Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2020, №4, Том 7 / 2020, N 4, Vol. 7 <https://t-s.today/issue-4-2020.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS420.pdf>

DOI: 10.15862/10SATS420 (<http://dx.doi.org/10.15862/10SATS420>)

Встройка вестибюлей метрополитена в исторические здания: опыт Ленинграда и Праги, современные задачи и технологии в контексте формирования безбарьерной среды

Стругач А.Г., Трифонов А.Г.

ООО «САБ», Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Стругач Александр Геннадьевич, e-mail: r-9@bk.ru

Аннотация. В настоящее время создание безбарьерной среды на транспорте (в том числе – в системе метрополитена) относится к числу остроактуальных задач. При дооборудовании существующих станций метро для доступа инвалидов и иных маломобильных групп пассажиров в условиях плотной сложившейся городской застройки исторического центра неминусом возникает необходимость встройки дополнительных вестибюлей и сопутствующих помещений в исторические здания и объекты культурного наследия.

Для Санкт-Петербурга данная тематика особенно важна, учитывая специфику структуры исторического центра города и особенности размещения центральных станций метрополитена. В данной статье рассматривается и кратко анализируется опыт встройки вестибюлей метро в исторические здания и объекты культурного наследия в Ленинграде (на примере станций Петербургского метрополитена «Маяковская», «Невский проспект» / «Гостиный двор») и Праге (на примере станций Пражского метрополитена «И.П. Павлова» и «Карлово náměstí»). Опыт исследуемых пражских проектов является

наиболее релевантным относительно современных задач по обеспечению безбарьерной среды, стоящих перед метрополитеном Санкт-Петербурга.

Также в статье даётся сжатый обзор цементационных технологий (для стабилизации грунта и оснований сохраняемых объектов, в том числе – Jet Grouting) и особенностей их применения в сложившейся исторической застройке.

Рассматривается один из вариантов, предложенных авторами для обеспечения доступа инвалидов и иных маломобильных групп пассажиров на станцию метро «Площадь Восстания». Данный вариант был подготовлен в ходе проведения предпроектных проработок по организации доступа инвалидов и иных маломобильных групп пассажиров к 11 станциям Кировско-Выборгской линии Петербургского метрополитена в 2019–2020 гг.

Ключевые слова: метрополитен; подземное строительство; приспособление исторических зданий; вестибюли; лифты; Петербургский метрополитен; Пражский метрополитен; безбарьерная среда; маломобильные группы населения; струйная цементация

Built-in metro system concourse in historical buildings: the experience of Leningrad and Prague, modern problems and technologies in the context of a barrier-free environment establishment

Alexander G. Strugach, Andrey G. Trifonov

SAB, Saint-Petersburg, Russia

Corresponding author: Alexander G. Strugach, e-mail: r-9@bk.ru

Abstract. Currently, the barrier-free environment establishment in transport (including in the metro system) is one of the most urgent tasks. When retrofitting existing metro stations for access by disabled people and other people with limited mobility in a dense urban development of the historical center, it will inevitably arise the need to build additional concourse and related premises in historical buildings and cultural heritage sites.

For St. Petersburg, this topic is especially important, given the specific structure of the city's historical center and the location peculiarities of central metro stations. This article examines and briefly analyzes the building metro concourse experience in historical buildings and cultural heritage sites in Leningrad (on the example of the St. Petersburg metro stations "Mayakovskva", "Nevsky Prospekt" / "Gostiny Dvor") and Prague (on the example of the Prague metro stations "I.P. Pavlova" and "Karlovo namesti"). The investigated Prague projects experience is the most relevant in relation to

the modern providing a barrier-free environment challenges that St. Petersburg metro faced.

The article also provides a cementing overview (for stabilizing the preserved object's soil and foundations, including Jet Grouting) and their use peculiarities in the existing historical development.

One of the options proposed by the authors to provide access for disabled people and other people with limited mobility to the Ploschad Vosstaniya metro station is considered. This option was prepared in the course of pre-design studies on organizing access for disabled people and other people with limited mobility to 11 Kirovsko-Vyborgskaya line stations of the St. Petersburg metro in 2019–2020.

Keywords: metro; underground construction; an adaptation of historical buildings; concourse; elevators; Petersburg metro; Prague metro; barrier-free environment; people with limited mobility; jet grouting

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons "Attribution" («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons "Attribution" 4.0 Global License

Введение

Introduction

Сегодня в Петербурге, как и в большинстве крупных европейских городов, актуальна задача по реализации безбарьерной среды. «Методика обеспечения формирования доступной городской среды может быть сформулирована как создание безбарьерного каркаса» [1]. Ключевую роль здесь играет развитие инфраструктуры: доступная среда должна быть сформирована на транспорте, в том числе – в системе метрополитена. Дооборудование подземного транспорта с целью повышения его доступности для МГН¹ и иных категорий пассажиров с ограниченными возможностями подразумевает, прежде всего, организацию альтернативных вариантов безбарьерного доступа с поверхности земли к пассажирским зонам: подземным платформам, переходам и площадям. Целевой задачей является реализация для всех категорий пассажиров и пользователей их неотъемлемого «права на город» [2]. К числу МГН в данном контексте могут быть отнесены не только люди, передвигающиеся на креслах-колясках [3], с тростью, собакой-проводником и т. д., но и пожилые люди различных возрастных групп, люди с малолетними детьми и другие категории граждан, сталкивающиеся с проблемой адаптации и мобильности в пространстве современного города [4].

Задача должна решаться в комплексе. «Доступная среда для МГН включает в себя все необходимые условия для того, чтобы люди с ограниченными возможностями чувствовали себя равными со всеми остальными и могли свободно реализовывать свои социальные права. Поэтому создание безбарьерной среды затрагивает все сферы жизни и все площадки – внутри зданий и на уличных территориях» [5]. Нормативная база для подобных мероприятий на сегодняшний день в должной мере сформирована. Особенности, достоинства и недостатки современных нормативов проанализированы в профильных публикациях по теме [1; 5; 6].

В 2019–2020 гг. по заказу КРТИ СПб² была проведена работа по определению параметров приспособления части станций первой ветки Петербургского метро для доступа МГН. Весной 2020 г. «Научно-технический совет Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга рассмотрел предпроектную документацию по определению параметров приспособления Кировско-Выборгской линии метрополитена от станции «Проспект ветеранов» до станции

¹ МГН – маломобильные группы населения. См. СП 59.13330.2016 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.

² КРТИ СПб – Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга.

Подготовка документации производилась под руководством ЗАО «Институт «Трансэкопроект» при участии сотрудников нашей организации – ООО «САБ».

Figure 1. *Massing for providing access for disabled people and other PLM at "Narvskaya" Option 1 (developed by the authors of the publication)*

В рамках данной работы проектировщиками были предложены различные варианты устройства дополнительных вестибюлей, специально оборудованных для доступа инвалидов и иных МГН к платформам 11 станций Кировско-Выборгской линии, а также – варианты схемы размещения и объёмно-пространственных решений (Далее – ОПр) павильонов, соединительных ходков, подуличных переходов, подземных площадей и иных сооружений и промежуточных пространств, позволяющих сформировать целостную непрерывную безбарьерную среду на выбранных участках реконструкции и строительства (рис. 1, рис. 2).

³ В КРТИ рассмотрели предпроект приспособления станций Кировско-Выборгской линии метро для маломобильных групп населения // Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга: [официальный сайт]. – URL: <http://krti.gov.spb.ru/press/news/55805/> (дата обращения: 25.12.2020).

Рисунок 2. Визуализация объёмно пространственного решения по обеспечению доступа инвалидов и иных МГН на ст. м. «Ленинский проспект». Вариант 1 (разработано авторами публикации)

Figure 2. Massing visualization to ensure access for disabled people and other PLM at "Leninsky Prospect" metro station. Option 1 (developed by the authors of the publication)

К решениям по интеграции в городское пространство дополнительных вестибюлей метро, оборудованных для МГН, сегодня предъявляются повышенные требования. Необходимо учитывать как современные технологии, так и новейшие стандарты в сфере организации безбарьерной среды. [6] Значимым фактором в условиях строительства и реконструкции в исторически сложившейся среде становится постоянно возрастающий уровень ответственности по отношению к существующим историческим зданиям (Далее – ИЗД) и объектам культурного наследия (Далее – ОКН). Речь идёт о зданиях, сооружениях и комплексах, имеющих объективную культурную ценность, формирующих историко-архитектурную среду и являющихся значимыми для сохранения аутентичного облика городского пространства и исторической памяти. Как уже отмечалось выше, тема относится к числу остроактуальных для городской транспортной отрасли.

Задачи и методология

Objectives and methodology

В ходе подготовки настоящей публикации было намечено решение следующих задач:

1. Рассмотреть отечественные примеры реконструкции и приспособления ИЗД и ОКН для нужд метрополитена в практике ленинградского метростроения (на примере станций «Маяковская» и «Невский проспект» / «Гостинный двор»).
2. Рассмотреть европейские примеры устройства дополнительных вестибюлей для МГН на примере Праги (Чешская Республика), их архитектурные и конструктивные особенности (станции «И.П. Павлова» и «Карлово náměstí»).
3. Дать сжатый обзор современных технологий укрепления грунтов методом цементации (в частности – “Jet Grouting”) и особенностей их применения в условиях плотной застройки исторического центра города.
4. Изложить основные положения концепции устройства дополнительного вестибюля и иных сооружений для доступа МГН на примере решений, разработанных для станции метро «Площадь Восстания» в Санкт-Петербурге.

