рисунок 4.5).

Предлагаемая конструкция обладает рядом несомненных преимуществ. Платформа просто приподнимается на величину вертикальных смещений обратного свода, не испытывая силовых воздействий. Конструкция исключает применение многочисленных типоразмеров элементов (плит перекрытия, стеновых панелей, закладных деталей и проч.).

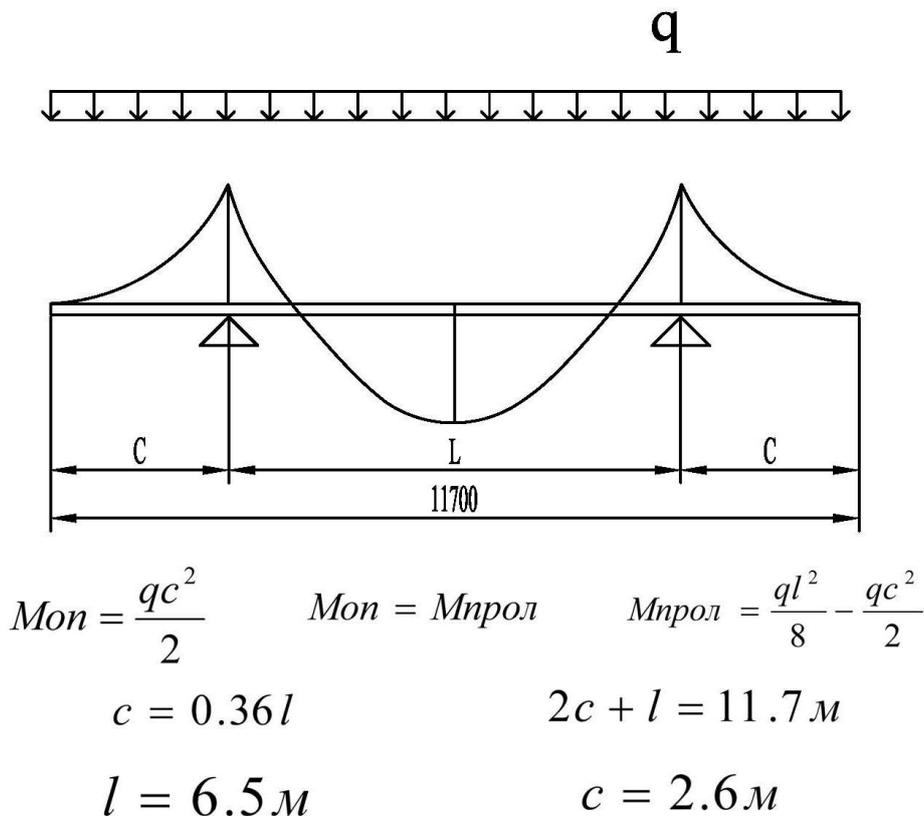


Рисунок 4.5 – Схема к определению рационального размещения опорных стен платформы.

Пространство под платформой предоставляет широкие возможности для внутренней компоновки служебных помещений за счет возможности произвольного расположения самонесущих перегородок.

Предлагаемое конструктивное решение позволяет индустриализировать процесс сооружения платформы, применив передвижную (или переставную) опалубку (рисунок 4.6).

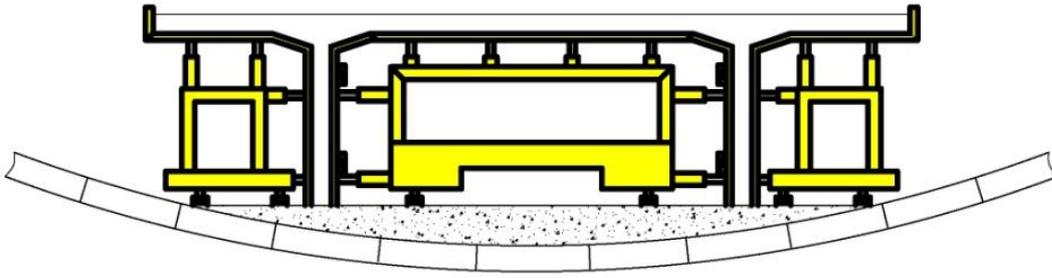


Рисунок 4.6 – Схема передвижной опалубки для сооружения платформы.

Аналогичную конструкцию можно выполнить и из сборного железобетона.

Конструкция СТП

Автором предложено конструктивное решение встроенных помещений СТП с использованием в качестве несущих элементов каркаса из металлических конструкций. Решение разработано для станции «Новочеркасская».

Существующая на этой станции компоновка показана на рисунке 4.7.

На рисунке 4.8. приведено решение встроенных конструкций, разработанное автором.

Расположение опор СТП совмещено с «точками равного подъема» (смещения по вертикали) обделки обратного свода станционного тоннеля. Исключено опирание элементов каркаса на опоры станции, претерпевающие смещения в ходе эксплуатации. Жесткость каркаса обеспечивается собственной жесткостью рам каркаса, как в поперечном, так и в продольном направлениях.

В Приложении 1 приводится более подробное описание, фрагменты конструктивного решения каркаса СТП, армирования плиты перекрытия и соответствующие расчеты.

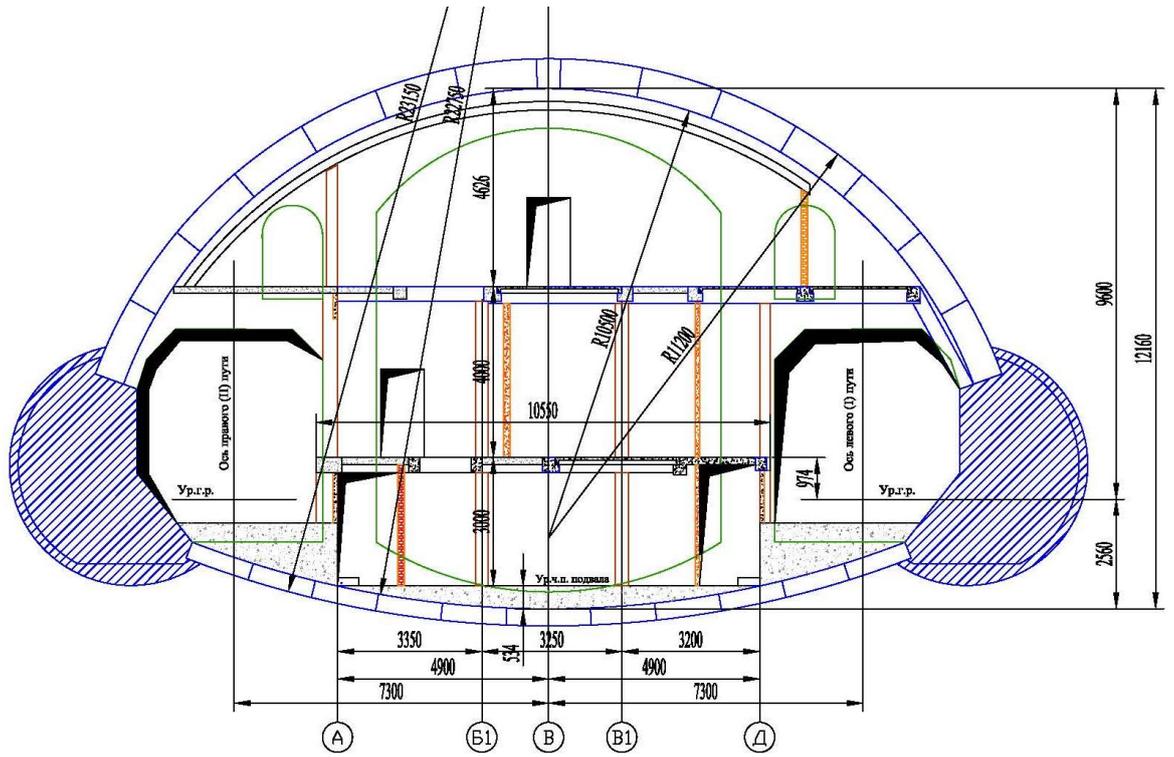


Рисунок 4.7 – Станция «Новочеркасская. Поперечный разрез в зоне СТП.

