

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

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС) на кафедре «Тоннели и метрополитены»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Фролов Юрий Степанович

Официальные оппоненты: **Безродный Константин Петрович**
доктор технических наук, ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс», заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе

Щекудов Евгений Владимирович
кандидат технических наук, доцент, филиал АО ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «Тоннели и метрополитены», директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Защита состоится «16» февраля 2017 г. в 10 ч. 00 мин на заседании объединенного совета ДМ303.018.01 на базе акционерного общества «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 7618.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МГУПС (МИИТ), www.miit.ru.

Автореферат разослан « » 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Добшиц Лев Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.Ю.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 достоинств 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 выявле-

ны 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 «грунтовый 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 «грунтовый 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 техническое состояние встроенных конструкций ставило 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 натуральных 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 устано-

вить 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 апробация 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 ВО ПГУПС (2013-2016 г.г.).

Личный вклад автора заключается: в обзоре и анализе материалов ранее выполненных исследований напряженно-деформированного состояния обделки односводчатой 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 164 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 99 источников, 2 приложений, включает 107 рисунков и 6 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 диссертационной работы выполнен анализ объемно-планировочных и конструктивно-технологических решений односводчатых станций Петербургского метрополитена, отмечаются эксплуатационные преимущества односводчатых станций со встроенными сооружениями и обустройствами. Показано, что в процессе достаточно длительной эксплуатации станций такого типа выявлены негативные проявления, снижающие уровень технического состояния встроенных конструкций, и, следовательно, эксплуатационную надежность станционных комплексов. Отмечается, что эта пробле-

ма в ранее опубликованных работах не нашла отражения. Обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований.

В главе 2 изложены результаты технической диагностики, выполненной по разработанной автором программе. Определены причины и установлены закономерности появления и развития дефектов в конструкциях различных встроенных сооружений и обустройств. Предложена классификация дефектов по типу и причинам происхождения. Показано, что подавляющее количество дефектов и повреждений встроенных конструкций вызваны смещениями блоков в арках свода и опор обделки станции, на которые опираются элементы их несущих каркасов. Совокупность дефектов встроенных конструкций приводит к снижению категории технического состояния от «ограниченно работоспособного» до «недопустимого». Определены затраты на ремонтные работы по обеспечению надлежащих эксплуатационных показателей встроенных конструкций односводчатых станций на Петербургском метрополитене за время их эксплуатации.

В главе 3 представлена методика и результаты численного анализа силового взаимодействия системы «грунтовый массив - обделка станции – встроенные конструкции». Обоснованы величины деформации обделки типовых односводчатых станций при различной глубине заложения, позволяющие оценить степень их влияния на встроенные конструкции. Выявлена совокупность факторов, определяющих деформированное состояние конструкций совмещенной тягово-понижительной подстанции (СТП), встроенных в односводчатые станции. Обоснованы значения величин зазора между несущими элементами каркаса СТП и блоками верхнего свода станции, а также определена оптимальная схема размещения несущих элементов каркаса на блоках обратного свода.

В главе 4 подведен итог проведенным исследованиям в формате дифференцированного подхода при рассмотрении причинно-следственных связей деформаций отдельных элементов несущей обделки с характером и степенью повреждений встроенных конструкций различного типа. Показана удовлетворительная сходимость полученных теоретических данных о деформированном состоянии элементов встроенных конструкций с результатами натурного обследования.

Разработаны и обоснованы рекомендации по конструктивно-технологическим решениям при проектировании конструкций, встроенных в односводчатые станции. Изложены основные положения разработанной автором «Инструкции по содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена».

В приложениях представлены разработанные автором конструктивные решения типового каркаса СТП и прилегающих встроенных конструкций, а также «Заключение научно-технического экспертно-консультационного совета Санкт-Петербургского отделения Тоннельной ассоциации России».

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

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 технической диагностики по разработанной автором программе. Результаты технического диагностирования позволили 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.

Одним из основных преимуществ односводчатых станций со сводами из железобетонных блоков, опирающихся на монолитные опоры, по сравнению с другими конструктивными типами, является рациональное объемно-планировочное решение станционного комплекса за счет размещения в едином конструктивном объеме всех вспомогательных сооружений и обустройств, обеспечивающих четкую организацию движения поездов, удобное и безопасное обслуживание пассажиров. 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 отечественного метростроения все основные сооружения станционного комплекса были размещены в едином конструктивном пространстве (рисунок 1).

Однако в процессе достаточно длительной эксплуатации таких станционных комплексов (на сегодняшний день более 30 лет) были выявлены негативные проявления, снижающие уровень технического состояния встроенных в односводчатые станции сооружений и обустройств.