В виду высокой технической сложности и проблем имущественно-правового характера примеров встройки вестибюлей метрополитена в существующие ИЗД и ОКН – как в российской, так и в европейской практике метростроения – сравнительно мало. В исторических частях городов Европы линии метрополитена нередко прокладывались в створе крупных магистралей – с устройством подземных транспортных сооружений мелкого заложения, – зачастую возводившихся открытым способом. Например, первая ветка метро в Будапеште (Венгрия), «устроенная в створе проспекта Андраши (венг. *Andrássy út.*). Проект был реализован по «планам, составленным компанией «Сименс и Гальске»⁴ <...>: с учётом завершения работ к празднованию тысячелетия в 1896 году»⁵ (рис. 3).

⁴ “Siemens & Halske”.

⁵ Le métro du Millenium // Budapest en Vrac – EVG à Budapest. – URL: <https://www.budapestenvrac.com/#!/posts/Le-metro-du-Millenium/60> (дата обращения: 25.12.2020).

Рисунок 3. Строительство первой ветки метрополитена.
Устройство перекрытий под проезжей частью улицы. Будапешт, 1896 г.
Фото: Георг Клёсс (Klöss György, 1844–1913)

Figure 3. First metro line construction. Overlap arrangement under the street carriageway. Budapest, 1896. Photo: Georg Klöss (Klöss György, 1844–1913)

<https://www.budapestenvrac.com/#!/posts/Le-metro-du-Millennium/60>

Дооборудование существующих станций современными подъёмно-транспортными устройствами и дополнительными выходами в части наземных сооружений для пассажиров, как правило, решается посредством размещения компактных остеклённых павильонов-киосков на прилегающих городских пространствах (рис. 4). В абсолютном большинстве случаев подобные сценарии оказываются применимыми и в Санкт-Петербурге. Тем не менее, существуют отдельные исключения, касающиеся станций метрополитена, расположенных в плотной исторической застройке центра города.

Рисунок 4. Киоски лифтовых подъёмников
для доступа к платформам метрополитена в Мюнхене (Германия)

Figure 4. Elevator kiosks for access to subway platforms in Munich (Germany)

<https://www.u-bahn-muenchen.de/>

Петербургский метрополитен отличается от большинства европейских метро-комплексов, прежде всего, глубиной заложения (применяется глубокое заложение – до 70 м). Линии исторически зачастую трассировались сравнительно свободно по отношению к сложившейся улично-дорожной сети города и его водным артериям. [7] В центральных районах Петербурга с плотной брандмауэрной застройкой XIX – нач. XX вв. подобная диспозиция часто приводит к необходимости вторжения в исторически сложившуюся среду, прежде всего, – при строительстве наземных вестибюлей. В Париже, например, приоритет в реализации безбарьерной среды на транспорте был отдан наземному уличному транспорту именно из-за сложностей, связанных с модификацией станций метро в историческом центре столицы.

В Санкт-Петербурге сегодня отсутствуют реализованные примеры специализированных наземных вестибюлей и сопутствующих сооружений, оборудованных для доступа МГН к платформам метрополитена. Вместе с тем, – в годы активного строительства ленинградского метро в зоне исторического центра, – был накоплен значительный опыт встройки вестибюлей в существующие ИЗД и ОКН. Достоинства и недостатки, выявленные при реализации этих объектов, необходимо учитывать при решении актуальных современных задач.

Ленинградский опыт. Вестибюли станций «Маяковская» и «Невский проспект» – «Гостиный двор»

**Leningrad experience. The stations
"Mayakovskaya" and "Nevsky Prospect" – "Gostiny Dvor" concourse**

Реализация Ленинградского метрополитена началась почти на 10 лет позже московского. [7] «Строительство 1-й линии было начато в мае 1940 г. С началом Великой Отечественной войны работы были остановлены. <...> 15 ноября 1955 г. было закончено сооружение пускового участка первой 1-й линии (от «Автово» до «Площади Восстания»), и Ленинградский метрополитен вступил в число действующих». [8]

В 1960–70-е гг. – в период активного развития Ленинградского метрополитена было воплощено множество наземных вестибюлей различных типов. «Наряду с отдельно стоящими вестибюлями возводились и встроенные. Встроенными оказались вестибюли следующих станций метро: «Невский проспект» (1967) – в дом Энгельгардта, «Площадь Александра Невского I» (1967) – в здание гостиницы «Москва», «Маяковская» (1967) – в дом на углу Невского проспекта и улицы Марата» [9].

Наземный вестибюль станции «Маяковская»

Mayakovskaya station ground concourse

Вестибюль «Маяковской» расположен на углу Невского пр. и ул. Марата (ул. Марата, д. 1/71, лит. А) (рис. 5) и представляет собой пример встройки с сохранением фасада ИЗД по фронту Невского пр. и фрагмента фасада по ул. Марата (на 7 световых осей от угла здания). Историческая постройка – бывший дом купца П.И. Зайцева («1848 г., П.А. Чепыжников, 2005–2006 гг., реконструкция, В.М. Фрайфельд, Р.М. Даянов»). История здания изложена в книге «Невский проспект дом за домом». По словам авторов монографии, вестибюль был оборудован на 1 этаже «после кардинальной внутренней реконструкции здания» [10] (рис. 6).

Рисунок 5. План-схема пересадочного узла Петербургского метрополитена «Площадь Восстания» – «Маяковская» (разработано авторами публикации)

Figure 5. Interchange hub plan-diagram of the Petersburg metro "Ploshchad Vosstaniya" – "Mayakovskaya" (developed by the authors of the publication)

Значительная часть внутренних конструкций и интерьеров была демонтирована. Фасад по Невскому пр. остался практически без изменений. Уже в постсоветское время надстройка, выполненная в 2005–2006 гг. по заказу холдинга «Адамант», изменила привычный облик этой части панорамы Невского пр. (рис. 6).

Рисунок 6. Схема фасада Дома П.И. Зайцева
по Невскому пр. с контурами вестибюля и наклонного хода ст. м. «Маяковская»
(разработано авторами публикации)

Figure 6. P.I. Zaitsev House facade scheme
on Nevsky Prospekt with the concourse contours and the inclined tunnel "Mayakovskaya"
station (developed by the publication authors)

Проектировщики и строители изначально не ставили задачу максимального сохранения ИЗД. В структуре планировочного решения вестибюля, расположенного на 1 этаже, пространство под лицевым корпусом здания представляет собой транзитную зону. Зал с наклонным ходом и примыкающими к нему техническими помещениями располагается на территории двора.

Таким образом, 1 этаж становится промежуточным пространством между уличной «лоджией» и расположенным в глубине эскалаторным залом. Выбранные габариты и сформированная иерархия пространств вестибюля оказались удобными для организации плотного пассажиропотока, характерного для этой станции, и рассредоточения людей по нескольким основным направлениям движения. Свободное транзитное пространство позволяет удобно расположиться ожидающим пассажирам.

«На расположенном в центре зала пилоне был установлен бронзовый барельеф с изображением В.В. Маяковского (скульптор М.Т. Литовченко). С обратной стороны пилона – цитата из поэмы «Хорошо!». Включение произведений монументально-декоративного искусства позволяет не только отразить тематику оформления станции, но и стилистически связать оба интерьера – наземный вестибюль и подземный зал станции» [9].

Рисунок 7. Лоджия станции метро «Маяковская»

Figure 7. Mayakovskaya metro station stanzas

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Mayakovskaya_spb.jpg

Устройство просторного транзитного пространства компенсирует отсутствие свободного места перед входом. Ширина прохожей части на этом участке Невского пр. не достаточна для обеспечения комфортного пешеходного движения в условиях значительной плотности и интенсивности потока. На фасаде остеклённые арки первого яруса были превращены в открытые проёмы (рис. 7). Этот приём – создание «лоджии» за фасадом исторического здания характерен для ряда других наземных вестибюлей метро советского периода.

Таким образом, к числу преимуществ данного проекта относится не только реализация комфортной планировочной схемы и продуманное инженерное решение по выходу наклонного хода на поверхность, но и сохранение значительной части фасадов ценного здания.

Наземные вестибюли станций «Невский проспект» и «Гостиный двор»

"Nevsky Prospekt" and "Gostiny Dvor" station ground concourse

Вестибюль станций метро «Невский проспект» – «Гостиный двор» встроен в здание на углу Невского пр. и наб. канала Грибоедова (Невский пр., д. 30, лит. А). – Дом Энгельгардта («1759–1761 гг., Ф.Б. Растрелли; 1828–1832 гг., перестройка, П.П. Жако») (рис. 9). История здания – от особняка до поздней советской реконструкции – изложена в книге «Невский проспект дом за домом» [10].

Рисунок 8. План-схема пересадочного узла
«Невский проспект» – «Гостиный двор» (разработано авторами публикации)

Figure 8. "Nevsky Prospekt" – "Gostiny Dvor"
interchange hub scheme (developed by the authors of the publication)

Рисунок 9. Фрагмент панорамы Невского пр. В.С. Садовникова
(1835 г.) Дом Энгельгардта. Фотокопия с репринтного издания [11]

Figure 9. V.S. Sadovnikov (1835) Nevsky prospect panorama
fragment of Engelhardt House. Photocopy from the reprinted edition [11]

Дом Энгельгардта пострадал в годы Великой Отечественной Войны.
«В ноябре 1941 года центральная часть здания была разрушена фугасной бомбой» [10] (рис. 10).

После войны постройка была отремонтирована, а фасад был отреставрирован с воссозданием утраченных частей стен и архитектурных деталей. «Дом был восстановлен одним из первых в Ленинграде в 1944–1948 годах (архитекторы В.А. Каменский и А.А. Лейман)» [10].

Рисунок 10. Дом Энгельгардта на Невском пр. Фото кон. 1941 – нач. 1942 гг.⁶

Figure 10. Engelhardt House on Nevsky Prospekt. Photo con. 1941 – early. 1942

В таком виде постройка просуществовала до 1967 г. «Угловая часть здания в 1967–1968 годах разобрана и восстановлена при сооружении наземного вестибюля станции метро «Невский проспект» – «Гостиный двор» [10]. «Проект вестибюля разработан в институте Ленметропроект. Авторы – архитекторы А.С. Гецкин и В.П. Шувалова при участии архитектора К.Н. Афонской».⁶

Строительная площадка на месте разобранного угла Дома Энгельгардта запечатлена на фотографиях Ленинграда конца 1960-х гг. (рис. 11).

