

Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I



ИНФРАСТРУКТУРА ТРАНСПОРТА

№2(4) - 2022



УЧРЕДИТЕЛЬ:

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Состав редколлегии

Главный редактор

Шварцфельд Вячеслав Семёнович, д-р техн. наук, проф.

Заместитель главного редактора

Бельтюков Владимир Петрович, д-р техн. наук, доц.

Ответственный секретарь

Булкаева Ольга Сергеевна, канд. техн. наук

Члены редакционной коллегии

Анисимов Владимир Александрович, д-р техн. наук, доц., г. ПГУПС, Санкт-Петербург

Афонин Дмитрий Андреевич, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Блажко Людмила Сергеевна, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Бушуев Николай Сергеевич, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Брынь Михаил Ярославович, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Быков Юрий Александрович, д-р техн. наук, проф., РУТ (МИИТ), г. Москва

Видюшенков Сергей Александрович, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Дудкин Евгений Павлович, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Киселев Игорь Павлович, д-р ист. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Коланьков Сергей Вячеславович, д-р экон. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Колос Алексей Федорович, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Ледяев Александр Павлович, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Подвербный Вячеслав Анатольевич, д-р техн. наук, доц., ИрГУПС, г. Иркутск

Романов Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Смирнов Владимир Игоревич, д-р техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Смирнов Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Уздин Александр Моисеевич, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Фролов Юрий Степанович, д-р техн. наук, проф., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Чижев Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Шкурников Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доц., ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Редактор перевода текста на английский язык

Булакаева Ольга Сергеевна, канд. техн. наук

Дизайн обложки: В.С. Шварцфельд

Сайт журнала: www.inftrans.ru

Адрес редакции:

190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр. 9, кафедра «Изыскания и проектирование железных дорог», ауд. 1-407

Телефон: +7 (812) 570-7688

e-mail: kaf.iip@mail.ru

FOUNDER

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

EDITORIAN BOARD

Editor-in-Chief

V.S. Shvartfeld, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Deputy Editor

V.P. Beltukov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

Coordinating Editor

O.S. Bulakaeva, Candidate of Engineering Sciences

Editors

V.A. Anisimov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg – the chairman

D.A. Afonin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

L.S. Blazhko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

N.S. Bushuev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

M.J. Bryn, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

J.A. Bykov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Russian University of Transport (MIIT), Moscow

S.A. Vidyushenkov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

E.P. Dudkin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

I.P. Kiselev, Doctor of Historical Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

S.V. Kolankov, Doctor of Economics, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

A.F. Kolos, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

A.P. Ledyayev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

V.A. Podverbny, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Irkutsk State Transport University, Irkutsk

A.V. Romanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

V.I. Smirnov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

V.N. Smirnov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

A.M. Uzdin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

J.S. Frolov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

S.V. Chizhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

S.V. Shkurnikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg

English Text Reviewer: O.S. Bulakaeva

Cover Designer: V.S. Shvartfeld

Web: <https://www.infrans>

Main contact details: 190031, Russia, St. Petersburg, Moskovsky ave. 9, Department of "Research and Design of Railways", room 1-407, Phone: +7 (812) 570-7688, e-mail: kaf.iip@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Артемьев М.П.	Отечественный опыт проектирования мостовых сооружений на высокоскоростных железнодорожных магистралях	5
Артемьев М.П.	Зарубежный опыт проектирования вантовых мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях	13
Коланьков С.В.	Учет предпринимательской прибыли при оценке рыночной стоимости недвижимости	21
Сокорнов А.А., Давиденко Е.М.	Определение добавочного давления от свайного фундамента на тоннель методом конечных элементов	35

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Андреев А.В.	Определение возвышения наружного рельса. Сравнение существующих методик	43
Бекиш А.А.	Расчетная оценка напряженно-деформационного состояния железобетонных шпал	50

ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Шварцфельд В.С.	Новый учебник «Изыскания и проектирование железных дорог»	58
Скутин А.И., Скутин Д.А., Мыльникова М.А.	Влияние типов продольных профилей на продольные силы в поезде	63
Кавказский В.Н., Моисеев Е.К., Тимофеев Н.С., Шапин В.В., Оленич Д.М.	Физическое моделирование проходки тоннеля под перроном аэропорта «Пулково» методом эквивалентных материалов	68
Оленич Д.М.	Исследование конструкции пилонной станции из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях г. Санкт-Петербург	79

CONTENTS

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

M.P. Artemyev	Domestic experience in the design of bridge structures on high-speed railway lines	5
M.P. Artemyev	Foreign experience in designing cable-stayed bridges on high-speed railways	13
S.V. Kolankov	Accounting for business profits when assessing the market value of real estate	21
A.A. Sokornov, E.M. Davidenko	The additional pressure determination on the tunnel from the pile foundation by the finite element method	35

RAILWAY TRACK

A.V. Andreev	Determination of railway curve superelevation. Comparison of existing methods	43
A.A. Bekish	Calculating assessing state of stress-strain the reinforced concrete sleepers	50

SURVEY, DESIGN AND CONSTRUCTION OF TRANSPORT FACILITIES

V.S. Shvartsfeld	The new textbook «Research and design of railways»	58
A. Skutin, D. Skutin, M. Mylnikova	The influence of the types of longitudinal profiles on the longitudinal forces in the train	63
V.N. Kavkazskiy, E.K. Moiseev, N.S. Timofeev, V.V. Shapin, D.M. Olenich	Physical modeling of tunneling under the apron of Pulkovo airport by a meter of equivalent materials	68
D.M. Olenich	A study of a pylon station construction from monolithic reinforced concrete in the engineering and geological conditions of St. Petersburg	79

УДК 624.53

Артемьев М.П.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ СО- ОРУЖЕНИЙ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

В данной статье рассматривается имеющийся на сегодняшний день опыт проектирования мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях на территории России. В работе приводятся примеры отечественных исследований, проведённых за последние несколько лет.

Ключевые слова: мост, ВСМ, пролетные строения, взаимодействие поезда с мостом, динамический коэффициент, вантовые мосты, резонанс.

M.P. Artemyev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

DOMESTIC EXPERIENCE IN THE DESIGN OF BRIDGE STRUCTURES ON HIGH-SPEED RAILWAY LINES

This article discusses the current experience in the design of bridges for high-speed railways in Russia. The paper provides examples of domestic research conducted in recent years.

Keywords: bridge, HSR, span structures, train-bridge interaction, dynamic coefficient, cable-stayed bridges, resonance.

Введение

Высокоскоростные железнодорожные магистрали (далее, ВСМ) должны в будущем стать неотъемлемой частью транспортной системы России. В настоящий момент в стране создаётся нормативная и теоретическая база для строительства и дальнейшего введения в эксплуатацию подобных линий.

Однако, помимо пересмотра общих моментов, таких как сам подвижной состав или верхнее строение пути, необходимо провести исследования и в области искусственных сооружений.

Работа конструкции моста в условиях ВСМ может несколько отличаться от обычных условий. Некоторые вопросы, возникающие в процессе решения данной задачи, уже были рассмотрены отечественными исследователями. Было по-

ложено начало формированию нормативной базы для проектирования искусственных сооружений на отечественных высокоскоростных линиях с использованием зарубежного опыта.

Проблемы и вопросы, рассмотренные при проектировании мостовых сооружений на отечественных ВСМ

Инновации при проектировании высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва - Казань (ВСМ-2). В статье В.П. Левшунова и С.В. Бушуева «Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань (ВСМ-2): инновации в проектировании и строительстве» [1] приводятся основные конструктивные решения безбалластного мостового полотна и сборных пролётных строений балочного типа. В целях минимизации динамических нагрузок на земляное полотно от подвижного состава, был применен инновационный вариант безбалластного пути. Рисунок 1 содержит изображение элементов этой системы.

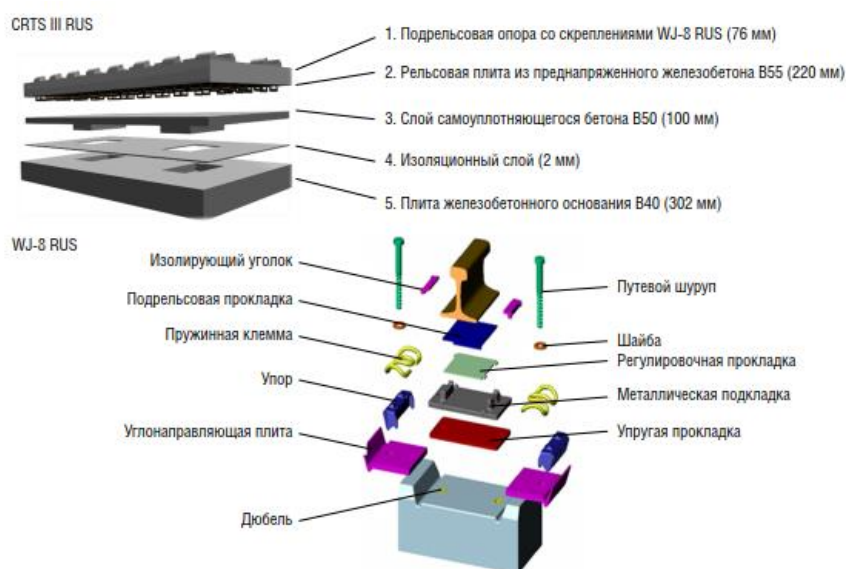


Рис.1 Элементы конструкции безбалластного верхнего строения пути на ВСМ -2

Помимо прочего, данный объект использует инновационные методы возведения искусственных сооружений. Для сокращения сроков строительства было предложено унифицировать искусственные сооружения, использовать сборные пролетные строения, а также применить зарубежный опыт строительства путем включения так называемой «итальянской балки» (сборно-монолитной конструкции). Общий вид сборного пролетного строения представлен на рисунке 2.

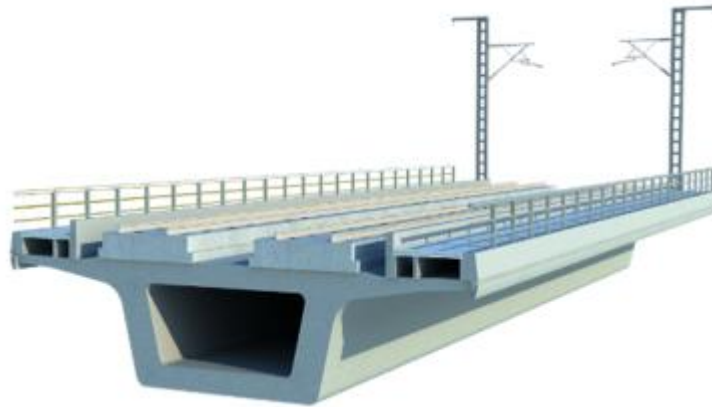


Рис.2. Общий вид пролетного строения на ВСМ-2

Сооружение эстакад на ВСМ балочно-неразрезной системы. Более подробно процесс возведения типового пролетного строения балочно-неразрезной системы на ВСМ методом ЦПН (циклической продольной надвигки) был рассмотрен в работе Смирнова В.Н. «Сооружение пролетных строений эстакад высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) балочно-неразрезной системы» [2]. На рисунке 3 представлена принципиальная схема сооружения пролетного строения методом ЦПН.

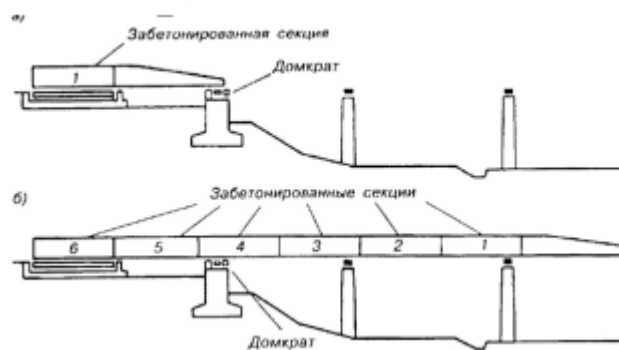


Рис.3 Схема сооружения пролетного строения методом ЦПН

В статье также уделяется внимание сравнению разрезных и неразрезных пролётных строений с точки зрения их динамической работы на ВСМ. Отмечается, что неразрезные пролётные строения демонстрируют более благоприятную динамическую работу в связи с их большей жесткостью. На рисунке 4 представлен график, показывающий зависимость динамической работы пролетного строения от жесткости поперечного сечения.