Специфика совместной работы обделки односводчатых станций и встроенных сооружений и обустройств обусловила необходимость совершенствования существующих проектных решений встроенных конструкций и разработку новых. В этой связи особую актуальность приобрели исследования процессов деформирования обделок односводчатых станций, анализ совместной работы несущей обделки и встроенных конструкций с целью разработки конструктивных решений внутренней встроенной инфра-

структуры и технических мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность станционных комплексов в процессе длительной эксплуатации.

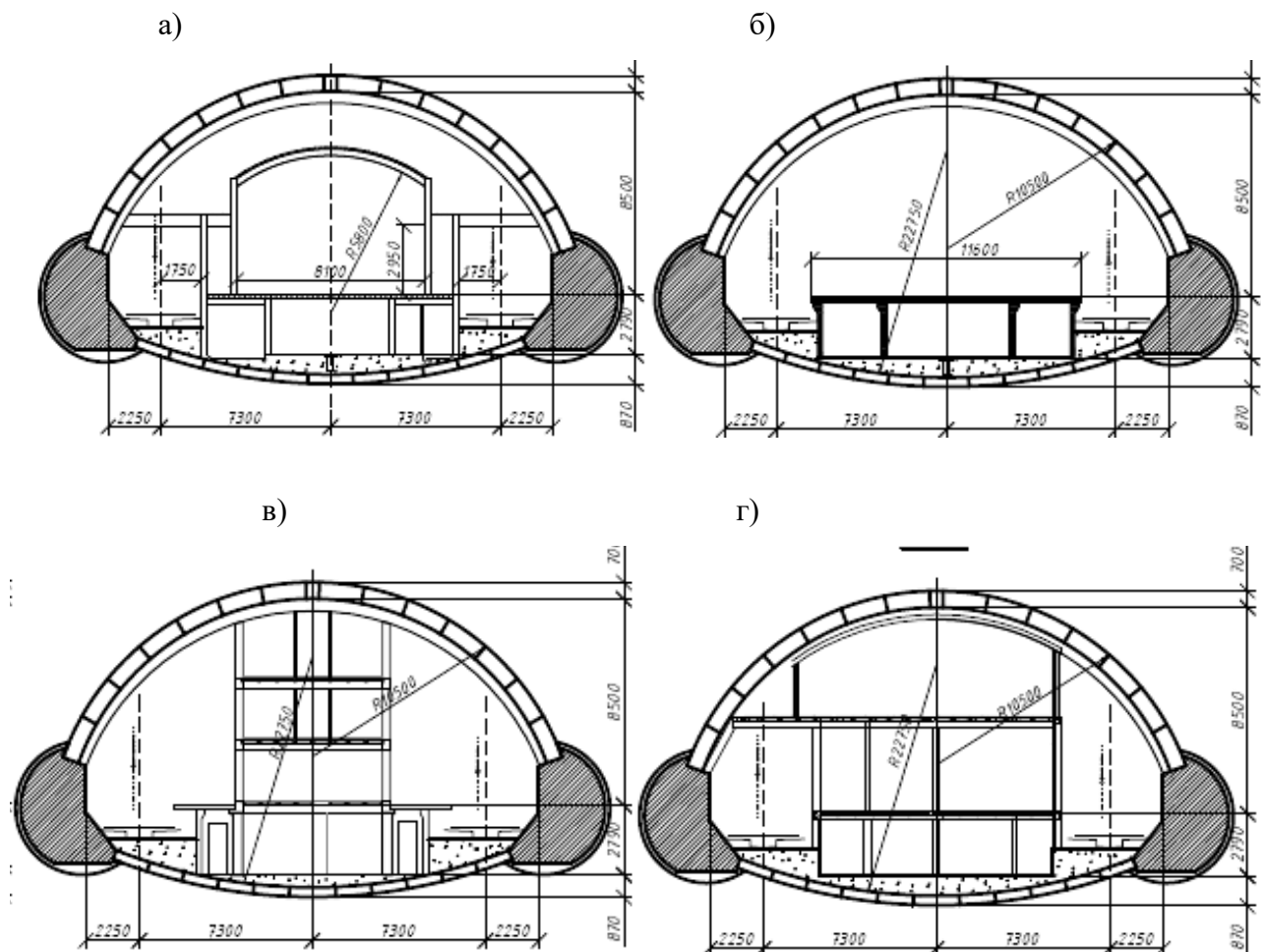


Рисунок 1– Встроенные в одноводчатую станцию: торцевая перегородка на выходе к эскалатору (а), подплатформенные помещения (б), блок служебных помещений (в) и совмещенная тягово-понижительная подстанция (г)

Поэтому, начиная с 2000 по 2006 год, по разработанной автором программе было проведено техническое диагностирование объектов на 10 станционных комплексах. Методика технической диагностики включала как визуальное освидетельствование конструкций с фотофиксацией (в диссертации приведены фотографии характерных дефектов по всем типам встроенных сооружений), составлением карт дефектов и дефектных ведомостей, так и инструментальные исследования (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).