⁶ «Невский проспект» и «Гостиный двор»: выходы на поверхность. Старые фотографии, часть 3. // Живой журнал: [сетевое сообщество]. – URL: <https://samiznaetekt.livejournal.com/115754.html> (дата обращения: 25.12.2020).

(a)

(b)

Рисунок 11. Наземный вестибюль ст. м. «Невский проспект»: а) Строительство наклонного хода и выхода «Невский проспект – II», 1965–1966 годы; б) Лоджия вестибюля станции метро «Невский проспект». «Климат», фото 1975 г.⁶

Figure 11. Ground concourse "Nevsky Prospekt" metro station: a) Inclined tunnel and exit "Nevsky Prospekt – II" construction, 1965–1966; b) "Nevsky Prospekt" metro station concourse loggia. "Climate", photo 1975

Сохранилась картина художника Г.В. Рахлова «Невский проспект» (рис. 12). Живописец запечатлел стройплощадку вестибюля с балюстрады Казанского собора. Репродукция этого произведения предоставлена исследователем Ленинградского метрополитена Михаилом Крайновым.

Рисунок 12. «Невский проспект». Художник Георгий Васильевича Рахлов (1931–1996)

Figure 12. "Nevsky Prospekt". Artist Georgy Vasilyevich Rakhlov (1931–1996)

<https://m.123ru.net/spb/21368170/>

Таким образом, выбранный в данном случае вариант встройки вестибюля изначально предполагал демонтаж значительной части подлинных конструкций и архитектурных деталей. Сохранились лишь фрагмент фасада вдоль Невского пр. и внутренняя часть первоначального особняка (рис. 13). О ценности и степени сохранности утраченных интерьеров сложно судить после большого количества перестроек. Решение о столь радикальной реконструкции – в сравнении с примером станции «Маяковская», – предположительно, объясняется рядом технико-экономических факторов, а также, – вероятно, состоянием несущих конструкций объекта, пережившего военные разрушения и ремонты.

Рисунок 13. Схема фасада Дома Энгельгардта по Невскому пр. с контурами вестибюля и наклонного хода ст. м. «Невский проспект» (разработано авторами публикации)

Figure 13. Engelhardt House facade diagram along Nevsky Prospekt with the "Nevsky Prospekt" metro station concourse and the inclined tunnel contours (developed by the authors of the publication)

Планировочное решение вестибюля не подразумевало устройства развитого транзитного пространства перед кассовой зоной, как это удалось сделать на станции «Маяковская». Стеснённость входного узла, в том числе – минимально допустимая высота пассажирской зоны – является очевидным недостатком, который проявляется всё больше по мере увеличения интенсивности и объёма пассажиропотока. По замыслу авторов, «в первом этаже здания <...> решено создать глубокую лоджию. Здесь, на углу, будет вход. Выходы устраиваются со стороны канала и проспекта»⁶. Расширение уличного пространства перед входом за счёт раскрытия части первого этажа обернулось сокращением площади отапливаемой зоны. «Лоджия», спроектированная, судя по всему, как зона ожидания перед входом, – сегодня не способствует эффективному разделению потоков пассажиров.

Подобные угловые «лоджии» в 1960–70-е гг. были устроены также в ряде ремонтировавшихся и реконструировавшихся домов в центре города.

Изначально предполагалось, что «за прозрачными витражами будет хорошо виден эскалаторный зал»⁶ (рис. 14). Сегодня здесь расположен торговый киоск. Пространственный эффект этого модернистского архитектурного приёма, который, по всей вероятности, должен был помочь визуально расширить затеснённый зал и связать его с лоджией и уличными видами в арках, – в нынешнем облике полностью отсутствует.

Рисунок 14. Перспективные изображения из проекта наземного вестибюля ст. м. «Невский проспект» (Институт «Ленметропроект», 1965 г.). Компьютерная репродукция выполнена авторами статьи на основе оригинальных чертежей⁶

Figure 14. Perspective images from the project of the "Nevsky prospect" metro station ground concourse (Institute "Lenmetroproekt", 1965). Computer reproduction made by the authors of the article based on original drawings

Таким образом, несмотря на то, что свободная открытая планировка была сформирована с чистого листа (в виду выбранного варианта демонтажа угловой части существующего здания), сохранить её в полной мере по сей день – не удалось. Воссоздание исторического фасада в очередной раз обернулось тем, что в одном из знаковых мест Санкт-Петербурга подлинный ОКН был заменён новым сооружением, частично имитирующим сохранявшуюся с XIX в. оригинальную архитектуру.

Наиболее удачным в практике ленинградского метростроения примером встройки вестибюля в ОКН является выход в здании Большого Гостиного двора (рис. 15) (Невский пр., д. 35, лит. А). Этот комплекс принадлежит к плеяде всемирно узнаваемых символов Санкт-Петербурга.

Встройка помещений метрополитена являлась частью масштабных работ по приспособлению здания Гостиного двора («1761–1785 гг., Ж.-Б. Валлен-Деламот») [10] для размещения там универсама.

Рисунок 15. Фрагмент панорамы Невского пр. В.С. Садовникова, (1835 г.)
Большой Гостиный двор у Садовой ул. Фотокопия с репринтного издания [11]

Figure 15. Nevsky Prospect panorama fragment, V.S. Sadovnikov, (1835)
Bolshoi Gostiny Dvor near Sadovaya Street. Photocopy from the reprinted edition [11]

«В результате реконструкции 1955–1967 годов (архитекторы И.А. Вакс, Л.С. Катонин, инженер М.А. Юношев) изолированные прежде магазины превращены в сквозную анфиладу. Встроенная станция метро «Гостиный двор» открылась в 1967 году (архитекторы А.К. Андреев и С.Г. Майофис, верхний вестибюль – архитекторы Д.В. Красовский и Л.С. Катонин). В 1977 году в вестибюле установлен витраж работы художника А.Л. Королёва» [10].

Из трёх приведённых примеров этот реализован наиболее щадящим образом по отношению к ОКН. Задача полномасштабной реконструкции Гостиного двора и большая ответственность, связанная с его историческим статусом, требовали максимальной деликатности при осуществлении встройки вестибюля метро. ОНР торгового здания в виде открытой ячеистой галереи и отвечающей ей отапливаемой зоны торговых рядов позволило без значительной перестройки выделить 3 «блока» по 2 «секции» – для доступа пассажиров через лицевой корпус в новый вестибюль, расположенный во дворе, а также – для выхода в торговые зоны и устройства подсобных помещений (рис. 16). Пристройка объёма со стороны двора упростила инженерно-техническую задачу. Всё это позволило воплотить эффективное и комфортное ОНР.

Рисунок 16. План-схема Большого Гостиного двора с сооружениями в составе наземного вестибюля ст. м. «Гостиный двор» (разработано авторами публикации)

Figure 16. Bolshoy Gostiny Dvor plan-diagram with structures as part of the "Gostiny Dvor" metro station ground concourse (developed by the authors of the publication)

Рисунок 17. Схема фрагмента фасада Большого Гостиного двора по Невскому пр. с контурами вестибюля и наклонного хода ст. м. «Гостиный двор» (разработано авторами публикации)

Figure 17. Bolshoi Gostiny Dvor facade fragment scheme along Nevsky Prospekt with the "Gostiny Dvor" metro station concourse and the inclined passage contours (developed by the authors of the publication)

Градостроительное положение главного исторического торгового здания города, стоящего на отnose от красной линии Невского пр., даёт достаточно пространства для равномерного и свободного распределения пассажиропотока.

Таким образом, использование части аркад ИЗД как транзитной зоны для рассредоточения пассажиров, примыкание наклонного хода со стороны двора, отсутствие технически сложных работ по устройству сопряжения конструкций наклонного хода с историческими фундаментами, – может рассматриваться как эффективная комбинация из наиболее предпочтительных в данной ситуации решений.

Пассажирский лифт на станции «Площадь Ленина»

Passenger elevator at the "Lenin Square" station

В практике Ленинградского метростроения в экспериментальном порядке рассматривались варианты устройства пассажирских лифтов, обеспечивающих доступ из вестибюлей к платформам станционных комплексов. В частности, предполагалось устройство подобной системы на станции метро «Площадь Ленина» – с интеграцией лифтового подъёмника в здание Финляндского вокзала. Информация об этих планах была обнаружена исследователем метрополитена Михаилом Крайновым в переписке строительных организаций Ленинграда 1962 г.⁷ «Начальнику Главтоннельметростроя тов. Кузнецову К.А. Копия: начальнику Ленметропроекта тов. Казанцеву С.С., начальнику Октябрьской жел. дороги тов. Чубарову В.В. <...> в подлежащей реконструкции старой части Финляндского вокзала, в порядке опыта, имелось в виду соорудить лифтовый подъёмник для пассажиров станции «Площадь Ленина» метрополитена. <...> Учитывая необходимость принципиального решения вопроса о возможности применения лифтов в метростроении на основе эксплуатации опытной установки, Исполком Ленгорсовета просит Вас включить в план опытных работ Минтрансстроя на 1970–1971 гг. разработку и осуществление экспериментального пассажирского лифтового подъёма на станции «Площадь Ленина» Ленметрополитена».

К сожалению, эти предложения так и не были реализованы. Отсутствие опыта по сооружению пассажирских лифтов для доступа к платформам метрополитена на сегодняшний день является существенным недостатком петербургского метростроительного комплекса. Что, в частности, увеличивает сроки реализации полноценной безбарьерной среды

⁷ ЦГА 3346-1-319 (Переписка со строительными организациями Ленинграда о проектировании новых очередей метрополитена), 1969 г.