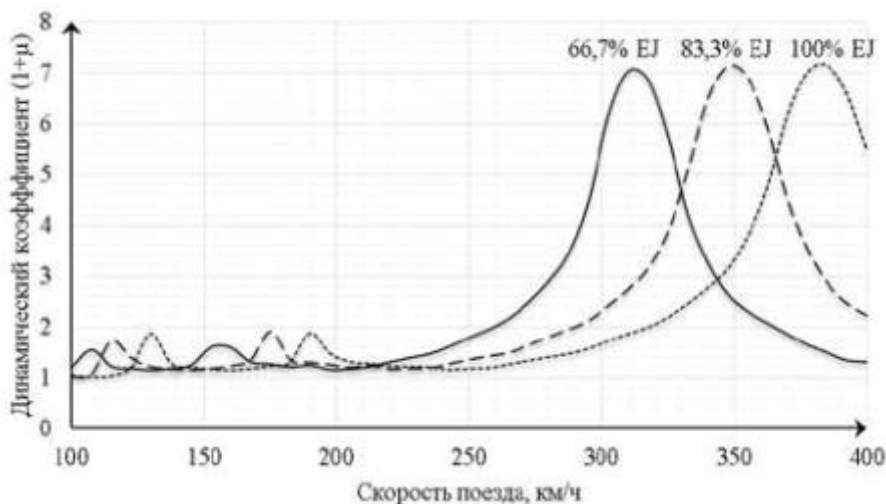


Рис.4 Влияние жесткости EI на динамическую работу пролетного строения

К вопросу об определении динамического коэффициента при высоких скоростях движения.

Данный вопрос поднимается в исследованиях Дьяченко Л.К. [3]. В статье описывается подход к определению динамического коэффициента $1+\mu$, используемый в отечественных нормах при расчетах искусственных сооружений на действие временной подвижной нагрузки. Автор предлагает методику определения динамического коэффициента, которая призвана как сократить трудоемкость его расчетов, так и повысить точность его определения для скоростей движения более 200 км/ч. Рисунок 5 демонстрирует график, отображающий влияние параметров пролетного строения и расчетного поезда на динамический коэффициент.

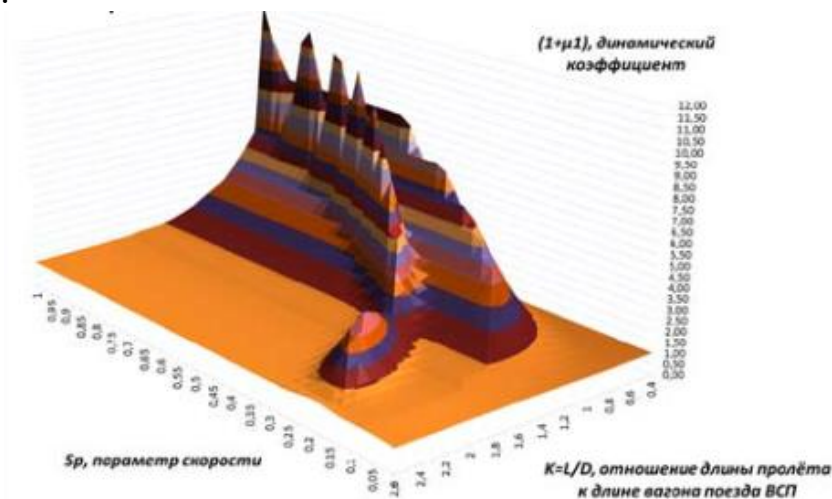


Рис.5 График влияния параметров пролетного строения и расчетного поезда на динамический коэффициент

В статье рассматриваются динамические модели «мост-поезд», используемые при численном моделировании, в зависимости от поставленной перед инженером задачи:

- I. Тип «подвижные силы на балке»
- II. Тип «подвижные массы на балке».

Первый тип моделирования позволяет выполнить комплексный анализ динамического поведения пролетного строения, включая учет «кинематического возбуждения», определение критических скоростей, а также расчет пиковых значений деформаций и ускорений.

Второй тип моделирования является эффективным инструментом для оценки влияния различных факторов на динамическое взаимодействие ходовых частей подвижного состава, а также для обеспечения комфорта пассажиров.

Оптимизация пролетных строений для ВСМ Москва-Казань.

Поляковым В.Ю. и Кульгиным К.А. проводились исследования по оптимизации пролетных строений для ВСМ Москва–Казань на основе управляемых динамических процессов в системе «мост – путь – экипаж»[4], в результате которых удалось снизить общую массу пролетных строений примерно на 15%.

В статье приводятся различные сравнительные показатели массы до и после оптимизации, а также зависимости между начальной жесткостью балочного пролетного строения и возникающими моментами. Были выбраны четыре критерия качества, по которым можно произвести оптимизацию:

- Минимизация динамического изгибающего момента
- Минимизация массы пролетного строения
- Минимизация жесткости: уменьшение жесткости пролетного строения, достигаемое минимизацией высоты сечения, может привести к снижению динамических нагрузок
- Минимизация поперечной силы: снижение поперечной силы приводит к уменьшению опорных реакций.

Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ.

Переходной участок в зоне сопряжения моста с земляным полотном – это “узкое место” ВСМ, где требуется применение специальных решений для обеспечения безопасности и комфорта движения поездов. Возможные пути решения данной проблемы рассматриваются в одной из статей Полякова В.Ю. [5].

В статье подробно анализируются проблемы долговечности и обеспечения стабильности профиля мостового полотна, а также подходов к нему при эксплуатации высокоскоростных магистралей (ВСМ) с расчетной скоростью движения до 400 км/ч. Отмечается, что осадки пути на подходах приводят к образованию значительных геометрических неровностей, в том числе и скрытых. На рисунке 6 представлена графическая интерпретация информации о глубинах скрытых неровностей, имеющих на мосту.

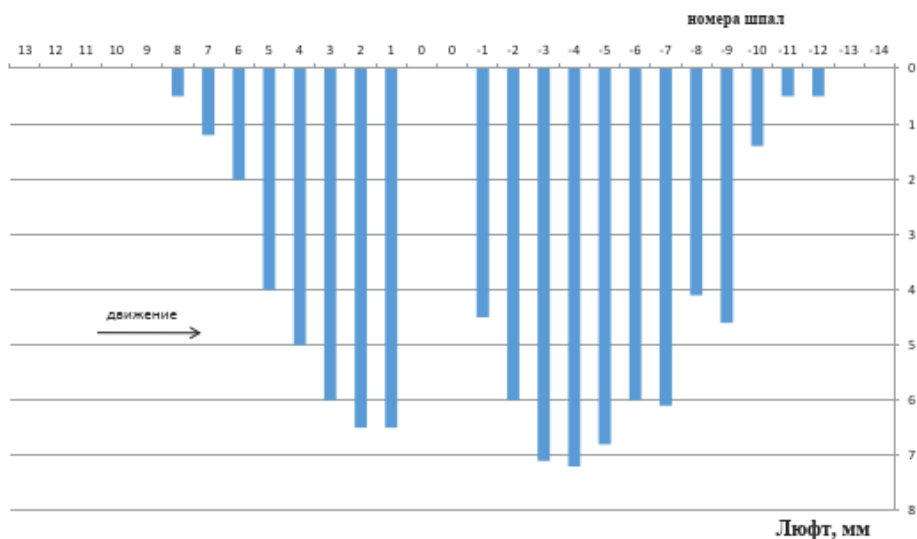


Рис.6 Глубина скрытых неровностей в зоне моста

Неровности пути значительно сказываются на колебаниях мостового сооружения при прохождении поездом данной зоны. По этой причине отмечается, что при решении вопросов оптимизации необходимо рассматривать не только само пролетное строение, но и часть переходного участка, в котором могут содержаться различные осадки и неровности, не говоря уже о значительном отличие в жесткостях пути в переходной зоне и на самом мосту.

Ударное взаимодействие колеса и рельса на мостах ВСМ.

Отдельные исследования посвящались и ударному взаимодействию между колесом подвижного состава и рельсом, проводимые Поляковым В.Ю. в соавторстве с Тханем Д.Н. [6].

Авторы отмечают важность учета расчетными моделями адекватного взаимодействия между колесом и рельсом, позволяющего учитывать такое воздействие, как удар. Очевидно, что подобные модели должны включать и сам рельс, без которого подобные исследования попросту невозможны.

Ударное воздействие является следствием колебаний подвижного состава относительно пролетного строения и самого рельса. Значительные колебания могут происходить при возникновении резонанса, который должен быть исключен при высокоскоростном движении. На примере подвижных составов и пролетных строений, использованных на ВСМ-2, авторы привели таблицу [6], в которой отражена зависимость между длинами пролетов, частотами собственных колебаний пролетных строений и критическими скоростями, приводящими к возникновению резонанса.

Требования специальных технических условий «Сооружения искусственные участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург» к первым собственным частотам f_1 и критические скорости V_{cr} , соответствующие этим частотам [6]

L , м	f_{1min} , Гц	f_{1max} , Гц	$V_{cr,min}$, км/ч	$V_{cr,max}$, км/ч
23.6	3.73	9.23	333	824
34.2	2.97	6.91	265	617
50	2.35	5.16	210	461

Безопасность движения на ВСМ.

Ряд исследований был сфокусирован на изучении влияния динамических характеристик мостового полотна на безопасность движения поездов на высокоскоростных магистралях (ВСМ) [7], как, например, в работе Полякова В.Ю. в соавторстве с Тханем Д.Н.

Авторы статьи ссылаются на опыт стран, где высокоскоростное движение поездов применяется уже давно и имеет широкое распространение. В качестве примера приводится Европа, где установлены ограничения на максимальные вертикальные пиковые ускорения пролетного строения моста, действующие на уровне верхнего строения пути. В Китае применяется специальный коэффициент схода с рельсов Q/P , который представляет собой отношение боковой направляющей силы (Q) к вертикальному усилию между колесами и рельсом (P). Допустимое значение коэффициента Q/P в Китае составляет менее 0,8. В Японии, помимо коэффициента Q/P , учитывается и время действия неблагоприятного сочетания факторов, способных привести к сходу поезда с рельсов.

Авторы статьи исследуют условия, при которых колесо поезда может сойти с рельсов при движении по мосту. Было получено, что для обеспечения безопасности движения на мостах необходимо, чтобы вертикальная сила взаимодействия колеса и рельса была не менее 23.814 кН (условие устойчивости при любом сколь угодно малом времени действия). В статье [7] говорится, что отрыв колеса от рельса не всегда приводит к сходу поезда, но такая ситуация нежелательна, так как при повторном контакте колеса с рельсом возможен удар. Для описания взаимодействия колеса и рельса используется теория Герца, которая представляет контакт в виде упругого элемента с конечной жесткостью.

Заключение

На основании вышеприведённых отечественных исследований, выполненных за последние несколько лет, можно сделать некоторые выводы о состоянии изученности вопроса, касающегося мостовых сооружений на ВСМ:

1. Отечественные исследователи понимают важность вопроса, касающегося ВСМ и их роли в дальнейшем развитии страны. К сожалению, многие исследо-

вания все ещё затрагивают только более общие проблемы или рассматривают конструкции по типу мостов с разрезными или неразрезными балками, нормы проектирования для которых были заложены ещё в научной литературе 80-х и 90-х годов [8].