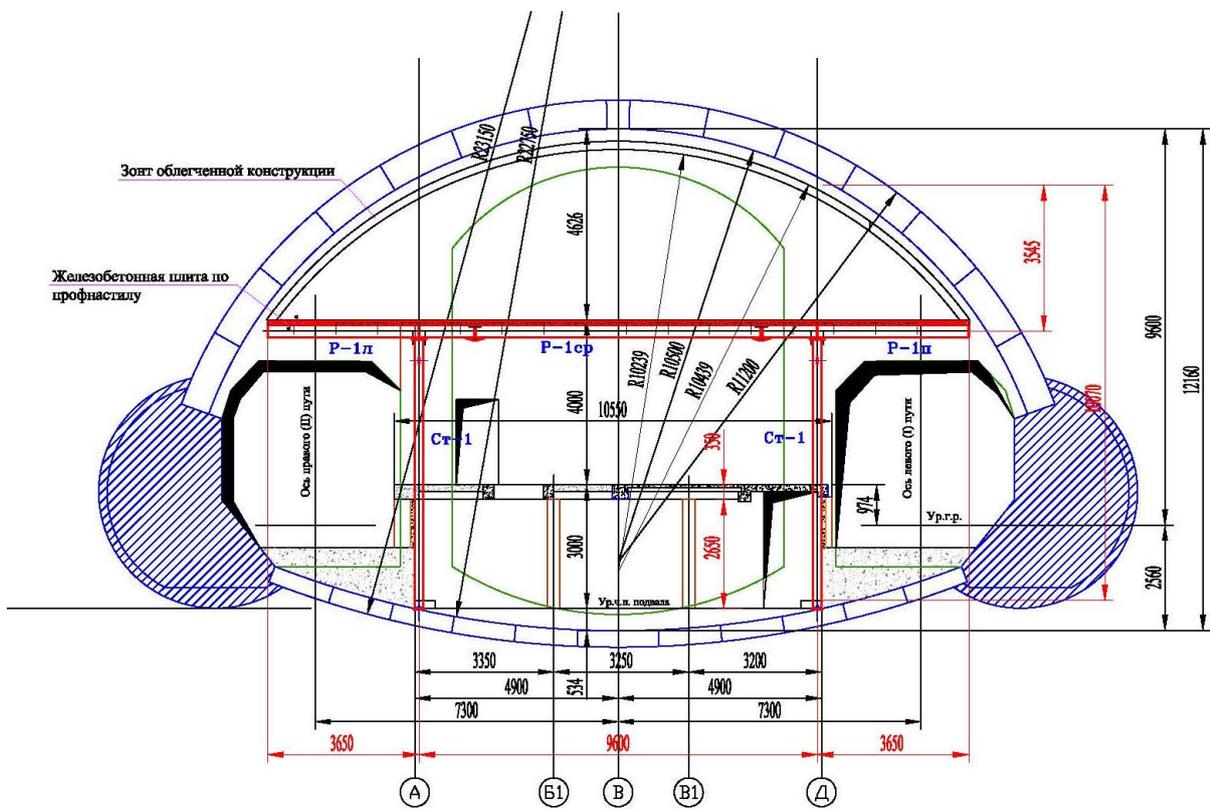


Рисунок 4.8 – Предлагаемое компоновочное решение встроенных конструкций в зоне СТП

Реализация сформулированных выше принципов и рекомендаций, разработанных по результатам обследования и расчетно-теоретических исследований на объектах Петербургского метрополитена, позволит:

- устранить причины появления большинства дефектов встроенных строительных конструкций, возникающих в процессе эксплуатации;
- улучшить эксплуатационные качества односводчатых станций метрополитена со встроенными конструкциями;
- существенно уменьшить эксплуатационные затраты, в частности, на текущий и капитальный ремонт встроенных строительных конструкций.
 - снизить материальные затраты на строительство станций метрополитена односводчатого типа;
 - повысить надежность и долговечность встроенных строительных конструкций односводчатых станций.

4.3. Рекомендации по текущему содержанию и организации контроля технического состояния односводчатых станций в процессе эксплуатации

Надлежащее техническое состояние тоннельных сооружений Петербургского метрополитена осуществляет Служба тоннельных сооружений.

Содержание тоннельных сооружений метрополитена - это комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасного и бесперебойного движения поездов и пассажиров в течение всего срока службы сооружений. Эти мероприятия реализуются посредством непрерывного надзора за техническим состоянием тоннельных сооружений [22, 24, 29, 30, 47, 77, 78, 81, 91].

Надзор за техническим состоянием тоннельных сооружений возлагается на дистанции тоннельных сооружений. Каждая дистанция обслуживает одну-две линии метрополитена. Дистанция разделена на несколько околотов, каждый из которых включает 2-3 перегона со станциями. Надзор за состоянием тоннельных сооружений включает: осмотры и наблюдения, выполняемые с определенной пе-

риодичностью; надзор за сооружениями, нуждающимися в особом контроле; специальные обследования. Особая роль в организации, проведении и оценке технического состояния тоннельных сооружений отводится Тоннельно-обследовательской испытательной станции (ТОИС).

Особый режим наблюдений устанавливается для сооружений имеющих повреждения, дефекты или деформации, которые при своем дальнейшем развитии могут снизить уровень эксплуатационной надежности сооружения. Такие сооружения нуждаются в особом контроле.

Проведенные нами исследования дают основание отнести к таким объектам односводчатые станции со встроенными конструкциями, что обуславливает необходимость разработки и выдачи обоснованных рекомендаций по текущему содержанию этих сооружений и по организации контроля их технического состояния.

Разработанная автором «Инструкция по содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена» [47] является дополнением к «Инструкции по содержанию искусственных сооружений Петербургского метрополитена» в части обеспечения эксплуатационной надежности подземных односводчатых станций с учетом особенности их конструктивного исполнения, включая входящие в объем станции сооружения, узлы, помещения и конструкции.

В инструкции определен перечень технической документации, которая должна быть в наличии в подразделениях:

- проектная и исполнительная документация на односводчатые станции;
- техническая документация по результатам надзора за несущими элементами станции и за встроенными конструкциями, в период эксплуатации;
- техническая документация по содержанию объекта (технологические карты и процессы, технические паспорта, правила и инструкции);
- техническая документация по результатам капитального ремонта, модернизации, реконструкции (типовые решения, проекты производства работ, проекты организации строительства, акты скрытых работ и пр.);

– результаты инструментальных измерений, включающих параметры замеров осадок земной поверхности, результаты наблюдений за осадками и деформациями сводов, конструкций встроенных сооружений.

В инструкции также сформулированы задачи надзора за сооружениями односводчатых станций:

- предупреждение и своевременное выявление неисправностей, дефектов, повреждений и осложнений;
- разработка рекомендаций по содержанию объекта в исправном, работоспособном техническом состоянии;
- планирование работ по ликвидации неисправностей, дефектов, повреждений и осложнений;
- планирование работ по содержанию объекта в эстетически опрятном виде;
- планирование работ по текущему содержанию, текущему и капитальному ремонтам;
- разработка планов на обследование технического состояния объектов;
- контроль ведения технической документации и соблюдения норм безопасности движения.

Особое внимание в инструкции уделено причинам повреждения встроенных конструкций и видам их проявления по каждому типу сооружения. Причины повреждений сформулированы в инструкции в соответствии с выводами, изложенными в главе 3 и Таблице 4.1.

Так, указано, что в зоне натяжной и затворной камеры наиболее характерные дефекты:

- трещины в стенах и перегородках;
- трещины в лобовой (торцевой) стене;
- отрыв полок ребристых железобетонных плит перекрытия от их ребер;
- трещины в плитах перекрытия;
- трещины между картинами водоотводящих зонтов, сколы и смятия;

- смятие элементов встроенных конструкций в зоне контакта с верхним сводом тоннельной обделки.

Наиболее характерными дефектами платформенных участков со встроенными подплатформенными помещениями являются:

- трещины вдоль швов между сборными железобетонными элементами (стеновыми панелями; платформенными плитами перекрытия), появление которых вызвано перемещениями под нагрузками обратного свода в сторону объема станции;
- трещины по линии контакта ребер платформенных плит перекрытия со стеновыми панелями;
- непроектное опирание платформенных плит перекрытия на путевые стеновые панели без обеспечения проектных площадей опирания;
- повреждения плит перекрытия в виде трещин;
- наличие трещин в стыках и теле водозащитных зонтов;
- наличие раскрытия продольных стыков между плитами облицовки полов платформенного участка.
- наличие регулярного увлажнения элементов подплатформенных помещений.

Наиболее распространенными дефектами в зоне служебных помещений и санузлов ГО перед СТП являются трещины во внутренних перегородках и стенах, облицованных мрамором (дефект облицовки); повреждение стыков картин водозащитных зонтов; повреждения конструкции перекрытия над санузлами (трещины в центрах пролетов, наклонные трещины в ребрах и поперечные трещины в полках сборных плит перекрытия); отрыв перегородок от поперечных рам по линиям их сопряжения.

Характер повреждений, возникающих в зоне СТП аналогичен основным нарушениям, возникающим в ходе эксплуатации в зоне встроенных служебных помещений. Основные повреждения представлены трещинами и отслоениями штукатурного слоя во внутренних перегородках и стенах со стороны путевых

тоннелей; повреждениями стыков картин водозащитных зонтов и их поднятием над опорными столиками; выдавливанием демпфирующего слоя; трещинами и пустотами с обнажением армирования в колоннах; увлажнениями по стенам помещений подвальной части; протечками из стыков между блоками стационарной обделки; разрушениями опорных балок, обеспечивающих жесткость каркаса и возможность использования дополнительного строительного объема.

Далее в инструкции приведены данные по периодичности осмотров встроенных конструкций односводчатых станций, порядок их содержания и текущего ремонта.