Анализ результатов проведенных исследований позволил выявить причины возникновения дефектов и повреждений, как в элементах отделки, так и в конструкциях встроенных сооружений, которые можно классифицировать как силовые и производственные. Причем доминирующими для встроенных конструкций являются силовые дефекты, вызванные деформациями элементов отделки станции.

Установлено, что подавляющее количество дефектов и повреждений встроенных конструкций вызваны не только деформацией арок верхнего свода, но и смещениями блоков обратного свода, на которые опираются элементы их несущих каркасов, а также смещением опор. Так, о значительных смещениях блоков обратного свода с момента сдачи станции в эксплуатацию свидетельствуют графики вертикальных деформаций плиты станционной платформы в сечении по оси станции (рисунок 2) и в крайних ее точках (рисунок 3). Из графиков видно, что величина деформаций по центру платформы на большинстве станций почти вдвое превышает значения деформаций в крайних точках платформы.

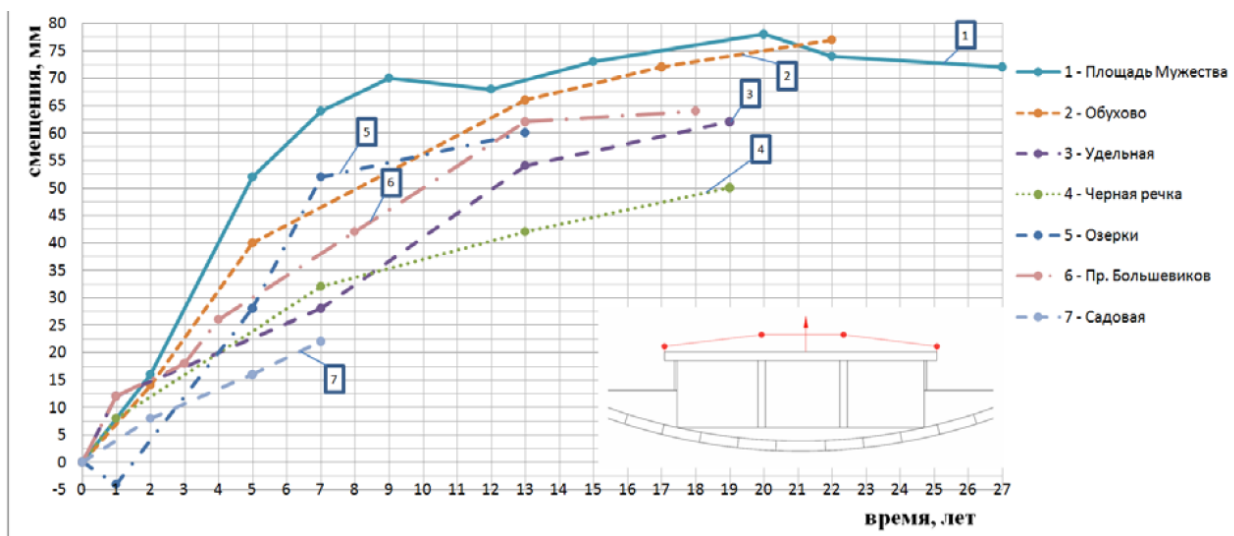


Рисунок 2 – Графики смещений по центру покрытия платформы

Такое неравномерное смещение опорных стен платформы приводит к деформациям облицовочных покрытий, разрушениям плит покрытия, развитию трещин сдвига в поперечных перегородках подплатформенных помещений, деформациям полов.

О смещении опор сводов косвенно свидетельствуют данные измерений смещения реперов, установленных в жестком основании путей в зоне его примыкания к опорам (рисунок 4).