2. В современных источниках не найдено данных о работе более сложных конструкций, по типу вантовых мостов, в условиях высокоскоростного движения.

3. Благодаря исследованиям отечественных ученых и инженеров, в России начинает появляться нормативная база для проектировщиков и строителей ВСМ. Примером подобной документации может служить СП 453.1325800.2019 [10]. Стоит отметить, что даже вышеуказанное СП имеет в себе много отсылок к СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы...» [9] и во многом берет его за основу. В данном СП, однако, отсутствуют нормы по проектированию вантовых мостов в условиях высокоскоростного движения.

Для дальнейшего развития нормативной базы при проектировании искусственных сооружений на ВСМ отечественным ученым необходимо будет решить ряд следующих вопросов:

1. Определение отечественных расчетных схем подвижной нагрузки и характеристик подвижного состава на ВСМ, необходимых для проведения расчетов. В силу отсутствия подобных составов в стране, в СП [10] приводятся типовые схемы нагрузки зарубежных нормативных документов.

2. Дальнейшее изучение динамических и аэродинамических воздействий на искусственное сооружение в условиях ВСМ, уточнение расчетных схем конструкций и учитываемых нагрузок, а также исследование работы арочных и вантовых мостов с большими пролётами в условиях высокоскоростного движения поездов.

Список литературы

1. Левшунов В.П., Бушуев С.В. «Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань (ВСМ-2): инновации в проектировании и строительстве», Инновационный транспорт, 2018, №4 (30), с. 9-18;

2. Смирнов В.Н. «Сооружение пролетных строений эстакад высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) балочно-неразрезной системы», Путевой навигатор, 2021, №48 (74), с. 22-27;

3. Дьяченко Л.К. «К вопросу об определении динамического коэффициента к временной нагрузке при расчете мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях», Путевой навигатор, 2017, №32 (58), с. 60-65;

4. Поляков В.Ю., Кульгин К.А. «Оптимизация пролетных строений для ВСМ Москва - Казань на основе управляемых динамических процессов в системе «мост-путь-экипаж»», Сборник трудов международной научно-практической конференции, под общей редакцией Б.А. Левина, 2016, с. 55-58;

5. Поляков В.Ю. «Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ», Мир транспорта, 2017, №5 (72), с. 54-67;

6. Поляков В.Ю., Тхань Д.Н. «Ударное взаимодействие колеса и рельса на мостах высокоскоростных магистралей», Транспортные сооружения, 2019, №1, с. 28-30;

7. Поляков В.Ю., Тхань Д.Н. «Безопасность движения и динамические свойства мостового полотна на ВСМ», Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, 2018, №6, с. 357-363;

8. Н. Г. Бондарь, Ю. Г. Козьмин «Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом», под ред. Н. Г. Бондаря. – М. : Транспорт, 1984. – 272 с;

9. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84»;

10. СП 453.1325800.2019 «Сооружения искусственные высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства»

Контактная информация

Артемьев Максим Павлович – аспирант; maxon14971@gmail.com

Author's information

Maxim Artemev – graduate student; maxon14971@gmail.com

УДК 624.53

Артемьев М.П.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАНТОВЫХ МОСТОВ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

В статье рассматривается зарубежный опыт проектирования вантовых мостов на высокоскоростных железнодорожных магистралях. В работе приводятся примеры зарубежных исследований, проведённых в последние несколько лет.

Ключевые слова. мост, ВСМ, пролетные строения, взаимодействие поезда с мостом, вантовые мосты.

M.P. Artemyev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

FOREIGN EXPERIENCE IN DESIGNING CABLE-STAYED BRIDGES ON HIGH-SPEED RAILWAYS

The article examines the international experience of designing cable-stayed bridges for high-speed railways. The work provides examples of foreign research conducted in the last few years.

Keywords: bridge, HSR, span structures, train-bridge interaction, cable-stayed bridges.

Введение

Вантовые мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях: инженерные решения и ключевые элементы современной транспортной инфраструктуры.

Высокоскоростные железнодорожные системы стали важнейшими компонентами современных транспортных сетей, предоставляя эффективные и быстрые способы перемещения на большие расстояния. Важной составной частью таких систем являются вантовые мосты, которые обеспечивают железнодорожным поездам плавное и безопасное движение, пересекая водные преграды при необходимости в больших пролетах.

К сожалению, в России пока не имеется опыта проектирования данных сооружений под высокоскоростные железнодорожные линии. Впрочем, зарубежные проектировщики и инженеры уже давно освоились в применении данных конструкций в условиях высокоскоростного движения. Далее будут рассмотрены некоторые вопросы и проблемы, с которыми сталкивались зарубежные исследователи в процессе изучения работы и поведения вантовых мостов на ВСМ.

Проблемы и вопросы из зарубежного опыта при проектировании вантовых мостов на ВСМ

Пример использования вантовых мостов-близнецов для высокоскоростной железной дороги в Китае. Возле станции Чанша высокоскоростной железной дороги Шанхай-Куньмин (ВСМ) в Китае в 2014 году вместе с открытием высокоскоростной линии были построены вантовые железнодорожные мосты-близнецы. В статье [1] выделяются основные особенности данных мостовых сооружений, обсуждаются ключевые проектные решения, приводится анализ вопросов, связанных с проектированием конструкций, в том числе поведение соединения пилона с главной балкой, температурный режим главной балки по солнечному излучению, а также аэродинамические эффекты, вызываемые высокоскоростными поездами.

Наиболее примечательным аспектом, описанным в статье, является выбранный метод сооружения вантовых мостов-близнецов под железную дорогу возле станции Чанша – так называемый «метод поворота», проиллюстрированный на рисунке 1.

Дело заключается в том, что в проектном положении мосты пересекают уже существующую высокоскоростную линию Ухань – Гуанчжоу, что при стандартном строительстве заставило бы ограничить движение по данной линии. Чтобы этого избежать и был выбран «метод поворота». Его суть заключается в том, что вантовые мосты сооружаются параллельно существующей линии, не влияя на ее высокоскоростное движение. Затем с помощью специальных механизмов, установленных в основаниях пилонов, мосты «поворотом» в горизонтальной плоскости приводятся в проектное положение. Далее приводится краткое описание некоторых конструктивных характеристик этих вантовых мостов.

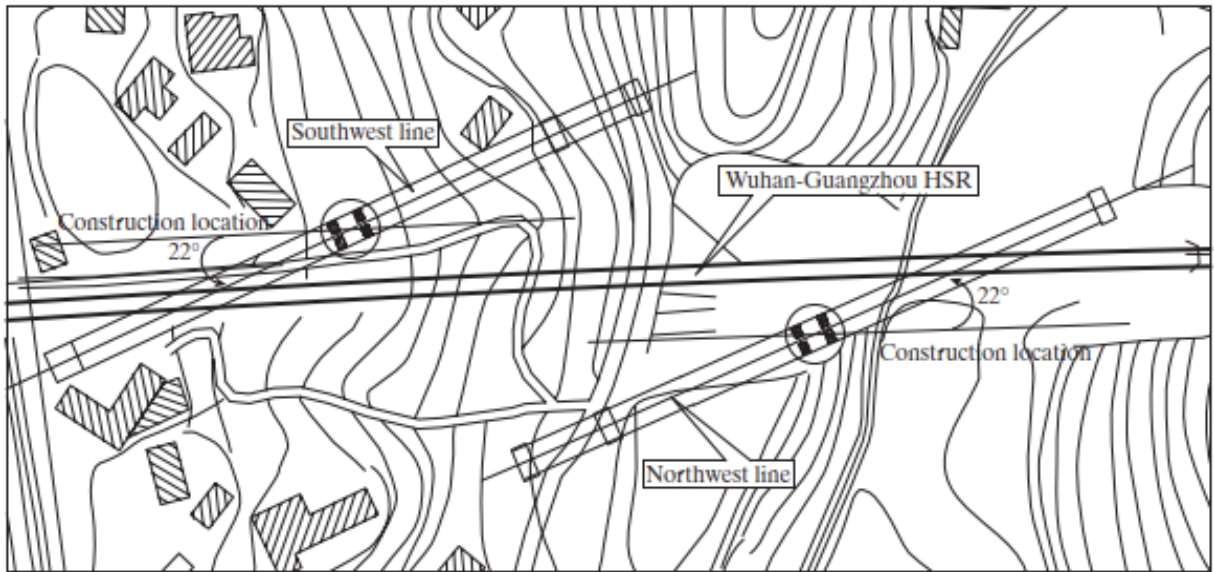


Рис.1 План строительства вантовых мостов возле станции Чанша

Вантовые мосты спроектированы с двумя асимметричными пролетами (112 и 80 м), подвешенными на одном пилоне (рис. 2). Боковой пролет длиной 32 м был спроектирован для устранения отрицательной реакции на опорах более короткого пролета. Общая длина сооружения составляет 224 м, при расположении пролетов по схеме 32 + 80 + 112 м.



Рис.2 Общий вид вантового моста возле станции Чанша

Пилоны выполнены в форме перевернутой буквы Y как в продольном, так и в поперечном направлениях с целью повышения жесткости конструкции моста без увеличения собственного веса пилона. Главная балка жесткости выполнена из предварительно напряженного железобетона.

Сами ванты изготовлены из параллельных стальных проволок, имеющих предел прочности на разрыв 1670 Н/мм^2 . Две плоскости вант расположены веерообразно и состоят из восьми пар кабелей, закрепленных на более коротком пролете через каждые 9 м, а на более длинном пролете через каждые 12,8 м. В полом сечении пилона ванты закрепляются на расстоянии 2,5 м.

Взаимодействие пути и моста является одним из актуальных вопросов ВСМ мостов с бесстыковым путем. Для учета этого взаимодействия и проведения необходимых расчетов была использована 3D модель вантового моста, показанная на рисунке 3.

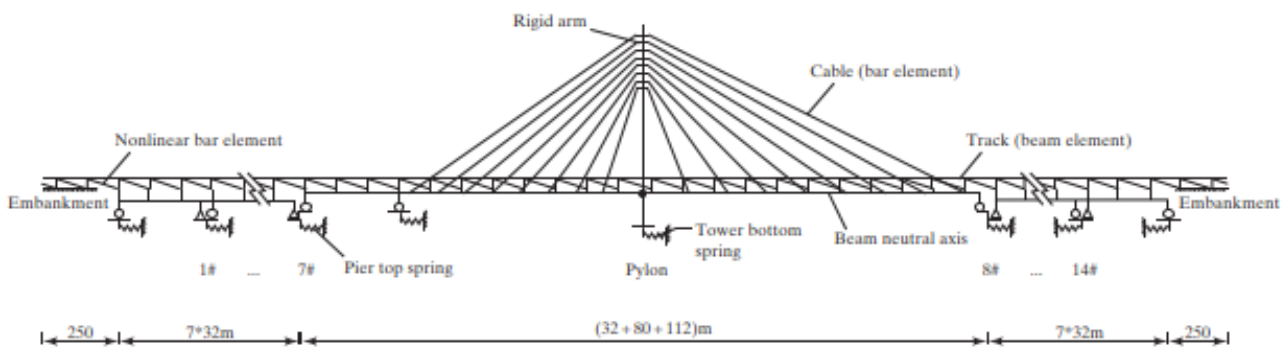


Рис.3 Схема нелинейной модели взаимодействия «путь-мост»

В [1] авторы отмечают, что конструкция мостов и выбранный метод их сооружения максимально снизили влияние на движение по существующей линии ВСМ Ухань-Гуанчжоу, а также что будущие требования к железнодорожным мостам с большими пролетами через существующие железнодорожные линии могут рассматривать проектирование и строительство этих вантовых мостов-близнецов возле станции Чанша в качестве ориентира.

Влияние режима локального деформирования вантового моста на безбалластное мостовое полотно.