на транспорте. Данное технологическое отставание необходимо преодолеть в самое ближайшее время.

Пражский опыт. Дооборудование станций метрополитена «И.П. Павлова» и «Карлово намести» для доступа МГН

Prague experience. Additional equipment of the "I.P. Pavlova" and "Karlovo namesti" metro stations for PLM access

Среди профильных примеров в европейском метростроении в данном исследовании будут рассмотрены реализованные варианты дооборудования двух станций пражского метро, расположенных в сложившейся застройке центра. После крупного наводнения, произошедшего в стране в 2002 году⁸, власти Праги приняли ряд решений, активизировавших комплекс работ по реконструкции и развитию сети пражского метрополитена [12]. Данные обстоятельства, в том числе, повлияли и на ускорение темпов внедрения на метрополитене безбарьерных решений. Воплощённые в Праге ОНР являются прямыми аналогами схем, которые потребовалось реализовывать нашим специалистам при работе над обеспечением доступности 11 станций Кировско-Выборгской линии Петербургского метро в 2019–2020 гг. Следует отметить, что геологическая обстановка, характер и структура грунтов в Праге – в значительной мере отличаются от петербургских. Это оказывает влияние на расчёты, выбор технологий и оборудования. Данные обстоятельства делают пражский опыт лишь отчасти применимым в условиях подземного транспортного строительства в Санкт-Петербурге.

Станция «И.П. Павлова» (чеш. “I.P. Pavlova”)

Station “I.P. Pavlova” (Czech “I.P. Pavlova”)

Станция пражского метрополитена «И.П. Павлова», построенная открытым способом, «находится под одноимённой площадью и ул. Легерова (чеш. Legerova) <...>. Её открытие <...> состоялось 9 мая 1974 года. Название станции дала площадь (Náměstí I.P. Pavlova), которая в свою очередь была названа в честь знаменитого учёного, первого русского нобелевского лауреата Ивана Петровича Павлова. Pavlák или Írák, как прозвали её пражане, является одной из самых загруженных станций в

⁸ Чеканова, А. 13-го августа 2002 года – как это было // Radio Prague International: [официальный сайт]. – URL: <https://ruski.radio.cz/13-go-avgusta-2002-goda-kak-eto-bylo-8552043> (дата обращения: 25.12.2020).

городе»⁹. Над перронами расположен технический этаж и 4 уровня подземной автопарковки.

Рисунок 18. Карта-схема размещения ст. м. «И.П. Павлова» в городской среде. Материалы Института «Метропроект Прага»¹⁰ [13]

Figure 18. "I.P. Pavlova" metro station location map-diagram in the urban environment. Metroprojekt Praha Institute materials [13]

В 2015 г. станция была оборудована пассажирским лифтом, вестибюль которого был встроен в 1 и цокольный этажи ИЗД на ул. Легерова с выходом на проходную часть (рис. 19–21) «Подняться с коляской с перрона станции «И.П. Павлова» можно за две минуты благодаря новому безбарьерному лифту»¹¹. Администрация района предоставила для встройки д. № 357/50. Детальное техническое описание решений представлено в публикациях инж. Павла Буриана (чеш. Pavel Burian) [13; 14].

«Безбарьерный доступ к станции метро И.П. Павлова запроектирован с уровня ул. Легерова по каскаду пассажирских лифтов». [14] Аналогичное решение разрабатывалось и для других станций. Первая ступень каскада состоит из лифтовой шахты, ведущей с уровня улицы через цокольный этаж дома в новый ходок (длиной ок. 10 м) до уровня технического этажа над платформенной частью. «Общая глубина котлована составляет примерно 15,5 м от уровня ул. Легерова» [14].

⁹ Станция метро I.P. Pavlova // ПРАГА. Путеводитель по Праге: [официальный сайт]. – URL: <https://praga-praha.ru/metro-i-p-pavlova/> (дата обращения: 25.12.2020).

¹⁰ Metroprojekt Praha a.s.

¹¹ Poštolková, L. Bezbariérový výtah ve stanici metra I.P. Pavlova si lidé pochvalují // Metro Magazin (Metro.cz): [официальный сайт]. – URL: https://www.metro.cz/bezbarierovy-vytah-ve-stanici-metra-i-p-pavlova-si-lide-pochvaluji-107-/praha.aspx?c=a150903_081109_co-se-deje_jsk (дата обращения: 25.12.2020).

Рисунок 19. Схема ОПР организации доступа МГН к платформам ст. м. «И.П. Павлова» в Праге со встройкой вестибюля в ИЗД. Материалы Института «Метропроект Прага»; Лифтовой подъёмник на перроне ст. м. «И.П. Павлова»

Figure 19. PLM accessing space-and town planning scheme to the "I.P. Pavlova" metro station platforms in Prague with the concourse addition in the historic building. Metroprojekt Praha Institute materials; Elevator on the "I.P. Pavlova" metro station platform

<https://tvstav.cz/clanek/4040-bezbarierove-pristupy-do-stanic-metra-i-p-pavlova-andel-a-mustek-a-b>; https://www.imaterialy.cz/rubriky/aktuality/souteze/soutez-ceska-dopravni-stavba-technologie-inovace-roku-2015-vysledky_43729.html

Рисунок 20. Фрагмент плана и поперечный разрез из проекта реконструкции ст. м. «И.П. Павлова» в Праге для безбарьерного доступа МГН. Материалы Института «Метропроект Прага» [13]

Figure 20. Prague "I.P. Pavlova" metro station reconstruction project plan and cross-section from fragment for barrier-free access to PLM. Metroprojekt Praha Institute materials [13]

Вдоль шахты лифта проходит служебно-эвакуационная лестница, ведущая из переходного коридора в 1 этаж здания. Вторая ступень каскада ведёт на уровень платформы. Для укрепления фундамента ИЗД была применена технология струйной цементации (Jet Grouting), сформирована прижимная ж/б стенка (рис. 22).

Рисунок 21. Здание по ул. Легерова, 357/50: а) исторический фасад до встройки дополнительного вестибюля метрополитена для МГН [13]; б) фрагмент фасада с раскрытыми проёмами у входа в дополнительный встроенный вестибюль¹²

Figure 21. Building on the street. Legerova, 357/50: a) the historical facade before the additional metro concourse for PLM construction [13]; b) facade fragment with openings at the entrance to the additional built-in concourse

Поскольку загруженность этого входа предполагается незначительная, пространство вестибюля сделано минимально возможным по площади (рис. 20). В данном узле практически отсутствуют технические помещения, что позволило занять лишь сравнительно небольшую часть подвала. Таким образом, удалось сохранить действующее инженерное оборудование. Принятая технология строительства подразумевала локальную разборку перекрытия первого этажа для формирования достаточного пространства для работ (рис. 23).

При проведении работ движение по прилегающей улице не перекрывалось. После завершения работ были восстановлены интерьеры прилегающих помещений и проведена реставрация уличного фасада. Фасад подвергся минимальному воздействию. Вмешательство в архитектуру ИЗД ограничилось раскрытием проёмов первого этажа (рис. 23).

¹² Výtahů se dočkala i stanice metra i. P. Pavlova a je nyní také bezbariérová // Pravá Praha – elektronický magazín pro všechny Pražany: [официальный сайт]. – URL: <https://pravapraha.cz/c/vytahu-se-dockala-i-stanice-metra-i-p-pavlova-a-je-nyni-take-bezbarierova/> (дата обращения: 25.12.2020).

Рисунок 22. Ст. м. «И.П. Павлова» в Праге. Фото в процессе строительства сооружений для безбарьерного доступа МГН. Работы по струйной цементации, выработке шахты, установке опалубки шахты лифта и др. [14; 13]

Figure 22. Prague "I.P. Pavlova" metro station. Photo during the facilities for barrier-free access PLM construction. Works on jet grouting, mine development, elevator shaft formwork installation, etc. [14; 13]

Рисунок 23. Ст. м. «И.П. Павлова» в Праге. Фото в процессе строительства сооружений для безбарьерного доступа МГН. Работы по проходке транзитного ходка, средства механизации, смонтированные на время работ в проёме сохраняемого ИЗД [13]

Figure 23. Prague "I.P. Pavlova" metro station. Photo during the facilities for barrier-free access PLM construction. Transit tunneling works, mechanization equipment, mounted at the time of work in the preserved historic building opening [13]

Станция «Карлово намести» (чеш. “Karlovo náměstí” – «Карлова площадь»)

"Karlovo namesti" station (Czech "Karlovo náměstí" – "Karlova square")

Дата открытия станции «Карлово намести» – 2 ноября 1985 г. Узкие улицы исторического района, где размещается станция, не имеют резерва

пространства для размещения отдельно стоящих дополнительных вестибюлей или павильонов-киосков (рис. 24).

Рисунок 24. Карта-схема размещения станции «Карлово намести» в городской среде с показом новых сооружений для безбарьерного доступа МГН. Изображение разработано институтом «Метропроект Прага» [15]

Figure 24. "Karlovo Namesti" station schematic map in an urban environment showing new structures for barrier-free access to PLM. Image developed by Metroprojekt Praha Institute [15]

Поэтому обеспечение безбарьерного доступа на станцию организуется посредством встройки лифтового узла в цокольный этаж здания 2068/14 по ул. Вацлавска (рис. 25).

Рисунок 25. Станция «Карлово намести» в Праге. Фото фасада сохраняемого ИЗД. Фрагмент плана в уровне 1 этажа. Материалы разработаны институтом «Метропроект Прага» [15]

Figure 25. Prague "Karlovo Namesti" station. Preserved historic building facade photo. 1st-floor level plan fragment. The materials were developed by the Metroprojekt Praha Institute [15]

«Реализация безбарьерного доступа на станцию метро «Карлово náměstí» началась с выработки двух шахт глубиной более 30 метров. После них сооружаются соединительные ходы, проходящие непосредственно над тоннелем трассы <...> транзитный коридор будут обслуживать две пары лифтов. <...> Станция метро расположена на глубине 40 м от поверхности земли и по завершении строительных работ станет 46-й станцией метро с безбарьерным доступом»¹³ (рис. 26, 27).