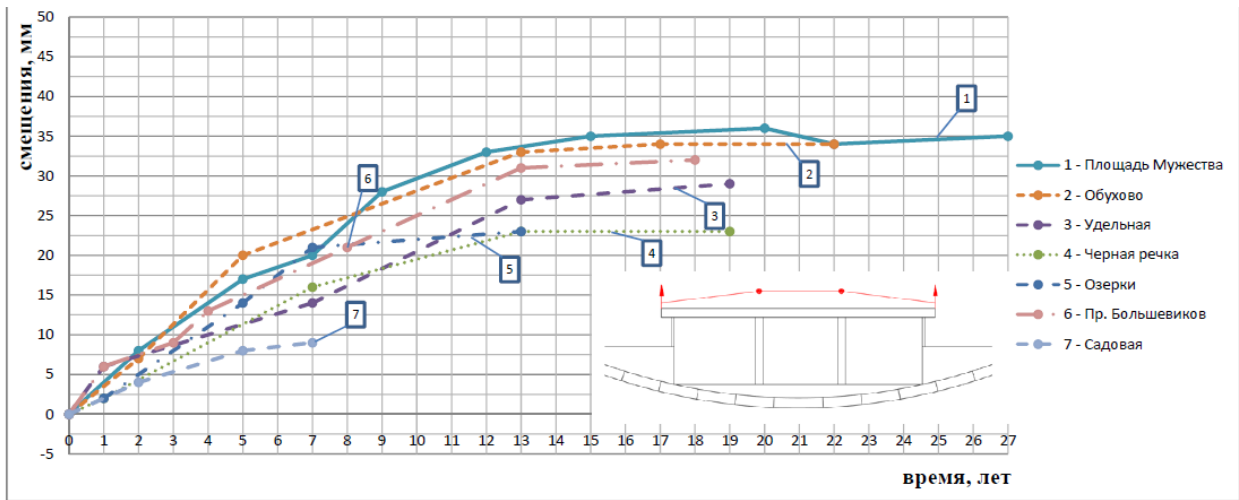


Рисунок 3 – Графики смещений по краю покрытия платформы

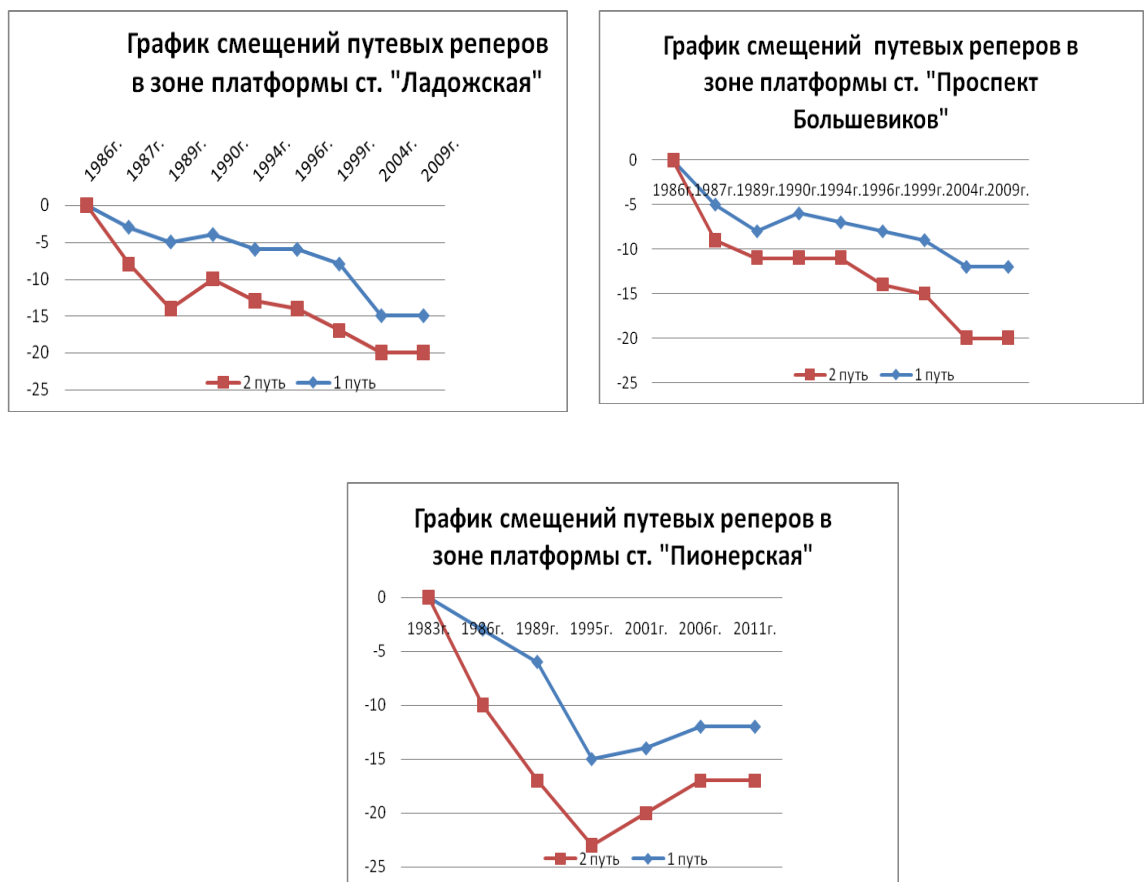


Рисунок 4 – Графики смещений реперов, установленных в жестком основании пути

Из приведенных графиков деформаций платформенных плит и смещений реперов в зоне примыкания жесткого основания пути к опорам сводов следует, что большинство повреждений встроенных конструкций проявляется с первых лет после сдачи станционного комплекса в эксплуатацию и развиваются в течение длительного времени – до 18-20 лет.

Выявленные дефекты обусловлены отсутствием или недостаточной величиной зазоров между верхним сводом и несущими элементами встроенных конструкций, а также необоснованным расположением узлов их опирания на обратный свод и на опоры станции.

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%).