Сложные локальные формы деформирования вантового моста влияют на деформационные характеристики проложенного по нему безбалластного мостового полотна. Для изучения данного явления была изготовлена крупномасштабная сегментная модель пролетного строения вантового моста, описанная в работе [2].

Общий вид исследуемого вантового моста через реку Ганьцзян в Китае представлен на рисунке 4.

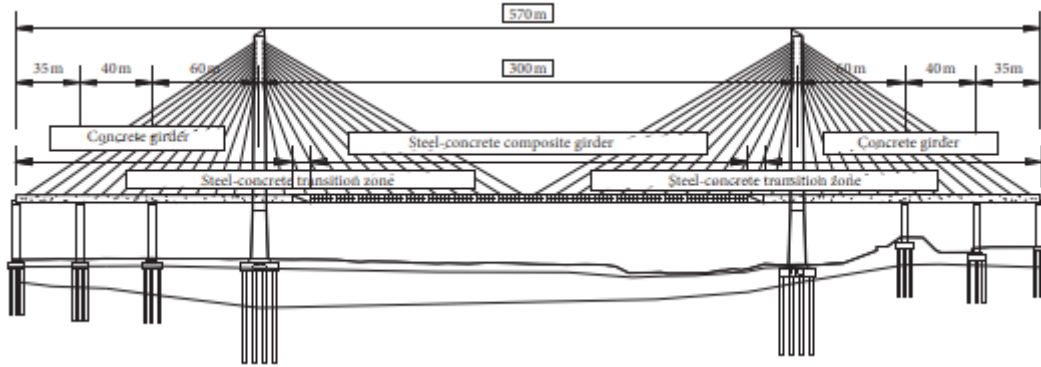


Рис.4 Общий вид вантового моста через реку Ганьцзян

На рисунке 5 представлена схема сегментной модели пролетного строения

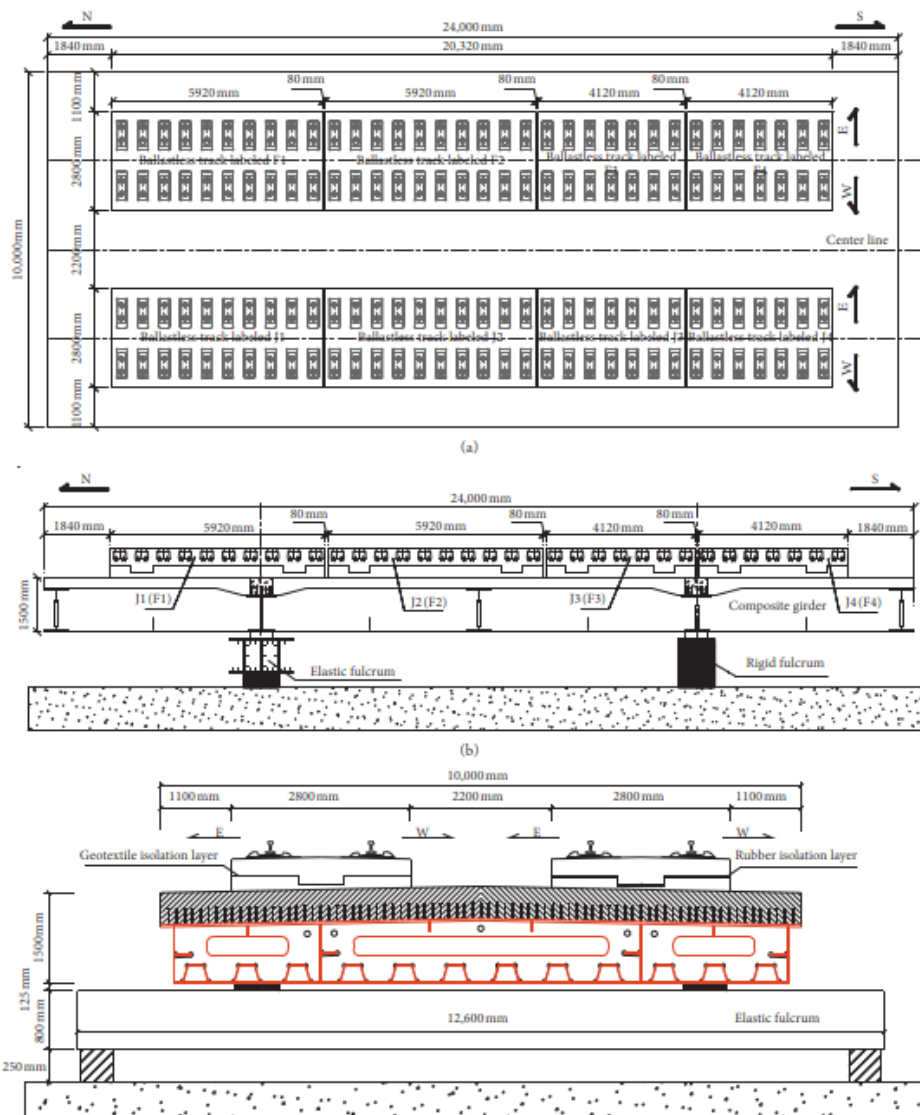


Рис.5 Схема сегментной модели пролетного строения

В сегментной модели использовалось безбалластное мостовое полотно типа «CRTS-III», состоящее из нескольких слоев, включая изоляционный слой, же-

лезобетонное основание, плиту под пути, стальной стержень и слой самоуплотняющегося бетона.

Для отслеживания деформаций в сегментной модели были установлены специальные датчики в различных местах. Сами деформации достигались путем многоточечного нагружения участков модели. В результате экспериментов было установлено, что изгиб вверх является наиболее неблагоприятным типом деформаций для представленного мостового полотна.

В качестве слоя изоляции в модели применялся как геотекстиль, так и слой резиновой изоляции.

Результаты экспериментов показали отсутствие образования пустот при деформациях в слоях мостового полотна типа «CRTS-III» с резиновыми изоляционными слоями за счет предварительного сжатия резинового материала. Однако, подобные дефекты вполне возможны при применении в качестве слоя изоляции геотекстиля.

Нелинейный динамический анализ длиннопролетных вантовых мостов.

Длина пролетов вновь построенных вантовых железнодорожных мостов продолжает увеличиваться по сравнению с длинами пролетов старых мостов. Такое увеличение сопровождается важностью обеспечения того, чтобы вибрации вантовых мостов с длинными пролетами отвечали требованиям как безопасности, так и удобства эксплуатации, что особенно важно для мостов под железнодорожную нагрузку.

В статье [3] на примере железнодорожного моста на озере Дунтин представлена вычислительная основа для нелинейного динамического анализа железнодорожных мостов на основе аналитической модели, учитывающей взаимодействие поезда с мостом и исследуется значимость учета эффектов взаимодействия самих вант с системой «мост-поезд». В рамках проведенного исследования сравниваются результаты, полученные при учете взаимодействия между вантами, пилонами и пролетным строением, с результатами, полученными при предположении, что эти элементы конструкции не взаимодействуют между собой. Результаты сравнительного анализа показывают, что учет взаимосвязи при расчетах динамических характеристик вантовых железнодорожных мостов приводит к положительным результатам и имеет определенные преимущества при проектировании вантовых мостов. Это может обеспечить более точные и реалистичные представления о динамическом поведении моста в условиях эксплуатации.

На рисунке 6 представлена общая схема модели вантового моста.

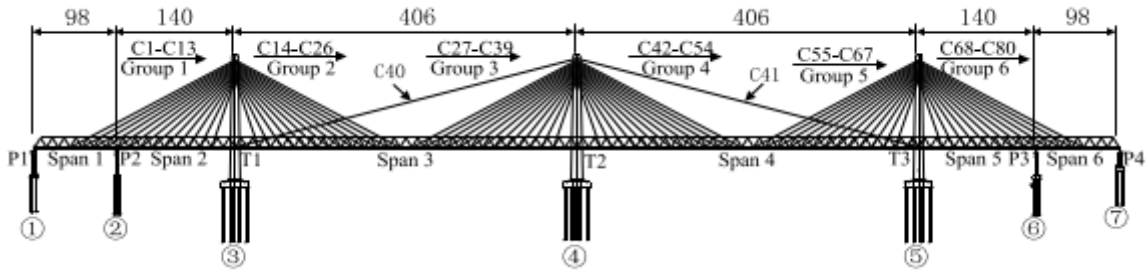


Рис.6 Общая схема модели вантового железнодорожного моста на озере Дунтин

На рисунке 7 представлена модель конечных элементов, применяемая в ходе данного исследования.

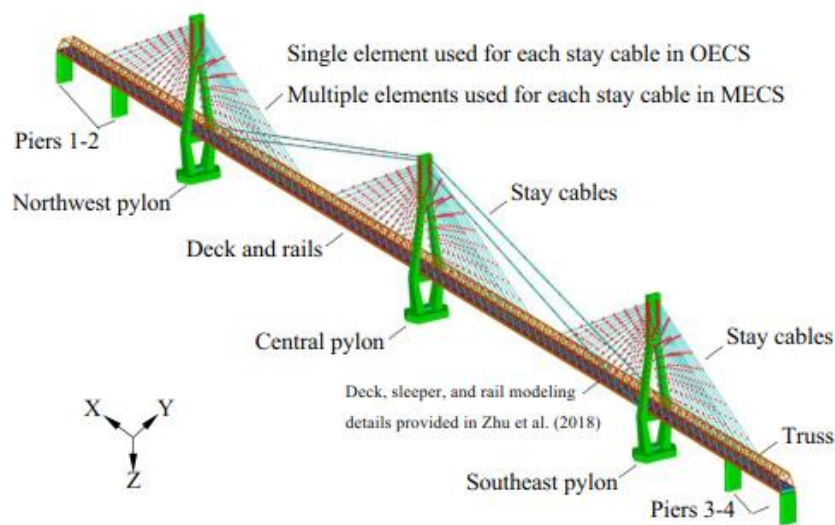


Рис.7 Модель конечных элементов мостового сооружения

В статье [3] проводится сравнительный анализ двух способов моделирования вантовых элементов, а именно моделирование одним стержневым элементом (OECS) или множеством стержневых элементов (MECS), как показано на рисунке 7. На основании рассмотренного исследования и сценариев прохождения поездов подход MECS рекомендуется использовать при оценке влияния вибрации троса на нелинейные, вызванные поездом (динамические) реакции вантовых мостов с длинными пролетами.

Заключение

На основании вышеприведённых зарубежных исследований, выполненных за последние несколько лет, а также принимая во внимание отечественный опыт проектирования искусственных сооружений на ВСМ, можно сделать некоторые выводы касательно вантовых мостов на ВСМ:

1. Вантовый мост является одним из наиболее предпочтительных сооружений для пропуска высокоскоростного железнодорожного движения, поскольку

его конструкция позволяет как перекрывать большие пролеты, так и отвечать всем требованиям безопасности и удобства пассажиров на ВСМ. В условиях ландшафта России, при большом количестве широких рек на ее территории, данные конструкции практически не имеют себе аналогов.

2. В современном мире многие зарубежные страны (несмотря на то, что в статье рассматриваются лишь вантовые мосты в Китае) уже имеют устоявшуюся нормативную базу для проектирования искусственных сооружений в условиях высокоскоростного движения, включая и вантовые мосты. К сожалению, данное утверждение не относится к нормативной базе в России, где нормативная документация под ВСМ ограничивается лишь более простыми конструкциями по типу разрезных и неразрезных балок и нуждается в дальнейшем расширении в том числе и под вантовые мосты.

3. Зарубежные исследователи уделяют много внимания более специфичным вопросам, освещая тему вантовых мостов на ВСМ в своих трудах, что говорит о том, что их нормативная база, включающая данный тип сооружений, продолжает расширяться.

4. В России на данный момент вантовым мостам в условиях ВСМ не уделяется достаточное внимание и даже нет исследований, затрагивающих этот вопрос.