Рисунок 26. Ст. м. «Карлово náměstí» в Праге. Фото в процессе строительства сооружений для доступа МГН. Шахта в створе проезжей части улицы Вацлавска. Выработка шахты, подъём выработанной породы

Figure 26. Prague "Karlovo Namesti" station. Photo in the process of facilities for access to PLM construction. Chamber in the Wenceslas Street roadway alignment. Development of a mine, lifting of the mined rock

https://www.idnes.cz/praha/zpravy/metro-karlovo-namesti-eskalatory-vytah-stavba-praha.A190712_140533_praha-zpravy_zuf

Для встройки используется одна из существующих торговых ячеек первого этажа. Здесь, как и на станции «И.П. Павлова», применяется система парных каскадных лифтов, с промежуточным ходком, трассированным над сводами станции (рис. 28).

В отличие от станции «И.П. Павлова» для обеспечения доступа горнопроходческой техники в этот коридор, была устроена временная шахта – технологический колодец в зоне проезжей части улицы Вацлавска.

Овальная в сечении шахта глубиной 34,2 м находится между двумя крупными кабельными каналами, расположенными с обеих сторон улицы. [15] (рис. 28). Её устройство обусловлено также тем, что объём, отведённый под устройство лифтов в существующем ИЗД предельно ограничен, и проектом не предполагается устройство лестницы.

¹³ Praha, Bezbariérové zpřístupnění stanice Karlovo náměstí // HOCHTIEF CZ a.s.: [официальный сайт]. – URL: <http://www.hochtief.cz/nase-projekty/referencni-projekty/dopravni-infrastruktura/praha-bezbarierove-zpristupneni-stanice-karlovo-namesti> (дата обращения: 25.12.2020).

Рисунок 27. Ст. м. «Карлово náměstí» в Праге. Фото в процессе строительства сооружений для доступа МГН. Установка опалубки и бетонирование хода. Монтажные работы на перроне станции

Figure 27. Prague "Karlovo Namesti" station. Photo in the process of facilities for access to PLM construction. Mold installation and course concrete casting. Erection works on the station platform.

https://www.idnes.cz/praha/zpravy/metro-karlovo-namesti-eskalatory-vytah-stavba-praha.A190712_140533_praha-zpravy_zuf

Рисунок 28. Ст. м. «Карлово náměstí» в Праге. Разрезы из проекта обеспечения безбарьерного доступа для МГН. Материалы Института «Метропроект Прага» [15]

Figure 28. Prague "Karlovo Namesti" station. Sections from the project to ensure barrier-free access for PLM. Metroprojekt Praha Institute materials [15]

Эвакуация из промежуточного хода производится на перрон станции. В подвале существующего ИЗД сохранена большая часть инженерных коммуникаций.

Рисунок 29. Ст. м. «Карлово намести» в Праге. Разрез в зоне примыкания ходков и шахты лифта к существующим конструкциям станции. Материалы Института «Метропроект Прага» [15]

Figure 29. Prague "Karlovo Namesti" station. A section in the walkways and the elevator shaft adjoining area to the existing station structures. Metroprojekt Praha Institute materials [15]

Фундамент постройки был укреплен по методу струйной цементации (Jet Grouting). Выполнены микро-сваи, расположенные по периметру лифтовой шахты. Планировочная программа сведена к функциональному минимуму. Основной элемент дооборудования в первом этаже ИЗД – венчающий ярус шахты лифта [15]. Входная зона представлена небольшим заглублением одной из торговых витрин в плоскость фасада. В отличие от предыдущего примера, здесь предусмотрено сохранение перекрытий первого этажа.

Рисунок 30. Ст. м. «Карлово намести» в Праге. План-схема размещения вновь устраиваемых сооружений для безбарьерного доступа МГН. Материалы Института «Метропроект Прага».

Figure 30. Prague "Karlovo Namesti" station. Newly constructed facilities schematic layout for barrier-free access to PLM. Metroprojekt Praha Institute materials

Объект, стоимость строительства которого составляет около 240 миллионов крон¹⁴, находится в завершающей стадии реализации и будет открыт в самое ближайшее время.

Рисунок 31. Ст. м. «Карлово намести» в Праге.
Фото в процессе строительства сооружений для безбарьерного
доступа МГН. Проходка транзитных ходков

Figure 31. Prague "Karlovo Namesti" station. Photo during
the facilities for barrier-free access PLM construction. Transit passages drive

https://www.metro.cz/stavba-vytahu-do-stanice-karlovo-namesti-se-opozdi-neni-mozne-odpalovat-podzemni-naloze-gb1-/praha.aspx?c=A200421_172834_metro-praha_hyr

Данный пример иллюстрирует минимально необходимое вторжение в эксплуатируемое на протяжении всего периода строительства существующее жилое историческое здание, для обеспечения безбарьерного доступа на станцию метрополитена.

Технологии цементации и их применение в подземном строительстве и реконструкции в плотной застройке исторического центра

**Cementing practice and their application in underground
construction and reconstruction in historical center restrained urban conditions**

При решении геотехнических задач, описанных в приведённых выше примерах, ключевым моментом является применение различных технологий стабилизации массивов грунта и укрепления оснований существующих построек [16]. Из применяющихся сегодня современных цементационных технологий «наибольшее распространение получили следующие <...>: инъекционная цементация в режиме пропитки поровой

¹⁴ Stavba výtahů do stanice Karlovo náměstí se opozdí. Není možné odpalovat podzemní nálože // Metro Magazin (Metro.cz): [официальный сайт]. – URL: https://www.metro.cz/stavba-vytahu-do-stanice-karlovo-namesti-se-opozdi-neni-mozne-odpalovat-podzemni-naloze-gb1-/praha.aspx?c=A200421_172834_metro-praha_hyr (дата обращения: 25.12.2020).

структуры грунта с использованием тонкодисперсных вяжущих (микроцементов) и манжетной технологии; струйная цементация грунтов по одно- и двухкомпонентной технологии (Jet-1 и Jet-2); компрессионно-разрывная цементация грунтового массива; заполнительная цементация грунтов. Каждая из вышеназванных технологий имеет оптимальную область применения с учётом геотехнических условий и архитектурно-конструктивных особенностей зданий и сооружений» [17].

Рисунок 32. Принципиальная схема бурения и цементации при стабилизации грунта по методу струйной цементации. 1 – бурение; 2 – цементация

Figure 32. Drilling and grouting structural scheme during soil stabilization by the jet grouting method. 1 – drilling; 2 – cementation

<http://mcbund.ru/burovyie-raboty/strujnaya-cementacziya-gruntov-jet-grouting/>

При рассмотрении темы подземного строительства со встройкой части конструкций в существующие здания, в том числе – ИЗД и ОКН в Санкт-Петербурге – следует подробнее остановиться на технологии струйной цементации (Далее – СЦГ) (рис. 32). Укрепление грунта и фундамента ИЗД путём СЦГ проводилось в Санкт-Петербурге в последние годы уже неоднократно [18]. Среди примеров – реставрация здания Адмиралтейства и Дома Журналистов на Невском пр., строительство Новой сцены Мариинского театра и другие объекты. Одним из наиболее интересных объектов последних лет стал комплекс на острове Новая Голландия, где были эффективно применены самые передовые решения [19]. По словам кандидата технических наук инженера А.В. Чернякова, «применение конструктивных решений со струйной цементацией грунта позволяет обеспечить устройство глубоких котлованов в слабой толще на территории с плотной городской застройкой» [20]. Данное обстоятельство делает технологию применимой в условиях исторического центра Петербурга. Как указывают в своём исследовании А.И. Осокин, О.О. Денисова и Т.Н. Шахтарина, «в центральной части Санкт-Петербурга, как правило, несущим слоем для основной застройки XVIII–XIX вв. являются слои морских отложений, представленных песками пылеватыми и мелкими средней плотности, супесями пластичными» [21].

При проектировании и строительстве подземных сооружений в зоне плотной сложившейся застройки требуется обеспечение прогнозирования изменений состояния примыкающих к зоне работ грунтовых масс и деформаций конструкций существующих зданий. «Выбранная технология должна отвечать соблюдению значений предельно допустимых дополнительных деформаций эксплуатируемых зданий, попадающих в зону влияния нового строительства, которые устанавливаются нормативом с учётом их технического состояния» [21].

Рисунок 33. Применение технологии Jet Grouting по стандартам компании KELLER. Устройство Jet Grouting у фундамента ИЗД в Норвегии¹⁵. Принципиальная схема технологии¹⁶

Figure 33. Jet Grouting technology application according to KELLER standards. Jet Grouting at the preserved historic building foundation in Norway. Technology concept

По словам С.Г. Богова, в публикациях которого подробно анализируется опыт применения технологии СЦГ в Петербурге (в том числе в наиболее сложных случаях, – таких, как бесподвальные ИЗД на слабых грунтах [22]), методы прогнозирования деформаций и другие сопутствующие аспекты, «в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга струйная технология позволила осуществлять специальные работы в грунте: бездефектно проводить реконструкцию и усиление, решать сложные задачи нового строительства в плотной застройке. <...> Струйная технология как конкурент <...> шпунту используется для устройства ограждений, анкеров при разработке глубоких траншей для ремонта инженерных коммуникаций, а также при устройстве глубоких котлованов для паркингов и понижении подвалов в существующих зданиях» [23].