Конструкции СТП во всех обследованных станциях имеют наибольшее количество дефектов, по сравнению с остальными встроенными конструкциями. В элементах каркаса, стенах, плитах перекрытия и перегородках ярко выражены все типы дефектов, присущих как конструкциям в зоне натяжных камер, так и конструкциям платформы, подплатформенных помещений и служебных помещений в торце станции. Фотофиксация наиболее распространенных дефектов в различных зонах встроенных конструкций станций приведена в диссертации.

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 участков конструкций, как правило, отмечается в конструкциях СТП, служебных помещений в торце платформы и на участках натяжной камеры.

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 оцениваются в 1,4...1,5 млрд. руб. в действующих ценах.

Идентификация технического состояния встроенных конструкций с одной из приведенных категорий являлась в дальнейшем основой для принятия технических ре-

шений по выбору ремонтно-оздоровительных мероприятий и поддержания конструкций в исправном состоянии, что привело к снижению затрат на 10-15 %.

Результаты обследования позволяют заключить, что при разработке конструктивно-планировочных решений встроенных сооружений и обустройств, величины и характер деформаций обделки не были в достаточной степени учтены, что повлекло за собой возникновение в них многочисленных дефектов и повреждений. В этой связи особую актуальность приобретают расчетно-теоретические исследования процессов деформирования обделок односводчатых станций, анализ совместной работы несущей обделки и встроенных конструкций.

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 с различными типами встроенных конструкций следует выполнять методом численного анализа с учетом реальных условий работы системы, выявленных в процессе специальных обследований.

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

На первом этапе исследовали особенности деформирования обделки станции, представленной в виде шарнирных сводов, опирающихся на массивные опоры. Численный анализ деформированного состояния такой системы выполняли для двух наиболее характерных условий работы обделки 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).

На втором этапе исследований проводилось изучение деформированного состояния встроенных в станцию конструкций, обусловленного деформациями обделки односводчатой станции, расположенной в протерозойских глинах. Поскольку конструкции СТП во всех обследованных станциях имеют наибольшее количество дефектов, по сравнению с остальными встроенными конструкциями, и в элементах каркаса, стенах, плитах перекрытия и перегородках ярко выражены все типы дефектов, присущих различным типам встроенных сооружений, численный анализ статической работы встроенных конструкций выполнен на примере СТП.

Зависимости вертикальных смещений сводов от нагрузок на конструкцию (глубины заложения) представлены графиками на рисунке 5.