Общий порядок текущего содержания и текущих ремонтов регламентирован главой 4 «Инструкции по содержанию искусственных сооружений Петербургского метрополитена» [30]. Порядок выполнения работ по капитальному ремонту регламентирован главой 5 «Инструкции по содержанию искусственных сооружений Петербургского метрополитена» [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Конструктивно-технологические решения односводчатых станций, позволяют, по сравнению с колонными и пилонными станциями, сократить долю ручного труда при строительстве, уменьшить стоимость и сроки строительства, увеличить пропускную способность на единицу площади пассажирской платформы. К существенному преимуществу такого типа станций следует отнести рациональное объемно-планировочное решение станционного комплекса за счет размещения в едином конструктивном объеме всех вспомогательных сооружений и устройств, обеспечивающих четкую организацию движения поездов, удобное и безопасное обслуживание пассажиров. Однако в процессе достаточно длительной эксплуатации станций со встроенными сооружениями (30 лет) выявлены негативные проявления, снижающие уровень технического состояния встроенных конструкций.

2. На первом этапе обследования встроенных конструкций выявлено, что снижение технического уровня этих сооружений связано как с характером и величинами деформаций отделки станций, которые продолжаются в течение длительного времени после ввода ее в эксплуатацию, так и с особенностями конструктивно-технологических решений встроенных сооружений. Именно этот вопрос остался малоизученным при проектировании и строительстве первых односводчатых станций, поскольку в объемно-планировочные решения этих станционных комплексов встроенные конструкции не были включены.

3. В ходе специальных обследований 10 односводчатых станций со встроенными сооружениями, проведенных по разработанной автором программе, установлены причины возникновения дефектов и повреждений встроенных конструкций. Эти дефекты и повреждения обусловлены отсутствием или недостаточной величиной зазоров между верхним сводом и несущими элементами встроенных конструкций, необоснованным расположением узлов их опирания на обратный свод и на опоры станции.

4. Выявленные дефекты и нарушения встроенных конструкций можно классифицировать как силовые и производственные. Причем доминирующими являются силовые дефекты, вызванные деформациями элементов обделки станции, которые протекают в течение длительного времени. По графикам смещений покрытия платформ и путевых реперов на станциях установлено, что деформации элементов обделки станции интенсивно нарастают в первые 12-18 месяцев после сдачи станционного комплекса в эксплуатацию и развиваются 18-20 лет.

5. Количество дефектов существенно отличается в различных типах встроенных конструкций по длине станционного комплекса. Наименьшее их число выявлено на участках натяжных камер и проходов к эскалаторам (до 10%), наибольшее – в конструкциях совмещенных тягово-понижительных подстанций (до 50%). Анализ характера, интенсивности развития и количества дефектов встроенных конструкций показывает, что их совокупность приводит к снижению категории технического состояния от ограниченно работоспособного до недопустимого. Идентификация технического состояния встроенных конструкций с одной из приведенных категорий являлась в дальнейшем основой для принятия технических решений по выбору ремонтно-оздоровительных мероприятий и поддержания конструкций в исправном состоянии.

6. Капитальный ремонт и текущее содержание встроенных в односводчатые станции сооружений связаны со значительными затратами. Так, затраты на ремонтные работы по обеспечению их надлежащего технического уровня за время эксплуатации станций оценивается в 1,4...1,5 млрд. руб. в действующих ценах.

7. С целью установления причинно-следственных связей силового взаимодействия обделки станции с наиболее ответственными и сложными по конструкции встроенными сооружениями выполнено численное моделирование обделки односводчатых станций со встроенными конструкциями СТП. Численные модели варьировались при различных схемах контакта несущих элементов каркаса с обделкой станции. По результатам численного анализа выявлена совокупность факторов, определяющих деформированное состояние конструкций СТП, встроенных в односводчатые станции.

8. Результаты численного анализа дали возможность при различной глубине заложения станции обосновать значения величин зазора между несущими элементами каркаса СТП и блоками верхнего свода, при которых исключается их силовое взаимодействие, позволяют принять оптимальное решение при выборе места расположения основания несущих элементов встроенных конструкций на блоках обратного свода.

9. Сравнительный анализ полученных теоретических данных о деформированном состоянии элементов встроенных конструкций с результатами натурного обследования показал их удовлетворительную сходимость, что подтверждает достоверность результатов комплексных исследований.

10. Комплекс проведенных исследований позволил разработать и обосновать рекомендации по конструктивно-технологическим решениям при проектировании конструкций, встроенных в односводчатые станции. Реализация этих рекомендаций позволит уменьшить эксплуатационные затраты на текущий и капитальный ремонт встроенных строительных конструкций, повысить эксплуатационную надежность станционных комплексов со встроенными конструкциями на линиях Петербургского метрополитена.

11. Материалы диссертационной работы легли в основу разработанной автором «Инструкции по содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена», принятой ГУП «Петербургский метрополитен».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амусин, Б.З. Применение метода переменных модулей в задачах линейно-наследственной ползучести/ Л.М. Линьков // Труды ВНИМИ: вып.№88, 1973. – С.25-18.
2. Антонов, О. О несущих конструкциях односводчатой станции/ О. Антонов // Метрострой.– 1962. – №1.– С.26–28.
3. Антонов, О. Сборный железобетон в несущих конструкциях станции метрополитена / О. Антонов // Транспортное строительство.– 1962.– №9. –С.10-12.
4. Антонов, О. Об основных параметрах односводчатой станции/ Антонов О. // Метрострой.– 1984.– №1.– С.19-22.
5. Антонов, О.Ю. Методические рекомендации по расчету односводчатых станций глубокого заложения/ Ю.Н. Айвазов, К.П. Безродный–М.: ЦНИИС, – 1979. –61 с.
6. Антонов, О.Ю. К расчету многошарнирных обделок подземных сооружений / К.П. Безродный, С.Н. Сильвестров // Труды ВНИИ транспортного строительства – М.: Транспорт.– вып. 111.– 1981.– С.58.
7. Арутюнян, Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести / Н.Х. Арутюнян–М.: Стройиздат, –1976.–323с.
8. Баклашов, И.В. Механические процессы в горных массивах. Учебник для вузов./И.В. Баклашев, В.А. Картозия. –М.: Недра. –1986. –272 с.
9. Безродный, К.П. К вопросу об изучении деформативных характеристик протерозойских глин в натуральных условиях/ Л.П. Татаринцева // Труды ЛИИЖТа, «Тоннели и метрополитены» –Л.: вып.384. – 1975.
10. Безродный, К. О нагрузках на обратный свод однопролетных станций / К. Безродный // Метрострой.– 1977.- №2.– С.9-10.
11. Безродный, К.П. Особенности деформирования протерозойских глин / С.Н. Сильвестров, Ю.М Карташов // Метрострой.– №6.– 1982.
12. Безродный, К.П. «Деформации грунтового массива и осадки опорных стен при сооружении односводчатых станций/ К.П. Безродный// Сборник научных трудов ЦНИИС Совершенствование конструкций машин и повышение эф-

фективности проектирования и строительства транспортных сооружений – М.: 1981, – С.119-121.

13. Безродный, К.П. О деформациях сборных железобетонных обделок тоннелей глубокого заложения ленинградского метрополитена / М.Е. Коршунов // Сборник научных трудов ЦНИИС «Совершенствование конструкций машин и повышение эффективности проектирования и строительства транспортных сооружений»– М.: 1981. – С.112-116.

14. Безродный, К.П. Определение коэффициента постели для расчета подземных конструкций / С.Н Сильвестров., О.Ю Антонов // Труды ВНИИ транспортного строительства –М.: Транспорт.– вып.111.– 1981. –С.6.

15. Безродный, К.П. Исследование напряженно-деформированного состояния подземных объектов Санкт-Петербургского метрополитена/К.П. Безродный, М.О. Лебедев, Н.Г. Козин, Н.В. Тулина//Метрострой.–2006.–№2, – С.9-13.

16. Бенин, А.В. Оценка коррозионного износа арматуры в железобетонных элементах по величине раскрытия трещин в защитном слое бетона / А.В. Бенин, Н.И. Невзоров // Строительная механика и расчет сооружений. –2007.– №3. – С. 48-52.

17. Бенин, А.В. О некоторых вариантах диаграмм деформации бетона/ А.В. Бенин// Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте. VI Международная научно-техническая конференция – СПб.: ПГУПС. –2004. –С 30-35.

18. Бенин, А.В. Конечно-элементное моделирование процессов разрушения элементов железобетонных конструкций/ А.В. Бенин // Промышленное и гражданское строительство. – 2011.– №5. – С. 16-20.

19. Бенин, А.В. Планирование эксперимента: научная монография./ А.В. Бенин, , В.В. Гарбарук – СПб.: ПГУПС. – 2010. – 90 с.

20. Булычев, Н.С. Расчет крепи капитальных горных выработок/ Б.В. Амосин, А.Г. Оловянный - М.: Недра. –1974. –127 с.

21. Вершин, С.Г. Анализ напряженно-деформированного состояния анизотропного упругого горного массива, ослабленного выработкой эллиптической

формы. Материалы первой всесоюзной конференции по механике горных пород /С.Г. Вершин, Степанов В.И. – Алма-Ата: Наука. –1966.

22. Гарбер, В.А. Метрополитен. Долговечность тоннельных конструкций в условиях эксплуатации и городского строительства/ В.А.Гарбер –М.: ЦНИИС. – 1998. –172 с.

23. Гарбер, В.А. Научные основы проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения. /В.А. Гарбер. –М.: НИЦ «Тоннели и метрополитены» АО ЦНИИС. –1996. –169 с.