Для дальнейшего развития высокоскоростного движения в России необходимо расширять нормативную базу, включая в нее сведения по проектированию более сложных конструкций, в частности, вантовых мостов.

По этой причине необходимо начать проводить исследования данных конструкций в условиях ВСМ на территории России, принимая во внимания как уже имеющийся отечественный опыт проектирования искусственных сооружений на ВСМ, так и опыт зарубежных коллег.

Список литературы

1. Gonglian Dai, Miao Su, Yan Bin, "Case Study of Twin Cable-Stayed Bridges for High-Speed Railway in China: Design, Analysis and Construction", *Structural Engineering International* 24(3), August 2014, pp. 396-401. DOI: 10.2749/101686614X13844300210470;

2. Xingwang Sheng, Weiqi Zheng, Jianxian Wu, Handong Zhang, "Influence of Local Deformation Mode of Cable-Stayed Bridge on Unballasted Tracks: Experimental Research", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, Article ID 2316524, 10 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2316524>

3. Zhihui Zhu, Lidon Wang, Michael T. Davidson, Issam E. Harik, Anand Patil, "Nonlinear dynamic analysis of long-span cable-stayed bridges with train-bridge and cable coupling", *International Journal of Advanced Structural Engineering*, vol. 2019, pp. 271-283, <https://doi.org/10.1007/s40091-019-0229-1>.

Контактная информация

Артемьев Максим Павлович – аспирант; maxon14971@gmail.com

Author's information

Maxim Artemev – graduate student; maxon14971@gmail.com

УДК 332.628

Коланьков С.В.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

УЧЕТ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ПРИБЫЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ НЕДВИЖИМОСТИ

Рассмотрен вопрос о способах оценки величины (нормы) предпринимательской прибыли при применении затратного подхода к оценке рыночной стоимости недвижимости. Дана характеристика теоретических положений, относящихся к данному ценообразующему показателю. Отмечена возможность применения результатов определения варианта наиболее эффективного использования объекта для оценки нормы прибыли предпринимателя. Указаны различия в формулировке сущности данного показателя рядом авторов, а также терминов, содержащихся в различных федеральных стандартах оценки. Рассмотрены методические основы применения методов затратного и доходного подходов: прямой капитализации, дисконтирования денежного потока (предполагаемого использования), затратного, сметного ценообразования. Предложен новый способ обоснования нормы предпринимательской прибыли, обеспечивающий сокращение субъективизма оценщиков, что обеспечивает лучшую защиту интересов потребителей оценочных услуг. Сформулирован ряд важных соотношений.

Ключевые слова: оценочная деятельность, недвижимость, подходы к оценке, методы оценки, рыночная стоимость недвижимости, предпринимательская прибыль, дисконтирование, затратный метод, метод сметного ценообразования, метод дисконтирования денежного потока, метод прямой капитализации, наиболее эффективное использование.

S.V. Kolankov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

ACCOUNTING FOR BUSINESS PROFITS WHEN ASSESSING THE MARKET VALUE OF REAL ESTATE

The question of ways to assess the value (norm) of entrepreneurial profit when applying a cost-based approach to assessing the market value of real estate is considered. The characteristic of the theoretical provisions related to this price-forming indicator is given. The possibility of applying the results of determining the option of the most effective use of an object to assess the profit margin of an entrepreneur is noted. The differences in the formulation of the essence of this indicator by a number of authors, as well as the terms contained in various federal assessment standards, are indicated. The methodological foundations of the application of methods of cost and income approaches are considered: direct capitalization, discounting of cash flow (intended use), cost, estimated pricing. A new method of substantiating the rate of entrepreneurial profit is proposed, which reduces the subjectivity of appraisers, which provides better protection of the interests of consumers of valuation services. A number of important relationships have been formulated.

Keywords: valuation activities, real estate, valuation approaches, valuation methods, market value of real estate, entrepreneurial profit, discounting, cost method, estimated pricing method, cash flow discounting method, direct capitalization method, the most effective use.

Введение

Одной из особенностей оценки рыночной, справедливой или равновесной стоимости [1-3] специализированной недвижимости железнодорожного транспорта является возможность применения во многих случаях только затратного подхода. Для объектов, имеющихся в рыночном обороте, например, складов [4], при оценке их рыночной стоимости, наряду с доходным и сравнительным подходами [1], также используется затратный подход.

Вопрос о природе предпринимательской прибыли, а, следовательно, подходе к ее определению, теоретически обсуждается достаточно давно.

Исторически в России хорошо известна точка зрения К. Маркса, который в известной работе “Капитал” констатировал, что основой прибыли является прибавочный труд, под которым он понимал труд, затраченный сверх необходимого труда, т.е. труда, требуемого для производства средств существования рабочего. Другими словами прибавочный труд – это неоплаченный труд, присвоенный собственником производства. Прибавочный труд трансформируется в прибавочную стоимость, которая и порождает прибыль.

При этом прибыль может быть как выше, так и ниже прибавочной стоимости, что возникает в результате т.н. неэквивалентного обмена, который возникает в силу неравенства положения субъектов на рынке, в том числе из-за различий в финансовом состоянии, потребности в том или ином товаре, информированности и умения вести переговоры. Теория эквивалентности обмена имеет еще более глубокие корни и, возможно, впервые сформулирована Аристотелем в работе “Никомахова этика”. Далее К. Маркс постулировал: где есть равенство – нет прибыли и, тем самым, по нашему мнению дезавуировал свое же заявление о прибавочной стоимости.

Все теории, объясняющие существо прибыли, можно разделить на две группы: объективные и субъективные. Объективные теории объясняют происхождение прибыли некими внешними причинами, так или иначе связанными с нарушениями конкурентного равновесия. Субъективные теории прибыли объясняют ее возникновение своего рода платой предпринимателю за риск.

В оценке рыночной и иной стоимости недвижимости дискуссия о сущности и подходах к определению предпринимательской прибыли обычно ведется в рамках обсуждения затратного подхода к оценочной деятельности. В последние годы опубликовано значительное число работ, посвященных достоинствам и недостаткам данного подхода и проблемам определения различных ценообразующих показателей, используемых в расчетах [5-13]. Вопрос определения величины предпринимательской прибыли (P_{np}) обычно вызывает наибольшие затруднения. При этом практически все авторы обосновывают необходимость учета данного параметра при оценке рыночной стоимости недвижимости, за

исключением работы [12], в которой автор утверждает о ненужности данного учета.

При этом можно отметить, что в работе [12], где приводятся ссылки на ряд других работ этого автора, так и не обосновано, почему же не нужно учитывать прибыль предпринимателя в затратном подходе к оценке рыночной стоимости недвижимости и проводится различие двух видов прибыли: “прибыль предпринимателя – это прибыль на собственный капитал проекта, а прибыль девелопера это, как правило, 50% от сверхприбыли, после удовлетворения требований по прибыли инвесторов собственного капитала”. Тем самым смешивается прибыль различных участников инвестиционного процесса. Если не учитывать P_{np} в затратном подходе к оценке рыночной стоимости недвижимости, то это означает, что предпринимательскую деятельность можно описать следующим образом: затратил на строительство 1 млрд. руб. и 2 года и продал объект за 1 млрд. руб., да еще и проценты за кредит выплатил из своего кармана.

После проведения реформы оценочных стандартов в 2020 г. этот вопрос оказался запутан в федеральных стандартах оценки. Так в п. 31 нового ФСО V [1, прил. 5] указано: “При расчете затрат воспроизводства и затрат замещения могут учитываться ... и прибыль предпринимателя”. Другими словами, P_{np} относится в состав затрат (!), но это делается не всегда (“могут”). Исключения из указанного правила (“могут”) не указаны.

В специальном стандарте [2, п/п “г” п. 24] установлено: “определение стоимости объектов капитального строительства [производится] путем суммирования затрат на создание этих объектов и прибыли предпринимателя ...”. Таким образом P_{np} рассматривается в качестве ценообразующего показателя, имеющего иную природу, экономический смысл по сравнению с затратами на строительство и учитывается в безусловном порядке. Далее, в п/п “з”, приводятся методические указания по установлению нормы или величины P_{np} : “для целей оценки рыночной стоимости недвижимости величина прибыли предпринимателя определяется на основе рыночной информации методами экстракции, экспертных оценок или аналитических моделей с учетом прямых, косвенных и вмененных издержек, связанных с созданием объектов капитального строительства и приобретением прав на земельный участок”.

В работе [6] обосновывается необходимость учета прибыли предпринимателя только к затратам на создание улучшений с учетом их накопленного износа, используется введенное проф. Е.С. Озеровым понятие аксиомы оценки, под которой понимается примерное равенство результатов, получаемых всеми тремя подходами к оценке объекта, предлагается использовать элементы доходного подхода путем применения процедуры дисконтирования, исключая, при этом, периоды приостановки строительства.

С данным теоретическим положением можно поспорить, поскольку в оценке рыночной стоимости недвижимости еще ни один оценщик не смог добиться полного совпадения результатов, полученных различными подходами. Более

того, при экспертизе отчетов об оценке, если получены практически совпадающие результаты, полученные различными подходами, обычно делается замечание, что этого не может быть. Данное положение вполне обосновано в связи с тем, что каждый из трех известных подходов [1] основан на собственном критерии оценки, что предопределяет различие итоговых результатов.

В этой же работе отмечено, что величина P_{np} зависит от объема инвестиций, вкладываемых в строительство или реконструкцию недвижимости, учитываемой в расчетах нормы дисконта (отдачи на капитал) и продолжительности инвестиционного периода.

В работах [5, 8], при расчете величины P_{np} , также предлагается применять элементы капитализации доходов, в частности при использовании метода остатка, выделяя прибыль предпринимателя на основе концепции вмененных издержек, в соответствии с которыми P_{np} определяется как упущенная выгода инвестора из-за “омертвления” его инвестиций в период строительства (реконструкции) объекта недвижимости. В указанных работах уточнено, что величина предпринимательской прибыли определяется относительно всего инвестированного капитала, как собственного, так и заемного.

Данный подход вызывает вопрос – если учитывается омертвление капитала, который мог бы быть в противном случае инвестирован в иную деятельность, то какую норму прибыли учитывать – среднерыночную в целом по экономике? Ведь альтернативное инвестирование возможно в любую отрасль, на любой территории. Если имеется в виду максимально возможная прибыль, извлекаемая в наиболее рентабельных отраслях, то такое предположение учитывать не обосновано в связи с тем, что при массовом инвестировании норма прибыли неизбежно понизится из-за увеличения предложения товаров, работ и услуг. Кроме того, учет нормы прибыли, сложившейся в иной отрасли по сравнению с той, где используется оцениваемая недвижимость, означает искусственное завышение результата оценки.

Во многих работах обсуждается вопрос: относительно кого из участников рынка недвижимости определять величину предпринимательской прибыли? При этом подчас смешиваются понятия сметной и предпринимательской прибыли, путаются субъекты их получения – участники рынков строительства и недвижимости.

В работах [5, 7] обращается внимание на некорректное подчас использование термина “предпринимательская прибыль”, под которым может пониматься либо ее величина, выражаемая в рублях, либо норма в процентах.

В работах [5-11, 13] указывается, что при оценке величины P_{np} необходимо учитывать продолжительность инвестиционного периода и динамику, характер распределения инвестиций во времени, что возможно при применении инструмента дисконтирования. Предложение учитывать при расчете P_{np} процедуру дисконтирования обосновывается тем, что как ее величина, так и норма зависят от распределения затрат инвестора в инвестиционный период, а также риска

участия в проекте. Приводится известное соотношение – чем выше риск, тем большей должна быть прибыль или, другими словами, прибыль является средством компенсации риска предпринимательской деятельности.