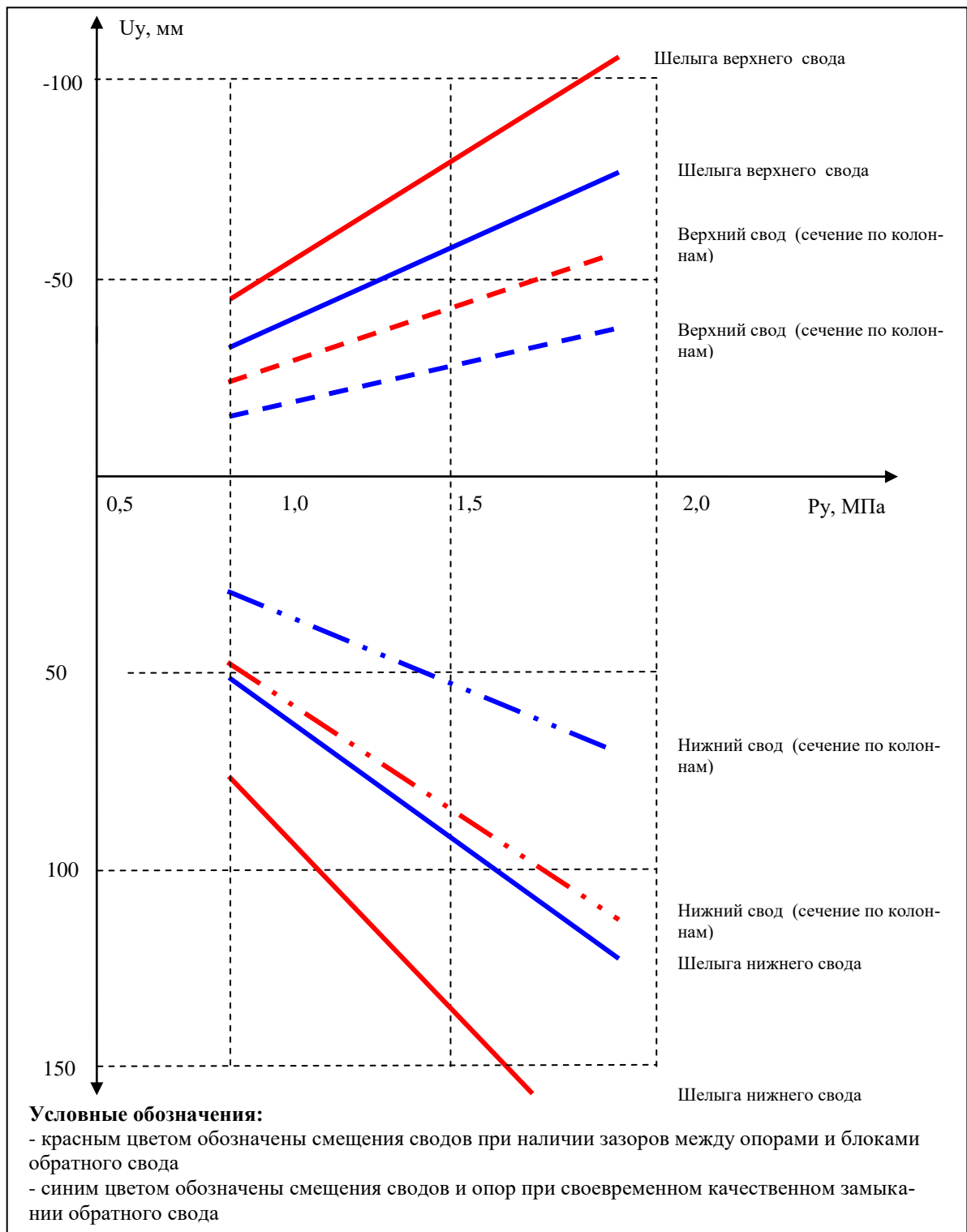


Рисунок 5 – Зависимости вертикальных смещений сводов станций от нагрузок на конструкцию

На рисунке 6 представлена деформированная схема обделки станции и встроенных конструкций СТП на примере станции «Пионерская» (глубина заложения 58,5м).

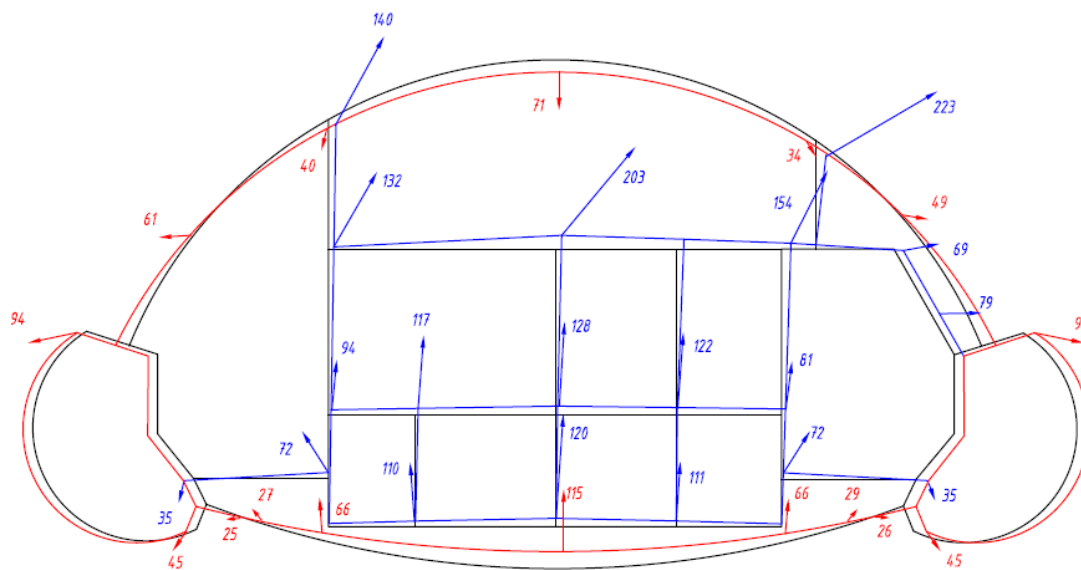


Рисунок 6 – Станция «Пионерская». Деформированная схема обделки станции и каркаса СТП по результатам расчетно-теоретических исследований

Установлено, что максимальные горизонтальные смещения верха путевой стены СТП со стороны наклонных балок достигает 215 мм, при этом стена поднимается до 70 мм (результатирующее смещение 223 мм). С противоположной стороны верх стены смещается по горизонтали на 113 мм и она поднимается на 72 мм (результатирующее смещение 140 мм). Отсюда следует, что значения величин зазоров, которые должны оставаться между элементами каркаса встроенных конструкций и верхним сводом в плоскости крайних рядов, должны быть значительно больше, чем абсолютные расчетные величины сближения верхнего и обратного свода в их плоскостях до начала деформирования. Расчеты показали, что эти зазоры должны составлять, в зависимости от глубины заложения станции, не менее 250...300 мм.

Этот факт подтверждается натурными данными, так как вырубка стен и колонн СТП, произведенная на ряде станций в 1986...1987 годах на величину расчетных сближений сводов, не привела к полному прекращению процессов раздавливания конструкций

В деформированной картине каркаса наблюдается неравномерный прогиб верха перекрытий всех этажей СТП, обусловленный различными значениями подъема обратного свода (и жесткого основания) в точках опирания продольных стен подвала и первого этажа СТП.