¹⁵ Ringerike VGS. Hønefoss, Norway // KELLER Norway: [официальный сайт]. – URL: <https://www.keller-geoteknikk.no/en/projects/ringerike-vgs> (дата обращения: 25.12.2020).

¹⁶ Jet grouting uses high velocity fluid jets to construct cemented soil of varying geometries in the ground. // KELLER UK: [официальный сайт]. – URL: <https://www.keller.co.uk/expertise/techniques/jet-grouting> (дата обращения: 25.12.2020).

Описывая базовый принцип технологии СЦГ, С.Г. Богов отмечает, что метод позволяет формировать в грунтах «новый геомассив из вертикальных, наклонных и горизонтальных цилиндрических и плоских закрепленных объёмов, отдельно стоящих или сопряженных вместе». «Струйный размыв грунта основан на высокой скорости движения струи малого диаметра. <...> Исследования процессов воздействия гидравлических высоконапорных струй на грунты сводятся к трём традиционным способам описания процессов: расчётному, экспериментальному и полуэмпирическому» [23]. Всесторонне анализируя особенности технологии, опыт её применения на стройках петербургских объектов, а также – данные мониторинга, – исследователь делает вывод, что «адаптация струйной технологии и решение возникающих проблем с учётом грунтовых условий Санкт-Петербурга позволяют рекомендовать её для целей реконструкции в условиях плотной городской застройки – при усилении фундаментов и устройстве глубоких выработок» [23].

Исследования свойств и качеств объёмов, получаемых в грунте при производстве работ по методу СЦГ, на сегодняшний день продолжаются. В последние годы отечественными и зарубежными учёными и строителями были получены новые данные, касающиеся прочностных характеристик СЦГ-материала [24] и опыта его применения при реконструкции, реставрации ИЗД и строительстве новых зданий и сооружений [25].

СЦГ подразумевает применение буро-цементационных машин (например, установки на гусеничном ходу компании KELLER, которая запатентовала ряд струйных технологий в конце 1970-х гг.)¹⁷. (рис. 33) Существуют варианты применения и более компактной техники. Одним из наиболее подробных и структурированных изданий на русском языке, посвящённых СЦГ, является монография А.Г. Малинина [26].

Международный опыт применения СЦГ в строительстве, в том числе – при реновации ИЗД, – описан в ряде современных публикаций в иностранных научных изданиях [27; 28].

Для подготовки сметной документации при оценке экономических показателей таких работ (в том числе для нужд реконструкции объектов метрополитена) рекомендуется применять сборники федеральных единичных расценок¹⁸ на свайные работы и закрепление грунтов с поправочными коэффициентами на период составления документации.

¹⁷ Soilcrete® (Струйная цементация). Эффективный и универсальный метод укрепления грунта // Келлер Центральная Азия: [официальный сайт]. – URL: https://www.keller.com.kz/brochure/K_Brochure_Technique_Soilcrete_RU.pdf (дата обращения: 25.12.2020).

¹⁸ ФЕР 81-02-05-2001. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на строительные и специальные строительные работы. Сборник 5. Свайные работы, опускные колодцы, закрепление грунтов.

Вместе с тем, сейчас на рынке представлены организации, предлагающие осуществление струйно-цементационных работ с оптимизированной структурой затрат, что может позволить повысить экономическую эффективность решения относительно расчётных сметных показателей.

Перспективные проекты для Санкт-Петербурга. Дооборудование станций Кировско-Выборгской линии Петербургского метрополитена. Вариант для станции метро «Площадь Восстания»

Promising projects for St. Petersburg. Petersburg Kirovsko-Vyborgskaya line stations additional equipment. Option for metro station "Ploshchad Vosstaniya"

Рисунок 34. Ст. м. «Площадь Восстания». Принципиальная схема обеспечения безбарьерного доступа. Планировочное решение (разработано авторами публикации)

Figure 34. "Ploshchad Vosstaniya" metro station. Barrier-free access structural scheme. Planning solution (developed by the authors of the publication)

Как отмечалось во введении статьи, в 2019–2020 гг. в рамках первого этапа предпроектных работ по организации безбарьерного доступа к станциям Петербургского метрополитена было рассмотрено 11 станций Кировско-Выборгской линии. В ходе вариантного проектирования было предложено несколько решений для каждой из них. Часть вариантов, проработанных для станций, расположенных в плотной городской застройке исторического центра, предполагает встройку в существующие ИЗД.

Рассмотрим подробнее один из вариантов, проработанных для станции метро «Площадь Восстания». Для этого станционного комплекса было предложено устройство лифтового узла с подуличным переходом и

промежуточной подземной площадью для доступа к платформам станции через ходок, соединяющий перронный зал с наклонным ходом. Дополнительный встроенный вестибюль, оборудованный для инвалидов и иных МГН, устраивается в существующем ИЗД (Доходный дом Ф.И. Коровина, арх. А.В. Иванов, 1881 г.) по адресу Лиговский Проспект, 51 (рис. 34).

Рисунок 35. Ст. м. «Площадь Восстания». Принципиальная схема обеспечения безбарьерного доступа. Аксонометрическая схема. Наземные сооружения (разработано авторами публикации)

Figure 35. "Ploshchad Vosstaniya" metro station. Barrier-free access structural scheme. Axonometric diagram. Ground structures (developed by the authors of the publication)

При реализации традиционного для ленинградского метростроения сценария строительства подземного сооружения во дворе ИЗД (что рассмотрено выше на примерах станций «Маяковская», «Невский проспект» и «Гостиный двор») пришлось бы неизбежно столкнуться с рядом существенных сложностей. А именно: сравнительная удалённость дополнительного вестибюля (киоска) от проходной части Лиговского проспекта; изменение функционально-планировочной структуры открытого двора ИЗД (с превращением его в часть вестибюля или крытое пространство с киоском для доступа к лифтам; необходимость устройства подуличного перехода непосредственно под фундаментами расположенного по фронту улицы корпуса ИЗД, а также – ряд прочих трудностей.

После рассмотрения этого варианта было предложено встроить лестнично-лифтовой узел и дополнительный вестибюль непосредственно в объём ИЗД, с выходом на тротуар Лиговского пр. (рис. 35, 36). Данное решение в части объёмно-пространственного принципа встройки шахты является прямым аналогом рассмотренных выше примеров из Праги (рис. 37). Предложенный вариант, в рамках которого реализуема оптимальная схема организации подуличного перехода под Лиговским пр.,

обладает также таким преимуществом как возможность размещения части служебных помещений вестибюльной группы (кассы, турникеты, пост охраны правопорядка и т. д.) на подземной площади, примыкающей к переходу.

Рисунок 36. Ст. м. «Площадь Восстания». Принципиальная схема обеспечения безбарьерного доступа. Аксонометрическая схема. Подземные и наземные сооружения (разработано авторами публикации)

Figure 36. "Ploshchad Vosstaniya" metro station. Barrier-free access structural scheme. Axonometric diagram. Underground and ground structures (developed by the authors of the publication)

Реализация подуличного перехода повысит связность транспортного узла. Данное решение также учитывает перспективы развития подземного пространства пл. Восстания и Невского пр., намеченные в градостроительной документации и ряде утверждённых ранее проектов [29]. Решение позволяет организовать удобный безбарьерный доступ пассажиров на противоположную сторону Лиговского пр. Изменения существующего фасада ИЗД ограничиваются устройством входных проёмов на месте оконных (что, как правило, предусматривалось в зданиях XIX века, где первые этажи, преимущественно занимали торговые помещения). Габариты и элементы архитектурной пластики наличников сохраняются.

Для стабилизации грунтов и оснований существующего ИЗД и устройства лифтовой шахты, примыкающей к историческим фундаментам предлагается применить СЦГ (Jet Grouting).

Суммарная глубина выработки для устройства лифтовых шахт для двухступенчатого каскада лифтов составит около 56...58 м (в пределах глубины заложения станции метро «Площадь Восстания»).

Рисунок 37. Ст. м. «Площадь Восстания». Принципиальная схема обеспечения безбарьерного доступа в поперечном сечении Лиговского пр. (разработано авторами публикации)

Figure 37. "Ploshchad Vosstaniya" metro station. Barrier-free access structural scheme in the Ligovsky prospect cross-section (developed by the authors of the publication)

Заключение и выводы

Conclusion and conclusions

1. В Санкт-Петербурге на сегодняшний день в недостаточной степени развита система городского безбарьерного каркаса. Для достижения высокого качества среды и высокого уровня комфорта пассажиров в пространствах, относящихся к транспортной инфраструктуре города, в самое ближайшее время требуется обустройство безбарьерной среды по современным мировым стандартам. В том числе – с учётом новейших требований по противодействию распространению инфекционных заболеваний нового типа. Требуется интенсифицировать действующие городские программы в области обеспечения доступа к транспортным сооружениям инвалидов и иных МГН. В особенности это касается метрополитена, где решение подобных задач сопряжено со значительными сложностями, в том числе – усложнённым характером проектно-изыскательских работ и рядом технико-экономических ограничений. Безбарьерный доступ должен обязательно предусматриваться при проектировании и строительстве всех новых станций Петербургского метрополитена.

2. При создании безбарьерной среды на станциях метрополитена в историческом центре Санкт-Петербурга необходимо учитывать современные требования в области сохранения и реставрации исторических зданий и объектов культурного наследия. В особенности – при осуществлении встройки вестибюлей и иных сопутствующих помещений и

сооружений в исторические здания и объекты наследия. В практике ленинградского метростроения были опробованы все основные варианты подобной интеграции (встройка с разборкой ИЗД/ОКН и последующим воссозданием; встройка с сохранением большей части уличных фасадов ИЗД/ОКН; встройка с коренной внутренней реконструкций ИЗД/ОКН) – за исключением полного сохранения исторических зданий и объектов наследия без существенных модификаций и демонтажа значительной части подлинных конструкций. Устройство в таких узлах пассажирских лифтов было задумано, но так и не было воплощено. Отсутствие подобного опыта негативно сказывается на современной метростроительной практике. Одним из наиболее удачных примеров встройки вестибюлей в объекты культурного наследия может считаться вестибюль станции метро «Гостиный двор» (в здании Большого Гостиного двора).