24. Главатских, В.А. Строительство метрополитенов. Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта/ В.А. Главатских, В.С. Молчанов. –М.: Маршрут. –2006. –680 с.

25. Исследование физико-механических и реологических свойств кембрийских глин: отчет о НИР/ рук. работы Гольдштейн М.Н; исполн.: Котляревский Б.Э. –Днепропетровск: ДИИТ, 1974. – 126 с.

26. Евстифеев, В.Г. Железобетонные конструкции (расчет и конструирование): Учебное пособие./В.Г. Евстифеев –СПб.: ООО «Иван Федоров». –2005. – 192 с.

27. Елизаров, С.В. Статические и динамические расчеты транспортных и энергетических сооружений на базе программного комплекса COSMOS-M/ С.В. Елизаров, А.В. Бенин, Е.Д. Тананайко. – СПб.: ОАО «Иван Федоров», 2004. –260 с.

28. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий ВСН 32-77/ Госгражданстрой –М.: Стройиздат, –1978.–177с.

29. Инструкция по содержанию искусственных сооружений метрополитенов/– М.: Транспорт. –1996. –74 с.

30. Инструкции по содержанию искусственных сооружений Петербургского метрополитена/ СПб.: ГУП Петербургский метрополитен. –2012. –123 с.

31. Иосава, Д. Станции II очереди Тбилисского метрополитена/ Д. Иосава// Метрострой.–1978.–№4.–С.7-8.

32. Исследование напряженно-деформированного состояния подземных объектов Санкт-Петербургского метрополитена / К. Безродный [и др.]. //Метро-инвест.– 2006.– №3.– С.9-13.

33. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, отдельных узлов односводчатой пересадочной станции, определение несущей способности сооружения в целом: Отчет о НИР: Рук. работы Ю.С. Фролов, исполн.: А.Н. Коньков. – Л.: ЛИИЖТ.– 1987. –71 с.

34. Исследование в процессе опытного строительства односводчатых станций метрополитена «Пл. Мужества» и «Политехническая», сооружаемых в сухих устойчивых глинах, с разработкой предложений по совершенствованию конструкции и методов сооружения / Антонов О.Ю. // Научно-технический отчет– М., Л.: ЦНИИС, 1975.

35. «Исследование в процессе опытного строительства односводчатых станций Ленинградского метрополитена «Площадь мужества» и «Политехническая». Библиографическая информация «Новости технической литературы» (НТА), Раздел «Б». Проектирование и строительство (неопубликованные материалы),/С.Н. Сильвестров [и др.] –1978, выпуск 5, М.:ЦНИИС Госстроя СССР (РК №535). – 1978.

36. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко-М.: Стройиздат. –1996.–416 с.

37. Каталог механических свойств горных пород при длительных испытаниях в условиях одноосного сжатия / Ставрогин А.Н [и др]. – Л.: ВНИМИ. – 1973.

38. Коньков, А.Н. Двухъярусная объединенная пересадочная станция метрополитена глубокого заложения/А.Н. Коньков., Д.М. Голицынский, Ю.С. Фролов. –М.: Центр «ТИМР». –1997. –44 с.

39. Комохов, П.Г. Об одном подходе к теоретическому описанию деформирования и кинетики разрушения бетона/ А.В. Бенин // Academia. Архитектура и строительство. – М.: РИО РААСН.– 2007.– №2. – С. 67-68.

40. Круглов, В.М. Построение физических соотношений бетона на основе теории пластического течения / А.Н. Донец, С.А. Тихомиров // Вопросы проектирования, строительства и эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах: Сб. тр. – Новосибирск. – 1986. –С.47-53
41. Кулагин, Н. От односводчатой станции – к двухъярусному пересадочному узлу: Опыт метростроителей Санкт-Петербурга в развитии односводчатых конструкций /Н. Кулагин // Подземное пространство мира.– 1988. – №3.
42. Кунец, Д. В. Математическое моделирование деформированного состояния конструкций односводчатых станций метрополитена /Д.В. Кунец // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. –2009г. – № 8. – С. 49-53.
43. Кунец, Д. В. Эксплуатационная надежность встроенных конструкций односводчатых станций Санкт-Петербургского метрополитена. / Ю.С. Фролов, А. Н. Коньков, Д. В. Кунец // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011г. – № 8. –С. 39-43.
44. Кунец, Д. Содержание встроенных конструкций односводчатых станций в режиме длительной эксплуатации / Д. Кунец //Метрострой.- 2005.- №4.– С.34-37.
45. Кунец, Д. В. Проблемы содержания встроенных конструкций односводчатых станций метрополитена в режиме длительной эксплуатации./Д.В. Кунец //Тезисы докладов международной конференции «Безопасность – основа устойчивого развития регионов и мегаполисов». М.: – 2005 г. – С.50-53.
46. Кунец, Д.В. О перспективах содержания станций метрополитена односводчатого типа. //Труды II международной конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений». Екатеринбург.: – 2007 г. – С.51-54.
47. Кунец, Д. В. Инструкция по содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена. СПб.: ГУП Петербургский метрополитен, 2012 г.– 23с.
48. Ларионов, В.И Исследование методом моделирования статической работы односводчатой станции метрополитена в кембрийских глинах: Дис.

...канд. техн. Наук (05.23.15 – Мосты и транспортные тоннели) / В.И.Ларионов, рук. работы Ю.А.Лиманов – Л.: ЛИИЖТ, 1969. –240 с.

49. Ларионов В. Конструкция большого пролета в кембрийских глинах / В. Ларионов // Метрострой.– 1969.– №3.–С.14-16.

50. Лейтес, Е.С. Вариант теории пластического течения бетона / Е.С. Лейтес // Строительная механика и расчет сооружений. –1987. –№3 –С. 34-37

51. Лиманов, Ю.С. К вопросу об определении нагрузки на обратный свод односводчатой станции в протерозойских глинах/ К.П. Безродный // В сб. научн. трудов Тоннели и метрополитены – Л.: ЛИИЖТ – 1977– вып. 419. – С. 1-8.

52. Методические рекомендации по расчету напряженного состояния железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом ползучести и усадки бетона/ НИИЖБ. – М., 1987. – 62с.

53. Матвеев, Б.В. О работах по исследованиям реологических свойств горных пород / Б.В. Матвеев– Л.: ВНИМИ, 1964.

54. Мизюмский, В. Пучение и давление глинистых пород в лотке односводчатой станции метрополитена / В. Мизюмский // Вопросы геотехники.–1975.– №24, С.21-26.

55. Оценка влияния строительства в охранной зоне метрополитена на подземные сооружения/ Бенин А.В. [и др.]. // Промышленное и гражданское строительство.– 2011.– №5. – С. 23

56. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Озерки»: отчет о НИР / рук. работы Ю.С. Фролов; исполн.: А.Н. Коньков – СПб.: ПГУПС, – 2004. – 155 с.

57. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Удельная»: отчет о НИР / рук. работы Ю.С. Фролов; исполн.: А.Н. Коньков – СПб.: ПГУПС. – 2005.–167 с.

58. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Новочеркасская»: отчет о НИР / рук. работы В.В Егоров; исполн.: А.Н. Коньков – СПб.: ПГУПС. – 2003.–144 с.

59. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Ладожская»: отчет о НИР / рук. работы В.В. Егоров; исполн.: А.Н. Коньков – СПб.: ПГУПС. – 2003.–122 с.
60. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Пионерская»: отчет о НИР / рук. работы Ю.С.Фролов; исполн.: А.Н. Коньков – СПб.: ПГУПС, 2002.–99 с.
61. Обследование технического состояния строительных конструкций служебных помещений станции метро «Пионерская» в зоне СТП: отчет о НИР / рук. работы А.Н.Коньков; исполн.: И.Н.Булычев – СПб.: ПГУПС. –2002.–99 с.
62. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Обухово»: отчет о НИР / рук. работы В.В. Егоров; исполн.: А.Н. Коньков– СПб.: ПГУПС. – 2003.–162 с.
63. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Площадь Мужества»: отчет о НИР / рук. работы А.П.Ледяев; исполн.: А.Н. Коньков– СПб.: ПГУПС, 2005.–142 с.
64. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Садовая»: отчет о НИР / рук. работы В.В. Егоров; исполн.: А.Н. Коньков– СПб.: ПГУПС. – 2005.–182 с.
65. Обследование технического состояния строительных конструкций станционного комплекса «Спортивная»: отчет о НИР / рук. работы А.Н.Коньков; исполн.: А.А.Ларионов – СПб.: ПГУПС. – 2005.–157 с.
66. Обследование технического состояния строительных конструкций станции метро «Лиговский проспект»: отчет о НИР/ рук. работы В.В. Егоров; исполн.: А.Н. Коньков- СПб.: ПГУПС, 2005
67. Правила технической эксплуатации метрополитенов Российской Федерации/ М.: ЗАО «Издательский цент ТА Инжиниринг». –2003. –128 с.
68. Протосеня, А.Г. Механика подземных сооружений. Пространственные задачи и мониторинг/А.Г. Протосеня [и др.] –СПб: СПГГУ-МАНЭБ. –2011. – 335 с.