В работе [7] предлагается учитывать прибыль предпринимателя, как указано, “одним махом” – то есть умножением остаточной стоимости улучшений на множитель $(1+P_{np})$ с дополнительным корректированием путем возведением в степень, равную соотношению продолжительности строительства объекта оценки ($T_{оцен}$) и нормативного срока строительства ($T_{норм}$):

$$(1 + P_{np})^{\frac{T_{оцен}}{T_{норм}}} \quad (1)$$

При этом, в работах [6, 7] уточняется, что $T_{норм}$ может быть определена по СНиП [14].

В работе [9] прибыль предпринимателя предлагается определять аналитическим методом, авторами которого являются Д.Д. Кузнецов и Е.С. Озеров [15].

Однако, несмотря на имеющиеся предложения по расчету предпринимательской прибыли, как подчеркивается во многих опубликованных работах, практикующие оценщики продолжают отдавать предпочтение традиционному способу, заключающемуся в учете нормы P_{np} в размере, как правило, 10-30% от величины остаточной стоимости улучшений земельного участка. По мнению автора это объясняется традицией, привычкой, сложившейся в самом начале оценочной деятельности в современной России, что всегда преодолевается достаточно долго и трудно, а также излишней математизацией ряда научных разработок, которую в советский период, подчас, называли “математическим хулиганством” или “занаучиванием”. Представляется, что в экономической практике целесообразно следовать принципу “не надо усложнять”, принимая во внимание, что отраслевая экономика вещь простая и обычно не воспринимает тяжелые для понимания новшества.

Так, например, в работе [8] предлагается формулы для оценки свободного (условно свободного) земельного участка и для оценки стоимости улучшений земли умножать на $(1+Y)^r$ (где Y – ставка дисконтирования, r – момент времени окончания строительства), а затем выполнить алгебраические преобразования полученных выражений. Тем самым дисконтирование осуществляется к моменту окончания строительства, что позволяет оценить как дисконтированную величину затрат инвестора (левая часть уравнения), так и дисконтированную величину будущих доходов от эксплуатации объекта оценки (правая часть уравнения):

$$V_l(1+Y)^r + C_0(1+Y)^r + C_1(1+Y)^{r-1} + \dots + C_r = \frac{I_{r+1}}{(1+Y)} + \frac{I_{r+2}}{(1+Y)^2} + \dots + \frac{I_n + V_n}{(1+Y)^{n-r}}, \quad (2)$$

где V_l – рыночная стоимость земельного участка (l - land), руб.; C_0, C_1, \dots, C_r – величина затрат инвестора на создание объекта недвижимости (сметная стои-

мость строительства), распределенная по шагам расчета, руб.; $I_{r+1}, I_{r+2}, \dots, I_n$ – чистый операционный доход, спрогнозированный по отдельным шагам операционного (эксплуатационного) периода, руб.; n – момент окончания прогнозного (для доходов) периода.

Из этого выражения определяется величина Π_{np} .

Указанных математических преобразований можно избежать, если записать исходное выражение, приняв за момент дисконтирования дату завершения строительства, включая монтаж оборудования и пуско-наладочные работы, что предусматривается Методическими рекомендациями [16].

Дополнительно усложняет понимание сути предлагаемых методик применение собственных терминов различными авторами. Так, например, в работе [12] использован термин “компаундированные затраты”, вместо того, чтобы ориентироваться на общепринятый термин “дисконтированные”, с указанием момента оценки.

Теоретические предпосылки расчета предпринимательской прибыли в затратном подходе оценки недвижимости

Приведенные в различных работах определения термина «предпринимательская прибыль» несколько отличаются.

В работе [5], со ссылкой на издание [19], прибыль предпринимателя характеризуется как “разница между общими затратами на создание имущества и рыночной стоимостью созданного имущества. С экономической точки зрения прибыль предпринимателя – это разумное вознаграждение предпринимателя за риск инвестирования в создание недвижимости. Это справедливое вознаграждение девелопера, которое он рассчитывает получить за свои деньги, время и опыт в создании объекта недвижимости”. Также указывается на различие двух терминов – предпринимательская прибыль и предпринимательский стимул, введенное в издании [19]. В другой своей работе С.В. Грибовский иначе дает определение показателю Π_{np} : «Прибыль предпринимателя рассчитывается как упущенная выгода инвестора из-за того, что его инвестиции в течение определенного периода не приносили дохода. Потерю этой прибыли инвестор и закладывает в будущую стоимость создаваемого объекта инвестиций» [8]. Здесь акцент делается не на экономический, а на финансовый аспект показателя, что, по нашему мнению, несколько затрудняет понимание экономической сущности явления.

Акцентирование внимания на финансовых аспектах проблемы характерно для спекулятивных экономик, например, США, где решающее значение играет состояние финансового рынка. В то же время для экономик, ориентированных на производство, важнее экономическое состояние, рассматривая финансовые аспекты как необходимое условие технологического развития.

Прибыль предпринимателя является не финансовым, а экономическим показателем, следовательно, целесообразно рассматривать его содержание, исходя из логики предпринимательской деятельности. Предпринимателя интересует

два аспекта своей деятельности: во-первых, возврат первоначально инвестированного капитала; во-вторых – получение дохода на этот капитал.

В работе [17] указывается: «Прибыль предпринимателя – это установленная рынком цифра, отражающая сумму, которую предприниматель ожидает получить в виде премии за использование своего капитала, инвестированного в строительный проект. Прибыль предпринимателя является в основном функцией риска и зависит от конкретной рыночной ситуации». Здесь можно отметить, что, не меньшее значение, чем риск, на значение Π_{np} оказывают величина инвестиций и продолжительность реализации проекта. Кроме того можно отметить, что первично инвесторы ориентируются на норму прибыли, уже на основании которой определяется сумма Π_{np} .

Отметим также, что риск это явление, которое характеризуется двумя параметрами: вероятностью и величиной возможных потерь. В указанной и в других работах под риском, очевидно, подразумевается вероятность его возникновения, определяемая в процентах. Отдельной трактовки здесь требует термин “свой капитал”, под которым может пониматься либо собственный капитал инвестора, либо сумма собственного и заемного (привлеченного) капитала, то есть всего капитала в целом.

В работе [18] на стр. 261 приведено наиболее краткое определение прибыли предпринимателя – «общая прибыль девелопера и кредитора», без указания на инвестора. Упоминание кредитора является излишним, т.к. свою прибыль он получит в виде процентов за предоставление кредита, которые будут выплачиваться либо из сметной стоимости (как часть затрат инвестора), либо из прибыли инвестора.

Таким образом, прибыль предпринимателя распределится между инвестором, девелопером и кредитором, при том, что ее «держателем» является инвестор, «уступающий» ее часть девелоперу за управленческие усилия и кредитору в качестве платы на полученное заемное финансирование.

По нашему мнению наиболее точно экономический смысл понятия Π_{np} отражен в определении, приведенном в работе [5]. Таким образом, в затратном подходе под величиной предпринимательской прибыли следует понимать разность между ценой продажи недвижимости и фактическими затратами инвестора на ее создание, то есть фактической сметной стоимостью строительства:

$$\Pi_{np} = C - C_{см}^{факт}, \quad (3)$$

где C – цена продажи недвижимости, руб.; $C_{см}^{факт}$ – фактическая сметная стоимость строительства, руб.

Следовательно, Π_{np} извлекается инвестором на весь затраченный капитал (собственный и заемный) в течение расчетного периода ($T_{расч}$). Окончание расчетного периода определяется наиболее типичной сделкой с конкретным типом объектов: продажей, арендой или собственной эксплуатацией.

Изложенное выше может быть показано графически (рисунок 1).

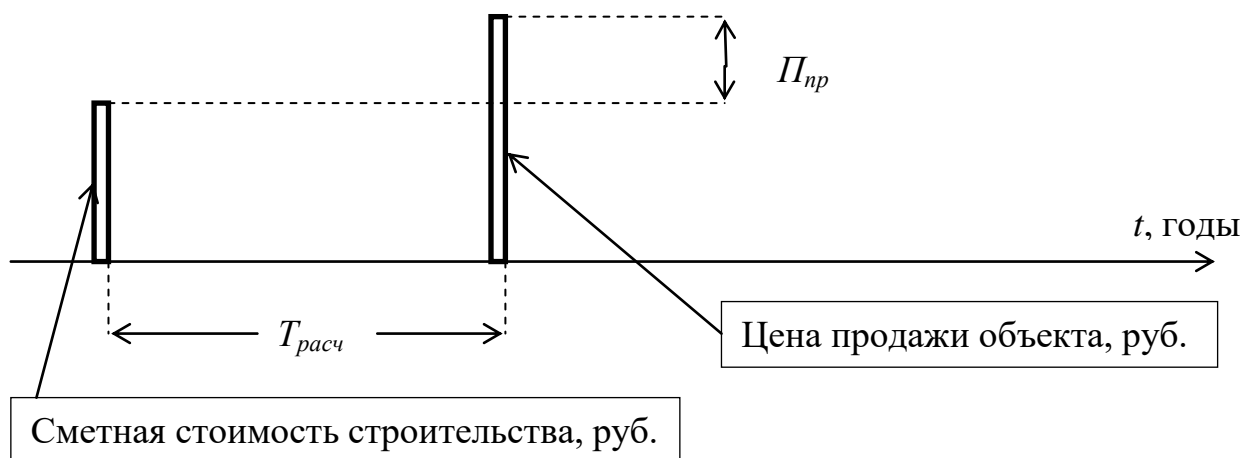


Рис. 1. Определение величины предпринимательской прибыли

Однако на практике, обычно, применяется не величина, а норма предпринимательской прибыли, которая может быть определена как:

$$H_{пр} = \frac{П_{пр}}{C_{см}^{факт}} \quad (4)$$

Следует обратить внимание, что в формуле (3) учитываются не рыночная стоимость ($C_{рын}$) и сметная стоимость строительства ($C_{см}$), являющаяся плановой величиной, определенной в составе проектно-сметной документации.

Можно отметить, что различия между ценой и рыночной стоимостью убедительно показаны в работе [20]. Исходя из трактовки, приведенной в [19], при использовании для расчета показателей $C_{рын}$ и $C_{см}$, будет определена величина предпринимательского стимула ($П_{стим}$). Ссылаясь на работу [20] можно сказать, что отличия между понятиями $П_{пр}$ и $П_{стим}$ могут быть охарактеризованы примерно также, как и отличия между ценой и рыночной стоимостью недвижимости.

Однако в дальнейшем мы будем использовать допущение, что, в силу аксиомы оценки понятия $П_{пр}$ и предпринимательского стимула тождественны.

При определении нормы $П_{пр}$, используемой в дальнейшем для оценки рыночной стоимости недвижимости затратным подходом, методически более обосновано использовать значения сметной стоимости строительства и рыночной стоимости объектов-аналогов. Это объясняется тем, что как цена продажи, так и фактические затраты на строительство конкретного инвестора зависят от различных индивидуальных условий осуществления договоров купли-продажи и строительного подряда, в том время как при оценке нормы $П_{пр}$ следует учитывать наиболее типичные условия, как и оценке $C_{рын}$.

Если норма предпринимательской прибыли определяется экспертным методом, т.е. на основе опроса участников рынка строительства и недвижимости, следует учитывать, кто сообщает норму прибыли и проводить анализ о какой именно прибыли идет речь. Другими словами, при оценке рыночной стоимости недвижимости затратным подходом, необходимо выполнять анализ и интерпретацию исходной информации.

Так, например, величина получаемой прибыли может сообщаться:

1. Генеральным подрядчиком, который извлекает сметную прибыль ($P_{см}$), учитываемую инвестором как часть своих затрат в составе сметной стоимости строительства. Учет $P_{см}$ производится при определении рыночной стоимости строительства в соответствии с приказом Минстроя России [21] в составе сметной стоимости строительства, что может быть описано следующей формулой:

$$C_{см} = ПЗ + НР + P_{см} + C_{проч}, \quad (5)$$

где $ПЗ$ – прямые затраты подрядчиков, руб.; $НР$ – накладные расходы подрядчиков, руб.; $C_{проч}$ – величина прочих и лимитированных затрат (например, зимнее удорожание работ, временные здания и сооружения, проектно-изыскательские работы, включая экспертизу и аудит и т.д.), руб.