3. В практике современного метростроения в Праге удалось добиться значительных успехов в области интеграции новых вестибюлей, оборудованных для доступа инвалидов и иных МГН (в том числе – без прекращения эксплуатации зданий) в исторические здания и объекты наследия. Пражский опыт (в части объёмно-пространственных решений и применения отдельных методов и технологий строительства) стоит учитывать при решении аналогичных задач в Санкт-Петербурге. Вместе с тем, следует обратить внимание на различия в геологической обстановке и иные местные особенности, которые могут оказать существенное влияние на адаптацию тех или иных решений.

4. Технологии цементационной стабилизации грунтов успешно применялись на протяжении последних 10...15 лет в гражданском строительстве, реставрации и реконструкции зданий в историческом центре Санкт-Петербурга. Необходимо перейти к более широкому применению этой группы технологий и в транспортной сфере – в том числе в области метростроения. Применение этих технологий по самым современным стандартам поможет обеспечить высокое качество решений, в том числе и при реализации безбарьерного доступа к платформам метрополитена для инвалидов и иных МГН.

5. В современной практике работы с объектами архитектурного наследия всё большую значимость приобретает искусство сохранения и реставрации подлинных конструкций. Замена аутентичных объектов на современные копии является неприемлемой. Эти особенности необходимо учитывать и в сфере транспортного строительства – в том числе, при реконструкции и расширении сети Петербургского метрополитена.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Михайлина Е.И.** Научно-методическое обеспечение формирования доступной городской среды для маломобильных групп населения / Е.И. Михайлина // Столыпинский вестник. – 2020. – № 1. – С. 185–196. – URL: <https://stolypin-vestnik.ru/wp-content/uploads/2020/05/%D0%A1%D0%A2%D0%9E%D0%9B%D0%AB%D0%9F%D0%98%D0%9D%D0%A1%D0%9A%D0%98%D0%99-%D0%92%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%9D%D0%98%D0%9A-1.2020.pdf> (дата обращения: 05.12.2020).
2. **Abramova S.B.** A barrier-free urban space as an indicator of exercising the right to the city by individuals with disabilities / S.B. Abramova, N.L. Antonova, A.D. Gurarii. – DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/3/032072> // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) 6–12 September 2020 / Сочи: IOP Publishing Ltd, 2020. – С. 32072. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/3/032072> (дата обращения: 14.11.2020).
3. **Митрофанов А.А.** Проблемы передвижения людей с ограниченными возможностями, передвигающихся на креслах-колясках / А.А. Митрофанов, М.И. Митрофанова, М.Л. Макаревич // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2018. – № 2. – С. 81–86. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32660070> (дата обращения: 01.12.2020).
4. **Маликова О.А.** Адаптация маломобильного населения в условиях современной безбарьерной среды / О.А. Маликова, Е.Б. Рябкова // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ / Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – С. 167–170. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25812087> (дата обращения: 14.11.2020).
5. **Чеканова Е.С.** Безбарьерная среда в предметном дизайне / Е.С. Чеканова // Бизнес и дизайн ревю. – 2017. – № 4. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30574878> (дата обращения: 05.12.2020).
6. **Смолина О.О.** Анализ отечественной и зарубежной нормативно-законодательной документации формирования безбарьерной среды жизнедеятельности для маломобильных групп населения с позиции доступности на трёх уровнях пространства / О.О. Смолина, О.В. Гусева // Экономика строительства и природопользования. – 2018. – № 4. – С. 79–86. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37165503> (дата обращения: 28.11.2020).
7. Метрополитен Санкт-Петербурга: от идеи до пуска // Метро и тоннели. – 2020. – № 4. – С. 2–3. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44324232> (дата обращения: 28.11.2020).
8. **Амосов М.И.** Развитие сети Санкт-Петербургского метрополитена за 60 лет и перспективы её дальнейшего роста / М.И. Амосов, С.С. Сафина // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2015. – № 3. – С. 11–19. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25306377> (дата обращения: 29.11.2020).
9. Рыцарь «Ленметрогипротранса» архитектор А.С. Гецкин // Вестник. Зодчий. 21 век. – 2017. – № 1. – С. 84–91. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29232303> (дата обращения: 29.11.2020).

10. **Кириков Б.М.** Невский проспект. Дом за домом. / Б.М. Кириков, Л.А. Кирикова, О.В. Петрова. – СПб.: Центрполиграф, 2013. – 416 с.
11. **Котельникова И.Г.** Панорама Невского проспекта. Воспроизведение литографий В.С. Садовникова / И.Г. Котельникова, Ю.М. Денисов. – Л.: Аврора, 1974. – 240 с.
12. **Vozarik P.** Prague subway – Refurbishment and maintenance of older lines / P. Vozarik, J. Šubert. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.12.041> // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2006. – Т21, № 3–4. – С. 327. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088677980500221X> (дата обращения: 17.12.2020).
13. **Буриан П.** Bezbariérové zpřístupnění stanice metra i. P. Pavlova v Praze [Безбарьерный доступ на станцию метро И. П. Павлова в Праге] / П. Буриан // Tunely a podzemné stavby [Туннели и подземное строительство. Материалы конференции], 11–13.11.2015 / Жилина: 2015. – С. 16. – URL: http://www.sta-ita-aite.sk/files/tps-2015/prispevky/Sekcia1/05_Burian_IP_Pavlova.pdf (дата обращения: 30.11.2020). – (На чеш. яз.).
14. **Буриан П.** Bezbariérové zpřístupnění stanice metra I.P. Pavlova [Безбарьерный доступ на станцию метро И.П. Павлова в Праге] / П. Буриан // Metroprojekt informue [Метропроект информирует]. – 2015. – Т 8, № 1. – С. 4–7. – URL: <https://www.metroprojekt.cz/public/files/documents/mpi-01-2015-pro-web.pdf> (дата обращения: 30.11.2020). – (На чеш. яз.).
15. **Кочанек М.** Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí [Безбарьерный доступ на станцию метро Карлово намести] / М. Кочанек // Metroprojekt informue [Метропроект информирует]. – 2015. – Т 8, № 4. – С. 5–7. – URL: <https://www.metroprojekt.cz/public/files/documents/mpi-01-2015-pro-web.pdf> (дата обращения: 30.11.2020). – (На чеш. яз.).
16. **Manne A.** Application of Jet Grouting for Geotechnical Challenges / A. Manne, P.V.S.R. Prasad, M.K. Annam. – DOI https://doi.org/10.1007/978-981-15-6090-3_41 // Construction in Geotechnical Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 84 / Под ред. Latha Gali M., Raghuvier Rao P. Сингапур: Springer, 2020. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-6090-3_41 (дата обращения: 30.11.2020). –
17. **Харченко И.Я.** Современные технологии цементационного закрепления грунтов / И.Я. Харченко, В.А. Алексеев, К.А. Исрафилов, А.С.-Э. Бетербиев. – DOI <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.5.552-558> // Вестник МГСУ. – 2017. – Т 12, № 5. – С. 552–558. – URL: <http://vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/article.display/2017/5/552-558> (дата обращения: 19.12.2020).
18. **Богов С.Г.** Адаптация струйной технологии для целей освоения подземного пространства в исторической части Санкт-Петербурга в условиях слабых грунтов / С.Г. Богов // Жилищное строительство. – 2014. – № 3. – С. 25–29. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21274691> (дата обращения: 30.11.2020).

19. **Ulitsky V.** Restoration engineering of historic structures: Case study of building 12 on new Holland Island in Saint-Petersburg / V. Ulitsky, S. Bogov. – DOI <https://doi.org/10.1201/9780429058882> // Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations / Под ред. Mangushev R., Zhussupbekov A., Iwasaki Y., Sakharov I. Лондон: Taylor & Francis Group, 2019. – С. 390–395. – URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/restoration-engineering-historic-structures-case-study-building-12-new-holland-island-saint-petersburg-ulitsky-bogov/e/10.1201/9780429058882-75> (дата обращения: 30.11.2020).
20. **Черняков А.В.** Применение струйной цементации грунтов в условиях исторической застройки / А.В. Черняков // Жилищное строительство. – 2011. – № 9. – С. 24–26. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17045817> (дата обращения: 01.12.2020).
21. **Осокин А.И.** Технологическое обеспечение подземного строительства в условиях городской застройки / А.И. Осокин, О.О. Денисова, Т.Н. Шахтарина // Жилищное строительство. – 2014. – № 3. – С. 16–24. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21274690> (дата обращения: 01.12.2020).
22. **Богов С.Г.** Формирование заглубленных объёмов в бесподвальных исторических зданиях в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга / С.Г. Богов // Жилищное строительство. – 2016. – № 9. – С. 45–49. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27020545> (дата обращения: 01.12.2020).
23. **Богов С.Г.** Проблемы формирования закрепленного массива грунта по струйной технологии для целей реконструкции и нового строительства / С.Г. Богов. – DOI <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.4.03> // Вестник ПНИПУ. – 2017. – Т 8, № 4. – С. 25–34. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32248099> (дата обращения: 02.12.2020).
24. **Toraldo C.** The characteristic strength of jet-grouted material / C. Toraldo, G. Modoni, M. Ochmański, P. Croce. – DOI <https://doi.org/10.1680/jgeot.16.P.320> // Géotechnique. – 2018. – Т 68, № 3. – С. 262–279. – URL: <https://www.icvirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/jgeot.16.P.320> (дата обращения: 02.12.2020).
25. **Маковецкий О.А.** Усиление фундаментов строящегося здания методом струйной цементации грунтов / О.А. Маковецкий, С.С. Рубцова // Подземные горизонты. – 2020. – № 25. – С. 38–41.
26. **Малинин А.Г.** Струйная цементация грунтов / А.Г. Малинин. – М.: Стройиздат, 2010. – 226 с. – URL: https://jet-grouting.info/wp-content/uploads/2019/02/JET-GROUTING_book_Malinin_AG.pdf (дата обращения: 02.12.2020).
27. **Makowski A.** Application of Jet Grouting technology for the renovation of historic buildings / A. Makowski, B. Polańska. – DOI <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012201> // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1425, Modelling and Methods of Structural Analysis 13–15 November 2019 / М.: IOP Publishing Ltd, 2019. – С. 12201. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1425/1/012201> (дата обращения: 30.11.2020).