69. Рекомендации по проектированию и строительству односводчатых станций в плотных устойчивых глинах типа протерозойских / Антонов С.Ю [и др.] –М.: ЦНИИС. –1979. –75 с.
70. Руппенейт, К.В. Введение в механику горных пород / К.В. Руппенейт Ю.М. Либерман - М.: Госгортехиздат. – 1960.
71. Работнов, Ю.Н. Ползучесть элементов конструкции / Ю.Н. Работнов– М.: Наука. –1966.–88 с.
72. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов (второе издание, переработанное и дополненное) –М.: ЦНИИС. –2010. –182 с.
73. Руппенейт, К.В. Расчет сборной кольцевой крепи подземных сооружений/ К.В. Руппенейт, А.Н. Аренковский, В.А. Лыжин– М.: Недра. – 1969.
74. Сильвестров, С.Н. О взаимодействии конструкций односводчатых станций метрополитена глубокого заложения с окружающим грунтовым массивом/ С.Н. Сильвестров, К.П. Безродный // Материалы Всесоюзной научной конференции «Проблемы механики подземных сооружений»- М.: 1979.- С. 135-138.
75. Сильвестров, С. Исследование статической работы свода станции "Площадь Мужества" / С. Сильвестров, О. Антонов, С. Мандриков //Метрострой.– 1974.–№7.– С.11-13.
76. Сильвестров, С.Н. О назначении коэффициента постели при проектировании сооружений метрополитена/С.Н. Сильвестров, К.П.Безродный// Межвузовский сборник «Устойчивость и крепление горных выработок», вып.6. – 1989. –с.79-84.
77. СНиП 32-02-2003. Метрополитены/ М.: Госстрой России. –2004.
78. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР– М.: ЦИТП Госстроя СССР. –1988. –38с.
79. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия (Дополнения. Разд.10. Прогнбы и перемещения)/ Госстрой СССР.–М.: ЦИТП Госстроя СССР. –1990. – 8с.
80. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции./ Госстрой СССР. – 1985.

81. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений/ М. Госстрой России –2003.
82. СП 32-105-2004. Метрополитены/ М.: Госстрой России. –2004.
83. СП 32-106-2004. Метрополитены. Дополнительные сооружения и устройства/ М.: Госстрой России. –2004.
84. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры./М.: Госстрой России. –2003.
85. Теоретические и экспериментальные исследования односводчатой станции метрополитена глубокого заложения в кембрийских глинах с разработкой технического задания на проектирование станции этого типа: отчет о НИР/ рук. работы Антонов О.Ю.; исполн.: Сильвестров С.Н.– М.: ЦНИИС. – 1969.
86. Тоннели метрополитенов. Устройство, эксплуатация и ремонт. Справочно-учебное пособие/ Ю.И.Сушкевич [и др.] – М.: ООО «Метро и Тоннели». – 2009. –463 с.
87. Туманов, А.С. Односводчатая станция глубокого заложения /А.С. Туманов, А.Н. Лапин, Н.И. Кулагин // Метрострой.– 1974.– №7.
88. Улицкий, И.И. Теории и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов / И.И. Улицкий – Киев: Будивельник. – 1967.
89. Фролов, Ю.С. Конструкции и сооружение станций метрополитена. Учебное пособие/ Ю.С. Фролов.– Л.: ЛИИЖТ. – 1984. –78 с.
90. Фролов, Ю.С. Метрополитены. Учебник для вузов/Ю.С.Фролов, Д.М. Голицынский, А.П. Ледяев.–М.: Желдориздат. –2001. –528 с.
91. Фролов, Ю.С. Содержание и реконструкция тоннелей. Учебник для вузов./Ю.С. Фролов, В.Ф. Гурский, В.С. Молчанов.–М.: ФГОУ УМЦ ЖД.–2011.– 300 с.
92. Фролов, Ю.С. Решение опорных узлов односводчатой станции / А.Н. Коньков, А.А. Филиппов // Метрострой.– 1984.– №2.– С.6-7.
93. Фролов, Ю. Особенности статической работы обделки и встроенных конструкций односводчатых станций Санкт-Петербургского Метрополитена в

процессе длительной эксплуатации / Ю.Фролов, А.Коньков, Д. Кунец// Промышленное и гражданское строительство. –2011.– №5. –с. 27-29.

94. Фролов, Ю.С. Механика подземных сооружений. Учебное пособие/Ю.С. Фролов, Т.В. Иванес. –СПб.: ПГУПС. –1997. –102 с.

95. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов /Л. Шукле; пер. с англ.–М: Стройиздат. – 1973.–137 с.

96. Anderson, John. Minimising underground construction risks needs maximum engineering effort. Труды Международной конференции « Подземный город: геотехнология и архитектура». Санкт-Петербург. 1998. С.63-68.

97. Ligna redionale est-onest. Constructiion de la Station «Etoile»./ L. Lipjac, //Anales de linsti- tut teohnigue de batiment et des trawaux ppublics. 1966. Jktobre. №226.

98. Lipjac L. J.F. Bougaard. Modernisation et mecanisation des metodss traditionnellesen souterrain/ L. Lipjac, J.F. Bougaard.//«Travaux», 1969, Janvier, № 406.

99. Metro der Welt //Transpress VEB. Verlag fur Verkehrwesen. :Berlin. – 1985.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Конструктивные решения каркаса СТП и армирование плиты перекрытия

Принципиальное конструктивное решение каркаса СТП приведено на рисунке П1.

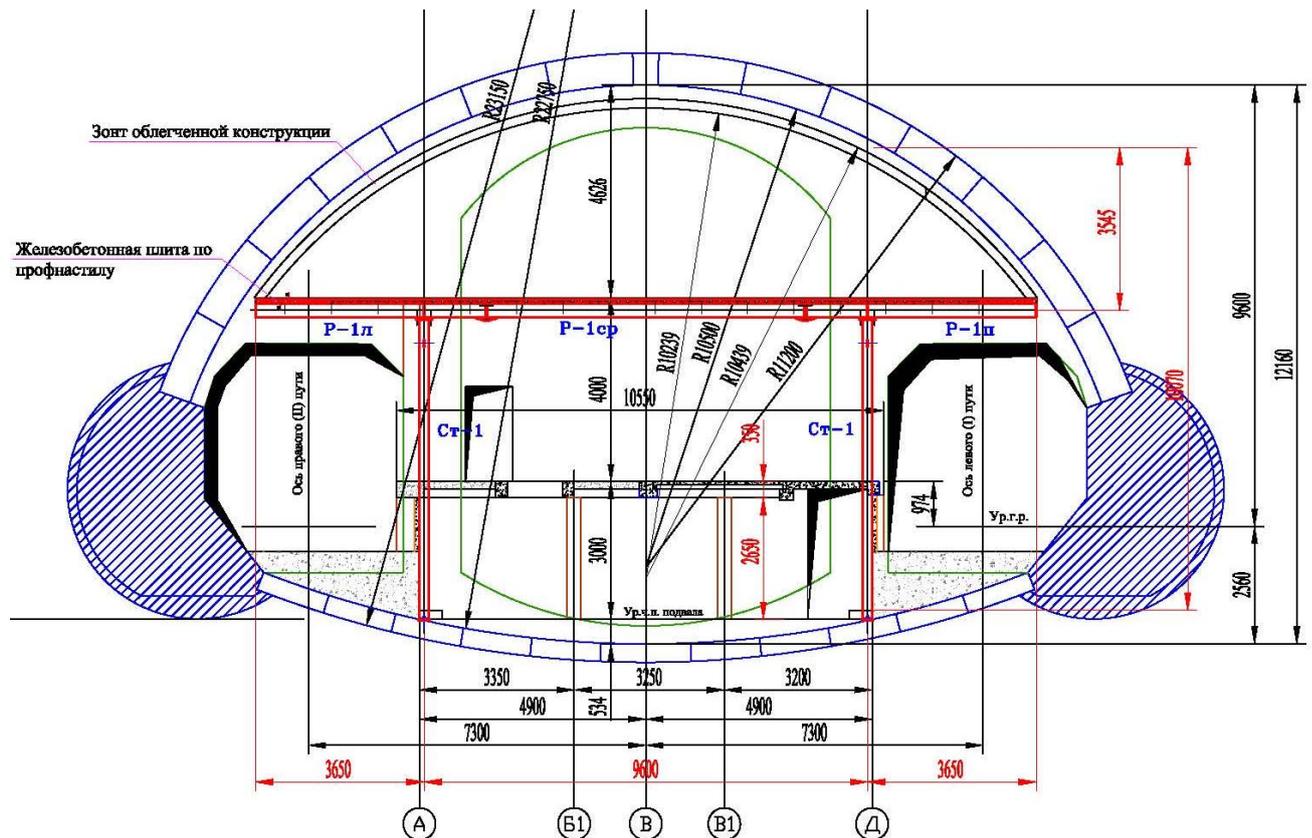


Рисунок П1.1 – Принципиальное конструктивное решение каркаса СТП

Каркас выполнен из металлических конструкций. Опорные стойки каркаса располагаются на точках равного подъема (смещения по вертикали) обделки обратного свода. Исключено опирание элементов каркаса на опоры станции, претерпевающие смещения в ходе эксплуатации.