Неравнозначные по величине смещения блоков обратного свода и опор станции приводят к неравномерному смещению жесткого основания в зоне расположения пу-

тей: подъем жесткого основания в зоне расположения крайних опорных стоек каркаса СТП до 60 мм и опускание основания в зоне расположения наружного рельса (ближнего к опоре) до 30мм. Расчетные данные хорошо согласуются со значениями осадок путевых реперов, расположенных в зоне стыка путевого бетона с опорой (см. рисунок 2).

Анализ результатов натурных обследований и комплекса расчетно-теоретических исследований работы обделок односводчатых станций и встроенных конструкций, показывает, что подавляющая часть повреждений и чрезмерных деформаций элементов встроенных конструкций в ходе длительной эксплуатации обусловлены именно смещениями элементов несущей обделки, на которую опираются или в которую встроены эти конструкции.

Удовлетворительная сходимость результатов численного анализа с данными технического диагностирования встроенных конструкций позволили 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.

Основными причинами, вызывающими появление дефектов в элементах встроенных в односводчатую станцию сооружений и обустройств, следует считать:

- деформации не только арок верхнего свода, но и смещения блоков обратного свода, на которые опираются элементы их несущих каркасов, а также смещения опор сводов;
- принятые без учета возможных деформаций элементов обделки в процессе длительной эксплуатации объемно-планировочные и конструктивные решения встроенных сооружений и обустройств.

Качественные и количественные показатели дефектов и повреждений встроенных конструкций, начало появления их от ввода станции в эксплуатацию и период развития в процессе эксплуатации зависят от глубины заложения станции; толщины кровли протерозойских глин; конструктивной схемы встроенного сооружения; количества и расположения узлов опирания несущих элементов на блоки обделки станции; качества разжатия обратного свода;

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.

Анализ результатов натурного обследования и данных расчетно-теоретических исследований показал, что встроенные конструкции односводчатых станций имеют достаточно сложные и не всегда рациональные проектные решения, что способствует развитию в них повреждений и усложняет их текущее содержание.

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.

По нашему мнению, при поиске новых конструктивных решений встроенных конструкций односводчатых станций, следует руководствоваться следующими основными принципами:

- повышение жесткости несущих каркасов;
- встроенные конструкции должны иметь минимальное количество узлов опирания несущих каркасов на элементы тоннельной обделки, что существенно снизит степень влияния перемещений элементов обделки на напряженно-деформированное состояние встроенных конструкций;
- расположение опор каркасов встроенных конструкций целесообразно совмещать с «точками равного подъема» (смещения по вертикали) обделки обратного свода станционного тоннеля.

При разработке компоновочного решения встроенных конструкций следует исключать влияние на их напряженно-деформированное состояние неизбежных деформаций большепролетных верхнего и нижнего сводов обделки станции. Это достигается устройством деформационных зазоров между элементами каркасов и верхним сводом станции. При этом величина этих зазоров должна быть обоснована расчетом по приведенному в работе алгоритму при проектировании каждого конкретного станционного комплекса.

Целесообразно при проектировании стеновых и перегородочных конструкций вместо массивных стен и перегородок, выполняемых из кирпича и бетона, использовать самонесущие современные сборные легкие перегородки офисного типа, собираемые на монтаже из негорючих материалов по металлическому каркасу. Следует реализовать принцип типизации – создания каталога объемно-планировочных решений встроенных конструкций для односводчатых станций, а также узлов и деталей, адаптированных к вариантам возможных конструктивных решений.

Автором в диссертационной работе предложены и разработаны проектные предложения по ряду встроенных сооружений:

- конструктивное решение СТП, обеспечивающее пространственную неизменяемость встроенных строительных конструкций за счет собственной жесткости рам встроенного каркаса (как в поперечном, так и в продольном направлениях), системы вертикальных связей и перекрытий, образующих горизонтальные диафрагмы жесткости;

- конструктивное решение платформы в виде двухконсольной рамы, выполненной из монолитного железобетона. Основными несущими элементами являются стены коллекторов, опертые на жесткое основание обратного свода в точках, симметричных относительно продольной оси несущей обделки;

- ремонтно-пригодный вариант водозащитных зонтов в виде легких стальных каркасов со съемными панелями, закрепляемыми на встроенных конструкциях, исключающих возможность контакта с верхним сводом обделки станции.