28. **Njock P.G.A.** A review of jet grouting practice and development / P.G.A. Njock, J. Chen, G. Modoni, A. Arulrajah. – DOI <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3809-7> // Arabian Journal of Geosciences. – 2018. – Т 11, № 16. – С. 459. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-018-3809-7> (дата обращения: 02.12.2020).
29. **Ушакова А.И.** Подземное пешеходное пространство Невского проспекта и площади Восстания / А.И. Ушакова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 1–1. – С. 79–88. – URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39797> (дата обращения: 01.12.2020).

Сведения об авторах:

Стругач Александр Геннадьевич – генеральный директор, ООО «САБ», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: r-9@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4800-8066>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1010107

Facebook: <https://www.facebook.com/alexander.strugach>

Трифонов Андрей Геннадьевич – главный архитектор, ООО «САБ», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: triffon@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0061-3750>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1010127

Статья получена: 29.12.2020. Принята к публикации: 18.02.2021. Опубликовано онлайн: 04.03.2021.

REFERENCES

1. Mikhailina E.I. Scientific and methodological support for the formation of an accessible urban environment for low-mobility groups of the population. *Stolypin Vestnik*. 2020;(1): 185–196. Available at: <https://stolypin-vestnik.ru/wp-content/uploads/2020/05/%D0%A1%D0%A2%D0%9E%D0%9B%D0%AB%D0%9F%D0%98%D0%9D%D0%A1%D0%9A%D0%98%D0%99-%D0%92%D0%95%D0%A1%D0%A2%D0%9D%D0%98%D0%9A-1.2020.pdf> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Abramova S.B., Antonova N.L., Gurarii A.D. A barrier-free urban space as an indicator of exercising the right to the city by individuals with disabilities. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) 6–12 September 2020*. Sochi: IOP Publishing Ltd; 2020. p. 32072. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/3/032072> (accessed 14th November 2020). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/3/032072>.
3. Mitrofanov A.A., Mitrofanova M.I., Makarevich M.L. The problem of movement for disabled people moving on wheelchairs. *Innovative economy: prospects for development and improvement*. 2018; (2): 81–86. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32660070> (accessed 1st December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).

4. Malikova O.A., Ryabkova E.B. Adaptation of the population with limited mobility in a modern barrier-free environment. In: *[New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU]*. Khabarovsk: Publishers PNU; 2016. p. 167–170. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25812087> (accessed 14th November 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
5. Chekanova E.S. Barrier-free environment in object design. *Business and design review*. 2017; (4). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30574878> (accessed 5th December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Smolina O.O., Gusseva O.V. Analysis of domestic and foreign legislative and regulatory documentation on the possibility of implementing a barrier-free environment for people with limited mobility from the standpoint of availability at 3-level spaces. *Construction economic and environmental management*. 2018; (4): 79–86. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37165503> (accessed 28th November 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
7. [St. Petersburg metro: from idea to launch]. *Metro and tunnels*. 2020; (4): 2–3. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44324232> (accessed 28th November 2020). (In Russ.).
8. Amosov M.I., Safina S.S. Development of St. Petersburg underground during 60 years and its future perspectives. *Teoriya i praktika servisa: ehkonomika, sotsial'naya sfera, tekhnologii*. 2015; (3): 11–19. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25306377> (accessed 29th November 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
9. [Knight "Lenmetrogiprotrans" architect A. Getskin]. *Bulletin. Architect. 21 century*. 2017; (1): 84–91. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29232303> (accessed 29th November 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
10. Kirikov B.M., Kirikova L.A., Petrova O.V. [Nevsky Prospect. House by house.]. St. Petersburg: Tsentrpoligraf; 2013. (In Russ.).
11. Kotelnikova I.G., Denisov Yu.M. Panorama of Nevsky Prospect. Reproduction of lithographs by V.S. Sadovnikova. Leningrad: Avrora; 1974. (In Russ.).
12. Vozarik P., Šubert J. Prague subway – Refurbishment and maintenance of older lines. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2006; 21(3–4): 327. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2005.12.041>.
13. Burian P. Bezbariérové zpřístupnění stanice metra i. P. Pavlova v Praze [Barrier-free access to I.P. Pavlova metro station in Prague]. In: *Tunely a podzemné stavby [Tunnels and underground construction. Conference papers], 11–13.11.2015*. Zhilina: 2015. p. 16. Available at: http://www.sta-ita-aites.sk/files/tps-2015/prispevky/Sekcia1/05_Burian_IP_Pavlova.pdf (accessed 30th November 2020). (In Czech).
14. Burian P. Bezbariérové zpřístupnění stanice metra I.P. Pavlova [Barrier-free access to I.P. Pavlova metro station I.P. Pavlova in Prague]. *Metroprojekt informue [Metroprojekt brings you information]*. 2015; 8(1): 4–7. Available at: <https://www.metroprojekt.cz/public/files/documents/mpi-01-2015-pro-web.pdf> (accessed 30th November 2020). (In Czech).
15. Kochánek M. Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Karlovo náměstí [Barrier-free access to Karlovo Namesti metro station]. *Metroprojekt informue [Metroprojekt brings you information]*. 2015; 8(4): 5–7. Available at:

- <https://www.metroprojekt.cz/public/files/documents/mpi-01-2015-pro-web.pdf> (accessed 30th November 2020). (In Czech).
16. Manne A., Prasad P.V.S.R., Annam M.K. Application of Jet Grouting for Geotechnical Challenges. In: Latha Gali M., Raghuveer Rao P. (eds). *Construction in Geotechnical Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 84. Singapore: Springer; 2020. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-6090-3_41 (accessed 30th November 2020). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-6090-3_41.
 17. Kharchenko I.Ya., Alekseev V.A., Israfilov K.A., Beterbiev A.S.-E. Modern technologies of cement grouting. *Vestnik MGSU*. 2017; 12(5): 552–558. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.5.552-558>.
 18. Bogov S.G. Adaptation of jetting technology for development of underground space in the historical part of Saint-Petersburg under conditions of weak soils. *Housing Construction*. 2014; (3): 25–29. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21274691> (accessed 30th November 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
 19. Ulitsky V., Bogov S. Restoration engineering of historic structures: Case study of building 12 on new Holland Island in Saint-Petersburg. In: Mangushev R., Zhussupbekov A., Iwasaki Y., Sakharov I. (eds). *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*. London: Taylor & Francis Group; 2019. p. 390–395. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/restoration-engineering-historic-structures-case-study-building-12-new-holland-island-saint-petersburg-ulitsky-bogov/e/10.1201/9780429058882-75> (accessed 30th November 2020). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429058882>.
 20. Chernyakov A.V. [Application of jet grouting of soils in the conditions of historical buildings]. *Housing Construction*. 2011; (9): 24–26. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17045817> (accessed 1st December 2020). (In Russ.).
 21. Osokin A.I., Denisova O.O., Shakhtarina T.N. Technology support of underground construction under conditions of urban development. *Housing Construction*. 2014; (3): 16–24. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21274690> (accessed 1st December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
 22. Bogov S.G. Formation of Subsurface Volumes in Cellarless Historical Buildings Under Conditions of Weak Soils of Saint Petersburg. *Housing Construction*. 2016; (9): 45–49. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27020545> (accessed 1st December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).
 23. Bogov S.G. Formation problems of grouting soil using jet technology for reconstruction and construction. *Bulletin of PNRPU*. 2017; 8(4): 25–34. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.4.03>.
 24. Toraldo C., Modoni G., Ochmański M., Croce P. The characteristic strength of jet-grouted material. *Géotechnique*. 2018; 68(3): 262–279. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1680/jgeot.16.P.320>.
 25. Makovetskiy O.A., Rubtsova S.S. [Strengthening the foundations of a building under construction by the method of jet grouting of soils]. *Underground horizons*. 2020; (25): 38–41. (In Russ.).

26. Malinin A.G. [Jet grouting of soils]. Moscow: Stroyizdat; 2010. Available at: https://jet-grouting.info/wp-content/uploads/2019/02/JET-GROUTING_book_Malinin_AG.pdf (accessed 2nd December 2020). (In Russ.).
27. Makowski A., Polańska B. Application of Jet Grouting technology for the renovation of historic buildings. In: *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1425. Modelling and Methods of Structural Analysis 13–15 November 2019*. Moscow: IOP Publishing Ltd; 2019. p. 12201. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1425/1/012201> (accessed 30th November 2020). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012201>.
28. Njock P.G.A., Chen J., Modoni G., Arulrajah A. A review of jet grouting practice and development. *Arabian Journal of Geosciences*. 2018; 11(16): 459. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3809-7>.
29. Ushakova A.I. Underground public space of Nevsky prospekt and Vosstaniya square. *Fundamental research*. 2016; (1–1): 79–88. Available at: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39797> (accessed 1st December 2020). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:

Alexander G. Strugach – SAB, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: r-9@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4800-8066>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1010107

Facebook: <https://www.facebook.com/alexander.strugach>

Andrey G. Trifonov – SAB, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: triffon@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0061-3750>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1010127

Submitted: 29th December 2020. Revised: 18th February 2020. Published online: 4th March 2021.