Жесткость каркаса обеспечивается:

- собственной жесткостью рам каркаса в поперечном и в продольном направлениях;
- жесткостью перекрытий, образующих горизонтальные диафрагмы жесткости;

- системой вертикальных связей, устанавливаемых в направлениях из плоскостей рам встроенного каркаса;

- средствами соединения стоек рам каркаса с основанием под их базами.

В качестве дополнительных связевых элементов могут быть использованы конструкции лестниц.

Водозащитные зонты предусмотрены в ремонтно-пригодном варианте в виде легких стальных каркасов со съемными панелями, закрепляемых на встроенных конструкциях без возможности контакта с верхним сводом обделки станции при его деформациях.

Обеспечение пожарной безопасности обеспечивается защитной обмазкой или футеровкой, предотвращающей быстрый нагрев металла конструкций в условиях возможного пожара. Полые металлические стержни (трубчатого поперечного сечения – квадратного, прямоугольного, круглого) следует запроектированы с внутренним наполнением в виде арматурного каркаса, залитого бетонной смесью. Заполнение бетоном в этом случае производится после окончания монтажных работ встроенных конструкций через специальные отверстия, завариваемые после окончания бетонирования. Внутреннее железобетонное заполнение замкнутых металлических профилей предназначено для сохранения прямолинейной (проектной) формы несущими металлоконструкциями при любой температуре возможного пожара (формосохраняющее мероприятие).

Все металлические конструкции и детали защищаются от коррозии с использованием современных антикоррозионных покрытий, преимущественно, с яркими сигнальными подстилочными слоями.

Ниже приводятся расчет поперечных рам каркаса и основные узлы и детали предлагаемой конструкции.

Сбор нагрузок на 1 м² перекрытия СТП

Нагрузки на 1 м² перекрытия СТП станции метрополитена приводятся в Таблице П.1.

Таблица П.1

№№ п.п.	Наименование нагрузки	Нормативное значение, Н\м ²	γ_f	Расчетная, Н\м ²
1	2	3	4	5
	<u>Постоянные.</u>			
1	От массы пола - линолеум	60	1.2	75
2	От массы подкладочного слоя	50	1.3	65
3	От массы выравнивающего слоя $t = 0.04\text{м}$	$0.04 \times 2100 \times 10 =$ $= 840$	1.3	1090
4	От массы железобетонной плиты $h_{пр} = 0.10\text{м}$	$0.01 \times 2500 \times 10 =$ $= 2500$	1.1	2750
5	От массы ригеля перекрытия	150	1.1	170
6	От массы стального профнастила	110	1.2	130
7	От массы перегородок	500	1.1	550
	Итого, постоянная часть	$g_n = 4210$		$g = 4830$
	<u>Временная</u>			
8	Полезная	$p_n = 2000$	1.2	$p = 2400$
	Всего, полная	$q_n = 6210$		$q = 7230$

Расчет ригеля поперечной рамы каркаса.

В качестве ригелей поперечных рам каркаса принимаются стальные профили гнутые замкнутые сварные прямоугольной формы поперечного сечения по ГОСТ 30245-03, предназначенные для применения в строительных конструкциях.

Ригели поперечных рам каркаса работают в условиях поперечного изгиба. Расчет ведется на грузовую полосу шириной $B = 3.0\text{м}$, равной шагу рам встроенного каркаса.

Пролет ригеля в осях стоек рамы принимается $l_p = 9.6\text{м}$. Вылеты консолей принимаются $l_k = 3.65\text{м}$.

Погонная нагрузка на расчетную грузовую полосу ригеля:

- нормативное значение

$$q_{n,1} = q_n \times B = 6210 \times 3.0 = 18630\text{Н/пог.м.} = 1.863\text{тс/пог.м.};$$

- расчетная

$$q_1 = q \times B = 7230 \times 3.0 = 21690\text{Н/пог.м.} = 2.169\text{тс/пог.м.}$$

По результатам статического расчета с использованием вычислительного комплекса «SKAD» максимальный расчетный изгибающий момент в ригеле рамы от равномерно распределенной нагрузки составляет

$$M_{\max} = 16.18\text{тсм} = 161.8\text{кНм.}$$

Требуемый момент сопротивления профиля для ригеля (сталь С235):

$$W^{\text{TP}} = M_{\max} : R_y = 161.8 \times 10^3 : 230 \times 10^6 = 703.5 \times 10^{-6} \text{ м}^3 = 703.5\text{см}^3.$$

Согласно ГОСТ 30245-03 принимается прямоугольный профиль 300x200x9.5 ($W_{x,1} = 723 \text{ см}^3$; $J_x = 5809 \text{ см}^4$).

Профилированный стальной настил, используемый в качестве несъемной опалубки железобетонной плиты перекрытия встроенной конструкции, крепится к ригелям рам каркаса самонарезающими болтами по ОСТ 34-13-016-77, снабженными уплотнительными шайбами. Картины настила на крайних опорах и в стыках крепятся самонарезающими болтами в каждом гофре, а на промежуточных

опорах неразрезных настилов – через гофр. В пределах длин консольных участков ригелей профнастил крепится к ригелям в каждом гофре на всех опорах.

Диаметр самонарезающих болтов принимается:

- если профнастилы не включаются в состав жесткого диска покрытия – 3.2 мм или 3.4мм;
- если профнастилы включаются в состав жесткого диска покрытия – не менее 6 мм.

Картины профнастила между собой соединяются продольными крайними полками внахлест комбинированными заклепками по ОСТ 34-13-017-86 Куйбышевского завода «Электрощит» или ТУ 67-730-86 ЧЗПСН или ТУ 36-2088-85 Минмонтажспецстроя. Шаг комбинированных заклепок составляет не более 500мм.

Стыки настила по длине выполняются над ригелями рам каркаса. Ширину площадок опирания настила рекомендуется принимать не менее 40мм на крайних опорах и не менее 60мм – на промежуточных опорах.

Определение положения нулевой точки на эпюре изгибающих моментов ригеля поперечной рамы каркаса.

Положение «нулевой точки» по длине ригеля определяет положение монтажного стыка ригеля поперечной рамы каркаса.

Из уравнения

$$Y = [4 \cdot f \cdot x \cdot (1 - x)] : l^2$$

искомая величина «х» определяется из выражения

$$x^2 + x \cdot 1 - [(y \cdot l^2) : (4 \cdot f)] = 0.$$

При решении квадратного уравнения получаем

$$x = -1/2 \pm \sqrt{l^2/4 + [(y \cdot l^2) : (4 \cdot f)]}.$$

После подстановки значений получаем

$$x = -9.6/2 \pm \sqrt{9.6^2/4 + [(16.8 \cdot 9.6^2) : (4 \cdot 25)]} = -4.8 \pm 4.8 \cdot 1.283 =$$

= 1.36м → 1.35м.

Монтажный стык ригелей поперечных рам встроенного каркаса целесообразно располагать на расстояниях $x = 1.35\text{м}$ от осей стоек рам каркаса.

На рисунках П 2..П 8 приводятся конструктивные решения отдельных узлов и деталей каркаса.