Эта прибыль, как и прибыль проектировщика, субподрядчиков, поставщиков различных материалов и конструкций, арендодателей машин и механизмов является частью затрат инвестора, т.к. входит в состав сметной стоимости.

Здесь следует уточнить, что не все затраты инвестора ($C_{зи}$) входят в состав сметной стоимости, что указано в п. 31 ФСО V [22], где предлагается учитывать косвенные затраты. То же самое в п. 24”ж” федерального стандарта [2] именуется издержками, сопутствующими созданию объектов, но не включаемых в состав строительно-монтажных работ. Таким образом, затраты инвестора следует определять как:

$$C_{зи} = C_{см} + КИ_{инв}, \quad (6)$$

где $КИ_{инв}$ – величина косвенных издержек инвестора, руб.

В этом случае формула (3) должна быть уточнена и записана следующим образом:

$$П_{пр} = Ц - C_{зи}^{факт}, \quad (7)$$

где $C_{зи}^{факт}$ – величина фактических затрат инвестора на строительство объекта, руб.

Здесь необходимо обратить внимание на неточность формулировки, приведенной в указанном выше пункте федерального стандарта [2], где необходимо указать не “... в состав строительно-монтажных работ”, а “... в состав сметной стоимости строительства”.

2. Инвестором, который оперирует требуемой при оценке рыночной или иной стоимости недвижимости нормой – прибылью предпринимателя ($P_{пр}$), которая является той нормой прибыли, которая извлекается инвестором в результате реализации инвестиционного проекта. Следует учитывать, что норма $P_{пр}$ обычно должна учитываться в годовом выражении. Например, если заявлено, что была получена $P_{пр}$ в размере 22% при продолжительности проекта 2 года, то это означает норму $22\%/2 \text{ года} = 11\% \text{ в год}$.

3. Инвестором-генподрядчиком, что распространено на рынке строительства жилья. Тогда такой участник может заявить сумму $P_{см}$ и $P_{пр}$ и для дальнейших расчетов необходимо выделить только норму $P_{пр}$. Здесь следует иметь в виду, что понятия «предпринимательская прибыль» и «сметная прибыль» относятся к различным этапам инвестиционного процесса – строительству и реализации проекта (продаже).

4. Девелопером, который управляет проектом по договору с инвестором, и тем самым получает часть предпринимательской прибыли. В этом случае будет учтена только часть $P_{пр}$, при использовании которой в расчетах рыночной стоимости недвижимости приведет к недооценке объекта.

Оценка предпринимательской прибыли на рынке недвижимости

Поскольку лучшим подходом при оценке рыночной стоимости недвижимости является сравнительный подход, то наиболее точным является оценка величины предпринимательской прибыли методом выделения, который является алгебраическим преобразованием известной формулы затратного подхода:

$$C_{рын} = C_{зи} - I + P_{пр} + C_{зу}, \quad (8)$$

где I – величина накопленного износа на дату оценки, руб.; $C_{зу}$ – рыночная стоимость земельного участка, руб.

В методе выделения для оценки величины $P_{пр}$ за основу принимается величина рыночной стоимости объекта-аналога ($C_{рын}^{ан}$), которая приравнивается к $C_{рын}$ в выражении (8) и выполняется ее алгебраическое преобразование:

$$P_{пр} = C_{рын} - (C_{зи} - I) - C_{зу}. \quad (9)$$

Для определения нормы $P_{пр}$, необходимо ее величину разделить на остаточную стоимость затрат инвестора ($C_{зи} - I$).

Поскольку $C_{зу}$ является рыночной стоимостью земельного участка, то там прибыль предпринимателя уже учтена. Поэтому норма $P_{пр}$ в расчетах относится только к улучшениям.

Если нет возможности использовать объекты-аналоги, то могут быть использованы итоги расчетов доходным и (или) сравнительным подходами, а лучше – итог расчетов на этапе определения НЭИ объекта оценки, что позволяет сократить явление зависимости методов друг от друга.

В случае невозможности получения информации по объектам-аналогам и выполнения обоснованных расчетов на этапе определения НЭИ объекта оценки, данный метод не применим, что является общим недостатком сравнительного подхода в оценке рыночной стоимости недвижимости, который не реализуется на слаборазвитых рынках и относительно специализированной недвижимости.

В этих условиях оценщики предпочитают, обосновав отказ от применения сравнительного подхода, оценивать норму Π_{np} экспертным методом.

Однако существует возможность обоснования нормы прибыли предпринимателя, взяв за основу аксиому оценки рыночной стоимости и используя результат оценки $C_{рын}$ методом прямой капитализации.

Оценка величины предпринимательской прибыли выполняется на основе алгебраического преобразования выражения:

$$C_{нэи} = (C_{стр} + KI) * (1 + H_{np}) + C_{зу}, \quad (10)$$

где $C_{нэи}$ – рыночная стоимость объекта оценки, определенная как ЧОД/Е на этапе выбора варианта его наиболее эффективного использования, руб.; $C_{стр}$ и KI определены с учетом накопленного износа строением.

Откуда

$$H_{np} = \frac{C_{нэи} - C_{стр} - KI - C_{зу}}{C_{стр} + KI} \quad (11)$$

Исходные данные для расчета нормы предпринимательской прибыли с использованием метода прямой капитализации приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные и итоги расчета нормы Π_{np}

Показатели	Величина, ден. ед.
1. Остаточная стоимость затрат инвестора	160
2. Рыночная стоимость земельного участка	8
3. Годовой ЧОД	32
4. Норма дисконта	10%
5. $C_{рын}$ (метод прямой капитализации)	320
6. H_{np} (выражение (11))	95%
7. Проверка: $C_{рын}$ (выражение (10) при $H_{np}=95\%$)	320

В качестве проверки выполним оценку величину рыночной стоимости недвижимости затратным методом, используя выражение (10):

$C_{рын} = 160*(1+0,95)+8 = 320$ ден. ед, что совпадает с результатом, полученным методом прямой капитализации.

Выполненные расчеты показывают, что $H_{нр}$ существенно больше (в табл. 2 – в 9,5 раз) по сравнению с расчетной нормой дисконта, используемой в доходном подходе к оценке рыночной стоимости недвижимости.

Здесь следует обратить внимание, что искомое значение $H_{нр}$ может быть получено только и только методом прямой капитализации, в то время как при определении варианта НЭИ обычно используется метод дисконтирования денежного потока (ДДП) (для земельного участка – метод предполагаемого использования [22]). Данное положение вводим из-за того, что если методом прямой капитализации оценивается единый объект недвижимости, то методом ДДП – только рыночная стоимость земельного участка. При выборе даты оценки нулевого момента – земельного участка пустующего; при дисконтировании к дате окончания строительства – земельного участка в застроенном состоянии. Понятно, что сравнивать рыночную стоимость земельного участка с рыночной стоимостью недвижимости в целом недопустимо.

В качестве различия в результатах расчета при применении методов прямой капитализации и метода ДДП можно привести следующий условный пример.

Рассмотрим денежный поток, представленный в табл. 2 и используемый для определения НЭИ объекта. В отличие от метода прямой капитализации в табл. 2 ограничена продолжительность расчетного периода и дополнительно учитывается величина возможной продажи объекта недвижимости в конце расчетного периода (возможно условной). В методе прямой капитализации этого не требовалось, т.к. предполагается, что возврат инвестиций будет обеспечен за счет ежегодного чистого операционного дохода (ЧОД).

Таблица 2. Денежный поток и расчет величины ЧДД

Показатели	Шаги расчета							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1. Сметная стоимость строительства и КИ (с учетом износа)	-50	-110						
2. Рыночная стоимость земельного участка	-8							
2. ЧОД (распределение исходя из средней годовой величины 32 ед./год – табл.1)			20	30	40	40	40	20
3. Rev								120
Сальдо	-58	-110	20	30	40	40	40	140
4. Норма дисконта	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

Продолжение табл. 2

Показатели	Шаги расчета							
	0	1	2	3	4	5	6	7
5. Коэффициент дисконтирования к нулевому шагу	1,00	0,9091	0,8264	0,7513	0,683	0,6209	0,5645	0,5132
6. Сальдо с учетом дисконтирования	-58	-100	16,53	22,54	27,32	24,84	22,58	71,84
7. Рыночная стоимость (ЧДД) зем. участка на нулевом шаге (сумма по строке 6)	27,65							

При расчете по формуле (10), приняв $C_{нэи} = 27,65$ ден. ед., получаем абсурдный результат – отрицательное значение нормы предпринимательской прибыли – “-87,72%”.

Таким образом, расчеты при выборе варианта НЭИ необходимо дополнять методом прямой капитализации с целью определения нормы предпринимательской прибыли, необходимой для выполнения расчетов $C_{рын}$ затратным методом оценки.

Следует отметить, что соотношение E и $H_{пр}$ сильно дифференцировано в зависимости от $T_{расч}$ и $T_{стр}$, соотношения $C_{зи}$ и $ЧОД$ и Rev , доли земельного участка. Поэтому необходимо пользоваться не соотношением E и $H_{пр}$, а производить расчет $H_{пр}$ по формуле (11).

Однако в случае оценки рыночной стоимости объекта затратным методом результат получается примерно в 6 раз больше, по сравнению с полученным доходным подходом (табл. 1): $C_{рын} = (50+110)*(1+0,1401)+8 = 190,41$ ден. ед., что определяется указанным выше различием получаемых показателей: рыночной стоимостью объекта в целом и рыночной стоимостью только земельного участка.

Доля земельного участка в составе рыночной стоимости недвижимости в целом также будет отличаться: при использовании метода прямой капитализации $27,65/320 = 8,6\%$; затратного метода – $2,5\%$ ($8/320$); в составе затрат инвестора – $4,8\%$ ($8/(50+110+8)$). Указанная дифференциация результатов объясняется особенностями техники счета простых и сложных процентов, а также использованием ценообразующих показателей с учетом и без учета дисконтирования.

В любом случае $H_{пр}$ всегда больше по сравнению с E .

Список литературы

1. Приказ Минэкономразвития России от 14.04.2022 г. № 200 «Об утверждении федеральных стандартов оценки и о внесении изменений в некоторые приказы Минэкономразвития России о федеральных стандартах оценки».
2. Приказ Минэкономразвития РФ 25.09.2014 № 611 «Об утверждении Федерального стандарта оценки «Оценка недвижимости (ФСО № 7)».