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

- устранить причины появления большинства дефектов встроенных конструкций, возникающих в процессе эксплуатации;
- улучшить эксплуатационные качества встроенных в односводчатые станции сооружений и обустройств;
- снизить материальные затраты на строительство станционных комплексов односводчатого типа;
- вдвое уменьшить эксплуатационные затраты на текущий и капитальный ремонт встроенных строительных конструкций;
- обеспечить надежность и долговечность встроенных в односводчатые станции сооружений и обустройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная для подземного строительства задача обоснования конструктивно-технологических параметров сооружений и обустройств, встроенных в односводчатые станции, обеспечивающих эксплуатационную надежность станционных комплексов на Петербургском метрополитене.

Итоги исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. К существенному преимуществу односводчатых 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 и, как следствие, эксплуатационной надежности всего станционного комплекса.

2. На первом этапе обследования встроенных сооружений и обустройств выявлено, что снижение их технического уровня связано как с характером и величинами деформаций обделки станций, которые продолжаются в течение длительного времени после ввода ее в эксплуатацию, так и с особенностями конструктивно-технологических решений. 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 технического диагностирования 10 односводчатых станций со встроенными сооружениями, проведенного по разработанной автором программе, определены причины и установлены закономерности возникновения дефектов и повреждений встроенных конструкций. Эти дефекты и повреждения обусловлены отсутствием или недостаточной величиной зазоров между верхним сводом и несущими элементами встроенных конструкций, а также необоснованным расположением узлов их опирания на обратный свод и на опоры станции.

4. Выявленные дефекты и нарушения встроенных конструкций классифицированы как силовые и производственные. Причем доминирующими являются силовые дефекты, вызванные деформациями элементов обделки станции, которые протекают в течение длительного времени. Установлено, что деформации элементов обделки станции интенсивно нарастают в первые 12-18 месяцев после сдачи станционного комплекса в эксплуатацию и развиваются 18-20 лет.

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 катего-

рий являлась в дальнейшем основой для принятия технических решений по выбору ремонтно-оздоровительных мероприятий и поддержания конструкций в исправном состоянии.

5. С целью установления причинно-следственных связей силового взаимодействия обделки станции с наиболее ответственным и сложным по конструкции встроенным сооружением выполнено численное моделирование обделки односводчатых станций со встроенными конструкциями СТП. По результатам численного анализа выявлена совокупность факторов, определяющих деформированное состояние конструкций СТП.

6. Результаты численного анализа дают 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, а также рационально расположить основания несущих элементов встроенных конструкций на блоках обратного свода.

7. Сравнительный анализ полученных теоретических данных о деформированном состоянии элементов встроенных конструкций с результатами проведенной технической диагностики показал их удовлетворительную сходимость, что подтверждает достоверность результатов комплексных исследований.

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

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

10. Перспективами дальнейшей разработки темы является типизация проектных решений встроенных конструкций односводчатых станций в предложенных автором конструктивных вариантах, что позволит значительно сократить затраты на проектирование подобных конструкций и их эксплуатацию в дальнейшем.

**Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:
из перечня ВАК:**

1 Кунец, Д. В. Математическое моделирование деформированного состояния конструкций односводчатых станций метрополитена (текст). /Д.В. Кунец // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2009 г. – № 8. – С. 49-53.

2. Кунец, Д. В. Эксплуатационная надежность встроенных конструкций односводчатых станций Санкт-Петербургского метрополитена (текст). / Ю.С. Фролов, А. Н. Коньков, Д. В. Кунец // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011г. – № 8. – С. 39-43.

3. Кунец, Д.В. Особенности статической работы обделки и встроенных конструкций односводчатых станций Санкт-Петербургского метрополитена в процессе длительной эксплуатации (текст). / Ю.С. Фролов, А.Н. Коньков, Д.В. Кунец // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – №5. – С. 27-29.

В других изданиях:

4. Кунец, Д. В. Содержание встроенных конструкций односводчатых станций в режиме длительной эксплуатации (текст)./Д.В. Кунец // Метро и тоннели. – 2005г –№ 4. – С.34 – 37.

5. Кунец, Д. В. Проблемы содержания встроенных конструкций односводчатых станций метрополитена в режиме длительной эксплуатации. //Тезисы докладов международной конференции «Безопасность – основа устойчивого развития регионов и мегаполисов» (текст). М.: – 2005 г. – С.50-53.

6. Кунец, Д.В. О перспективах содержания станций метрополитена односводчатого типа. //Труды II международной конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений». Екатеринбург. (текст): – 2007 г. – С.51-54.

7. Кунец, Д. В. Инструкция по содержанию односводчатых станций Петербургского метрополитена/ГУП Петербургский метрополитен (текст): СПб: – 2012 г. –23с.

Кунец Дмитрий Валентинович

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
КОНСТРУКЦИЙ, ВСТРОЕННЫХ В ОДНОСВОДЧАТЫЕ СТАНЦИИ
ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов,
мостов и транспортных тоннелей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
Кандидата технических наук

Подписано в печать

Заказ №

Формат 60x90/16

Тираж 80 экз.

Усл. – печ. л. – 1,5

МИИТ, 127944, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9