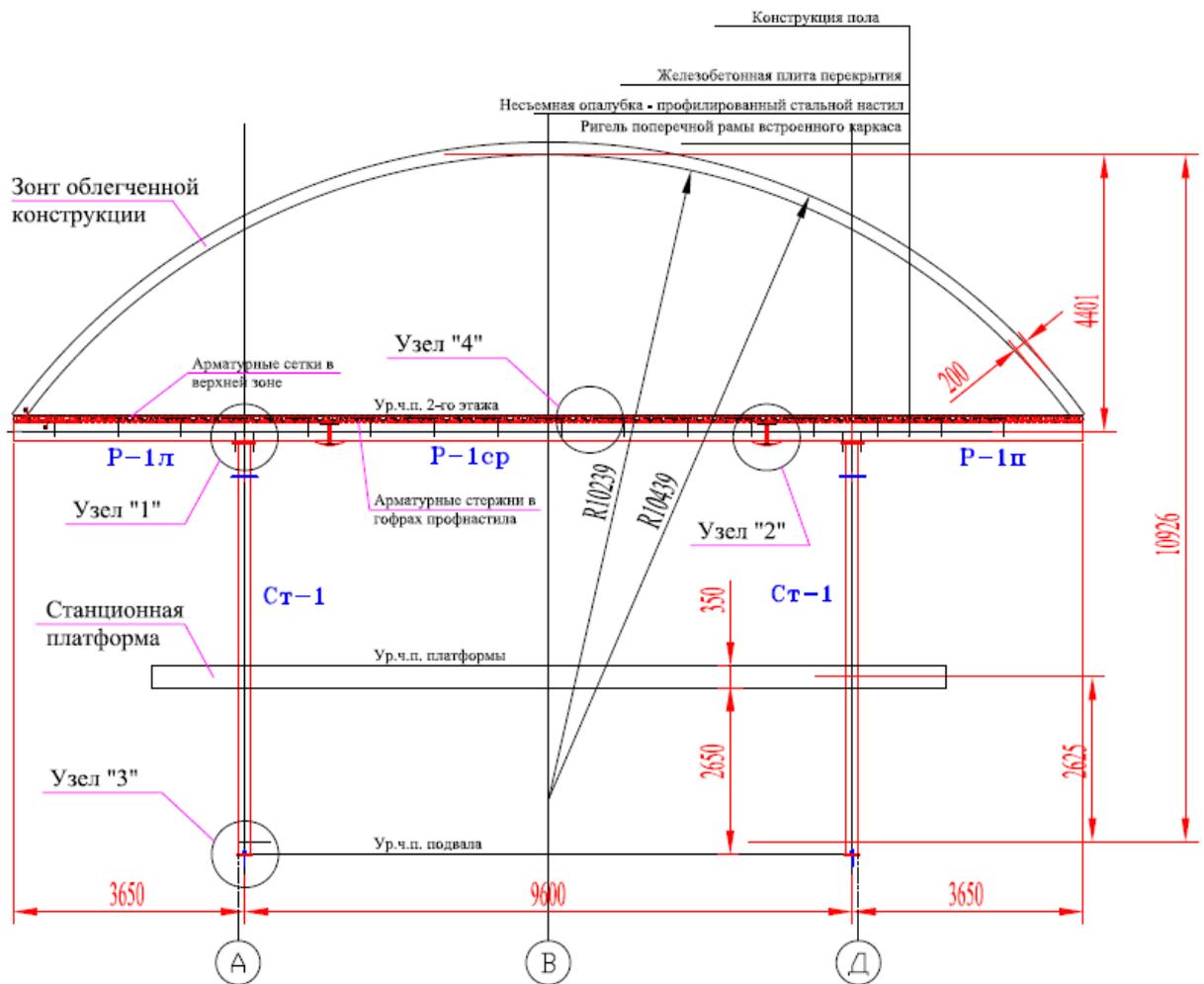


Рисунок П1.2 – Каркас поперечной рамы встроенной конструкции

План перекрытия 2-го этажа.
Плита перекрытия условно не показана.

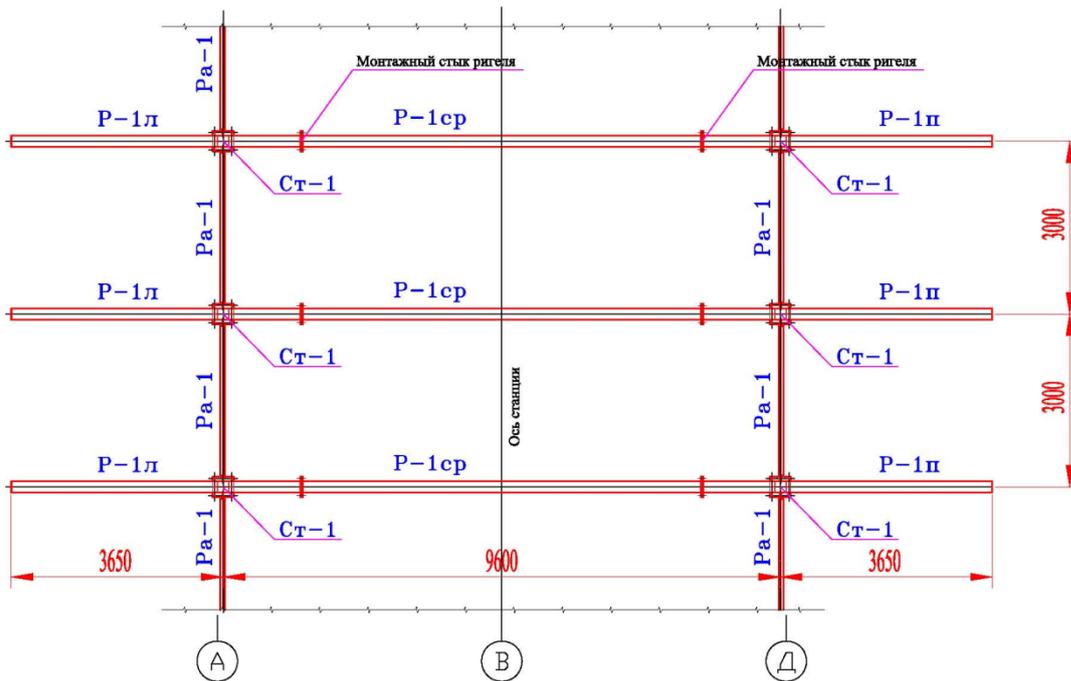


Рисунок П1.3 – Фрагмент плана рам встроенного каркаса с продольными распорками

Продольный разрез по встроенным конструкциям.
Плита перекрытия условно не показана.

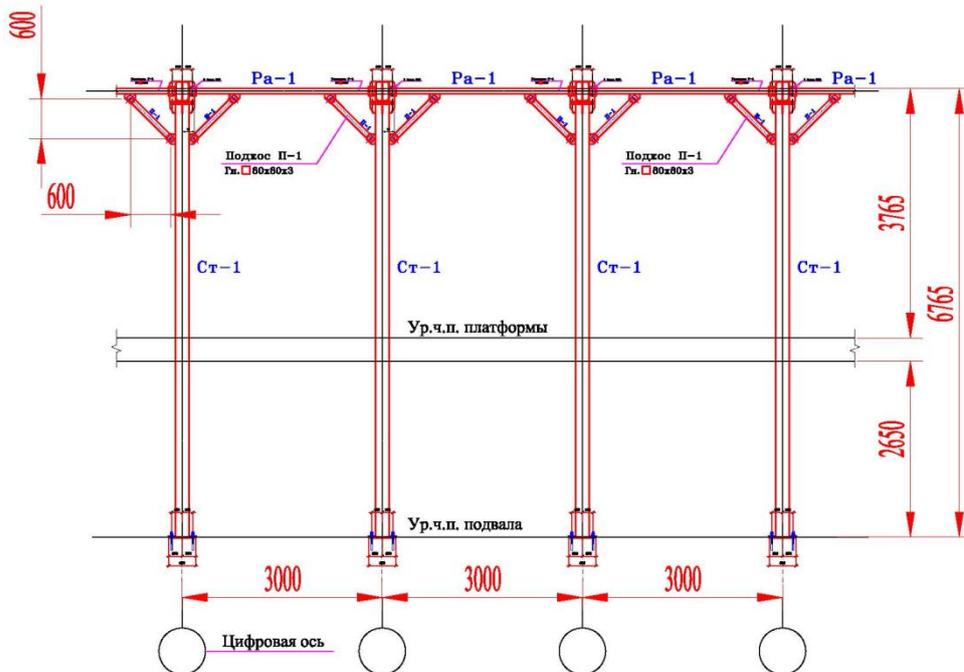


Рисунок П1.4 – Поперечные рамы встроенной конструкции

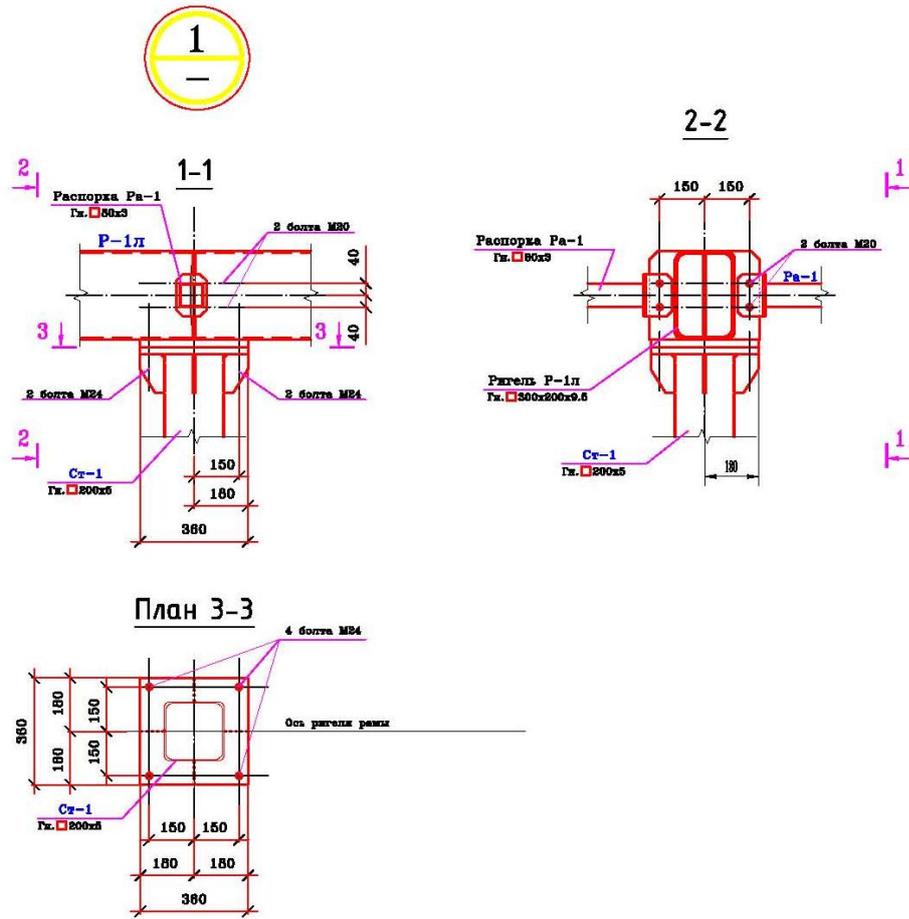


Рисунок П1.5 – Узел «1»

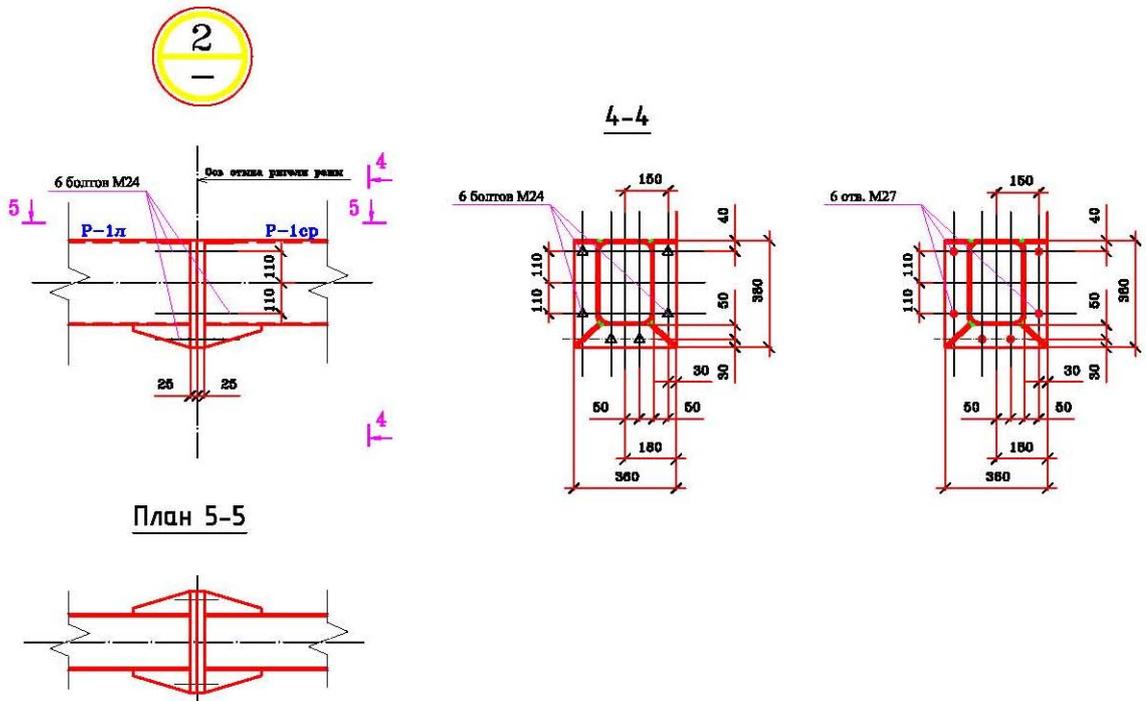


Рисунок П1.6 – Узел «2». Монтажный стык ригелей

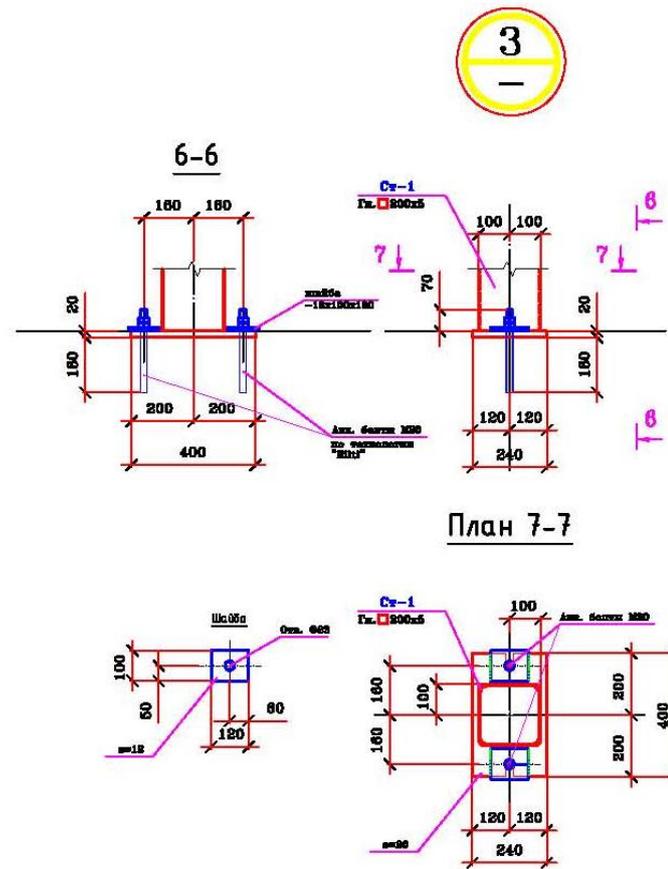


Рисунок П1.7 – Узел «3». Опорный узел стойки Ст-1

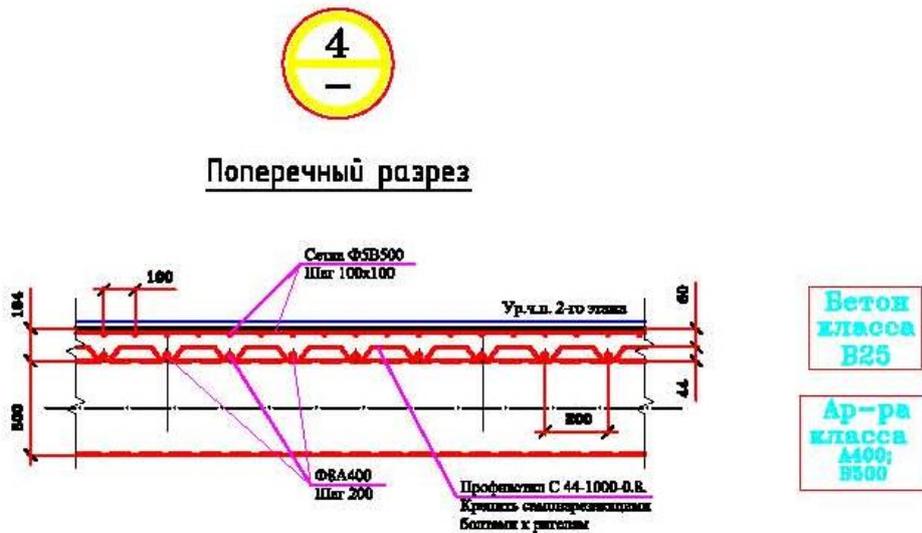


Рисунок П1.8 – Узел «4». Фрагмент армирования плиты перекрытия

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 «Заключение научно-технического экспертно-консультационного совета Санкт-Петербургского отделения Тоннельной ассоциации России»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Научно-технического экспертно-консультационного совета
Санкт-Петербургского отделения Тоннельной ассоциации России
по докладу главного инженера Службы капитального строительства ГУП
Петербургский метрополитен Д.В. Кунца «Эксплуатационная надежность
встроенных конструкций одноводчатых станций Санкт-Петербургского
метрополитена».**

Заслушав и обсудив доклад Д.В. Кунца «Эксплуатационная надежность встроенных конструкций одноводчатых станций Санкт-Петербургского метрополитена, выступление зам. генерального директора ОАО НИПИИ Ленметрогипротранс, д.т.н. К.П. Безродного, заведующего кафедрой «Строительство горных предприятий и подземных сооружений» Петербургского Национального Минерально-сырьевого университета (Горный институт) д.т.н., профессора Протосеню А.Г., совет отмечает, что в процессе достаточно длительной эксплуатации одноводчатых станций со встроенными конструкциями с течением времени существенно снижается уровень их технического состояния. Поддержание надлежащего технического уровня несущих конструкций встроенных сооружений и обустройств, подверженных чрезмерным деформациям, а в некоторых случаях и частичному разрушению, связано со значительными трудовыми и финансовыми затратами на текущее содержание и ремонтные работы.

Поэтому исследования с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций для обеспечения эксплуатационной надежности встроенных в одноводчатые станции вспомогательных сооружений и обустройств следует признать актуальными.

Представленный в докладе материал свидетельствует о большом объеме текущих и специальных обследований одноводчатых станций со встроенными сооружениями, выполненных по программе технической диагностики, разработанной автором. С целью установления причинно-следственных связей силового взаимодействия обделки станции с различными типами встроенных конструкций автором выполнены расчетно-теоретические исследования напряженно деформированного состояния системы «обделка станции - встроенные конструкции».

Полученные натурные данные и результаты теоретического анализа позволили разработать новые объемно-планировочные и конструктивные

решения сооружений, встроенных в односводчатые станции, обеспечивающие снижение финансовых и трудовых затрат на их текущее содержание и ремонт, что определяет практическую значимость проведенных исследований и позволяет рекомендовать к внедрению рекомендаций автора в практику проектирования и строительства односводчатых станций из сборного железобетона.

**Председатель Санкт-Петербургского
отделения Тоннельной Ассоциации России**
доктор технических наук

21.11.13.



Н. И. Кулагин