3. Приказ Министерства финансов Российской Федерации от 28.12.2015 № 217н «О введении Международных стандартов финансовой отчетности и Разъяснений Международных стандартов финансовой отчетности в действие на территории Российской Федерации и о признании утратившими силу некоторых приказов (отдельных положений приказов) Министерства финансов Российской Федерации».
4. Evgeny Korovyakovskiy, Yulia Panova. Dynamics of Russian dry ports. *Research in Transportation Economics*, December 2011, 33(1): pp. 25-34. DOI: 10.1016/j.retrec.2011/08/008/;
5. Грибовский С.В. К вопросу расчета прибыли предпринимателя при применении затратного подхода к оценке стоимости недвижимости//Имущественные отношения в Российской Федерации, 2020, № 6, с. 29-37.
6. Озеров Е.С., Пупенцова С.В. Моделирование процесса ценообразования в сделках с коммерческой недвижимостью// Имущественные отношения в Российской Федерации, 2015, № 12, с. 29-37.
7. Козырь Ю.В. Оценка объектов незавершенного строительства с использованием информации о предпринимательской прибыли// Имущественные отношения в Российской Федерации, 2016, № 12, с. 62-73.
8. Грибовский С.В. Уравнение оценки стоимости// Имущественные отношения в Российской Федерации, 2014, № 7, с. 29-41.
9. Перевозчиков А.Г. Определение наиболее эффективного использования земельных участков на основе метода остатка и выделения// Региональная экономика: теория и практика, 2006, № 6, с. 39-42;
10. Справочник оценщика недвижимости. Под ред. Л.А. Лейфера, Приволжский центр методического и информационного обеспечения оценки, ООО «Информ-оценка», доступ коммерческий: <https://inform-ocenka.ru/>;
11. Оценка недвижимости: учебное пособие / Т. Г. Касьяненко, Г.А. Маховикова, В.Е. Есипов, С.К. Мирзажанов. – М.: КНОРУС, 2010. – 752 с.;
12. Коростелев С.П. О “прибыли предпринимателя” в затратном подходе. Доступ: <https://www.ocenchik.ru/docs/242.html>.
13. Яскевич Е.Е. Определение прибыли предпринимателя и внешнего износа для объектов недвижимости. Доступ: <https://срса.ru/articles/determination/>;
14. СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений».
15. Озеров Е.С., Кузнецов Д.Д. Аналитический метод определения величины прибыли предпринимателя в затратном методе оценки недвижимости. *Вопросы оценки*, 1998 г., № 2, с. 10-15;
16. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция)/М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. Политике; авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: ОАО “НПО ”Изд-во ”Экономика”, 2000. – 421 с.
17. Тарасевич Е.И. Оценка недвижимости. СПб.: СПбГТУ, 1997.- 422 с.;
18. Озеров Е.С. Экономический анализ и оценка недвижимости. СПб.: Из-во «МКС», 2007. - 535 с.
19. The appraisal of real estate. Fourteenth edition. Appraisal institute. 200 W. Madison. Suite 1500. Chicago, IL 60606. 2013. URL: www.appraisalinstitute.org;
20. Мягков В.Н. Стоимость – не цена. Виды стоимостей и цен//Вопросы оценки, 2019, № 2, с. 2-22.
21. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 августа 2020 г. № 421/пр «Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строи-

тельства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации».

22. Распоряжение Минимущества России от 6 марта 2002 г. N 568-р «Об утверждении методических рекомендаций по определению рыночной стоимости земельных участков».

Контактная информация:

Коланьков Сергей Вячеславович – д-р экон. наук, проф.; kolankov@pgups.ru

Author's information:

Sergey V. Kolankov – D. Econ. Sci., Professor; kolankov@pgups.ru

УДК: 69.04.

Сокорнов А. А., Давиденко Е. М.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОБАВОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА ТОННЕЛЬ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При выполнении оценки влияния наземного строительства на подземные сооружения метрополитена методом конечных элементов серьезным вопросом является степень детализации моделируемых объектов. Цель данного исследования заключалась в сравнении двух методов моделирования плитно-свайных фундаментов зданий. В первом методе в плоской постановке свайное поле заменяется условным фундаментом, по подошве которого прикладывается нагрузка, во втором методе в объемной постановке моделируется каждая свая фундамента. По результатам исследования было установлено, что значение добавочного давления на обделку тоннеля, определенного по первому методу в плоской постановке, оказывается выше, чем при детальном моделировании плитно-свайного фундамента в объемной постановке, и может приниматься в запас прочности.

Ключевые слова: добавочное давление, тоннель, метрополитен, метод конечных элементов, свайный фундамент.

A.A. Sokornov, E.M. Davidenko

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

THE ADDITIONAL PRESSURE DETERMINATION ON THE TUNNEL FROM THE PILE FOUNDATION BY THE FINITE ELEMENT METHOD

When assessing the impact of surface construction on underground subway structures by the finite element method, the value of simulated objects detailing is a serious issue. The purpose of this study was to compare two methods of modeling slab-pile building foundations. In the first method, in a 2D setting, the pile field is replaced by a conditional foundation, along the bottom of which a load is applied, in the second method, each pile of the foundation is modeled in a 3D setting. According to the results of the study, it was found that the value of the additional pressure on the tunnel lining, determined by the first method in a 2D setting, turns out to be higher than detailed modeling of a slab-pile foundation in a 3D setting, and can be taken as a safety margin.

Keywords: additional pressure, tunnel, subway, finite element method, pile foundation.

Введение

В условиях плотной городской застройки часто возникают ситуации, когда новое строительство затрагивает охранную зону метрополитена. В этом случае генеральный проектировщик предписывает выполнять обязательную оценку возможного влияния наземного строительства на сооружение метрополитена. Как правило, величина допустимого добавочного давления регламентируется в зависимости от типа сооружения. Так на обделку перегонного тоннеля добавочное давление допускается большим, чем на обделку станционного тоннеля, а на обделку эскалаторного тоннеля в некоторых случаях добавочное давление не допускается передавать совсем.

Большинство современных многоэтажных зданий возводятся на плитно-свайном фундаменте, в результате чего расстояние между зданием и подземным сооружением значительно сокращается. При выполнении оценки влияния наземного строительства на подземные сооружения метрополитена методом конечных элементов серьезным вопросом является степень детализации моделируемых объектов. В практике инженерных расчетов принято не моделировать здание целиком, ограничиваясь приложением равномерно распределенных нагрузок на фундаментную плиту. В то же время необходимость моделирования подземного сооружения подтверждена ранее выполненными исследованиями [1], то есть нельзя просто выполнить оценку изменения напряжений в грунтовом массиве, не моделируя при этом конструкции подземных сооружений.

Основной сложностью при выполнении подобных расчетов является моделирование свай в составе фундаментов зданий, особенно если рассматривается многоэтажный жилой комплекс на густом свайном поле.

Цель данного исследования заключалась в сравнении двух методов расчета. В первом методе в плоской постановке свайное поле заменяется условным фундаментом, по подошве которого прикладывается нагрузка. Во втором методе в объемной постановке моделируется каждая свая фундамента. Следует отметить, что современные нормы регламентируют выполнять расчеты именно в пространственной постановке (СП 120.13330.2022 «Метрополитены», п. 5.26.2). Вместе с тем, по мнению авторов исследования, в ряде случаев такое требование может оказаться избыточным при сравнительно больших затратах времени расчетчика.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнялись на математических моделях, построенных в расчетном комплексе MIDAS GTS NX, основанном на методе конечных элементов. Данный комплекс уже не первый год используется в научной деятель-

ности кафедры, а результаты математического моделирования в ряде исследований имели высокую сходимость с натурой [2–4].

Для каждого исследования строились отдельные конечно-элементные модели грунтового массива, вмещающего фундамент здания и обделку перегонного тоннеля метрополитена.

Грунтовой массив и расположенные в нем конструкции разбивались на сеть конечных элементов, на боковых границах моделей устанавливались ограничения в виде запрета горизонтальных перемещений, на нижних границах – в виде запрета вертикальных перемещений.

Для описания физико-механических свойств конечных элементов, моделирующих грунтовой массив, применялась модель Мора-Кулона. Для описания физико-механических свойств конечных элементов, моделирующих строительные конструкции, применялась линейно деформируемая модель.

Для каждой модели задавалась одинаковая стадийность расчета. На первом этапе расчета рассматривался однородный грунтовой массив для создания начального поля напряжений, при этом конечным элементам, моделирующим конструкции, присваивались характеристики грунта. По результатам расчета первого этапа все перемещения обнулялись. На втором этапе расчета моделировалось сооружение перегонного тоннеля.

Как было показано в предыдущих исследованиях [5], на величину *добавочного* давления не оказывает влияние способ моделирования проходки тоннеля (активация конечных элементов обделки в напряженном массиве или расчет с учетом начальных деформаций незакрепленной выработки [6]). Поэтому на данном этапе расчета из работы выключались конечные элементы выемки (грунта внутри тоннеля), а конечным элементам обделки присваивались характеристики железобетона. На третьем этапе моделировалось сооружение здания путем включения в работу нагрузки по подошве условного фундамента либо путем присвоения элементам плитно-свайного фундамента соответствующих характеристик.

Добавочное давление определялось как разница горного давления на свод обделки тоннеля между третьим и вторым этапом расчета.

Моделирование нагрузки от здания как равномерно-распределенной от условного фундамента в плоской постановке

При создании плоских моделей здания отобразить свайное поле корректным образом невозможно, поскольку при моделировании ряда свай, находящегося в плоскости модели, даже при назначении толщины модели равной толщине свай, неминуемо теряется компонента силы трения по боковой поверхности сваи в направлении, перпендикулярном плоскости модели. В этом случае единственно корректным вариантом будет рассмотрение задачи в пространственной постановке с моделированием свайного поля стержневыми или объемными элементами.

В качестве альтернативы можно рассмотреть вариант задания нагрузок как от условного фундамента здания в уровне обреза свай в соответствии с СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты».

Представление плитно-свайного фундамента условным позволяет вычислить равномерно-распределенное давление по подошве и приложить его непосредственно на грунт в моделируемом массиве.

Оценка допустимости такого подхода была выполнена при расчете возможного влияния шестнадцатизэтажного строящегося здания на перегонный тоннель метрополитена. Здание расположено в ~ 50 м от тоннеля, пройденного на глубине ~ 60 м.

В плоской постановке нагрузка от свайного поля здания прикладывалась по подошве условного фундамента (рисунки 1, 2). По результатам расчета дополнительное давление на обделку тоннеля составило $1,47$ т/м².

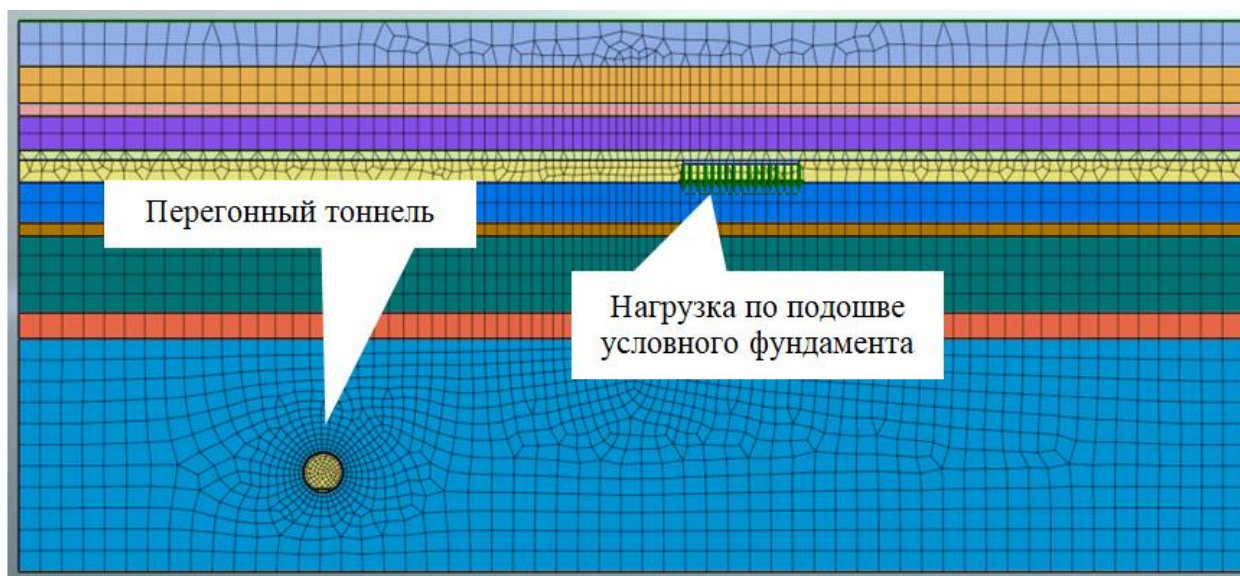


Рис. 1. Плоская конечно-элементная модель здания и перегонного тоннеля

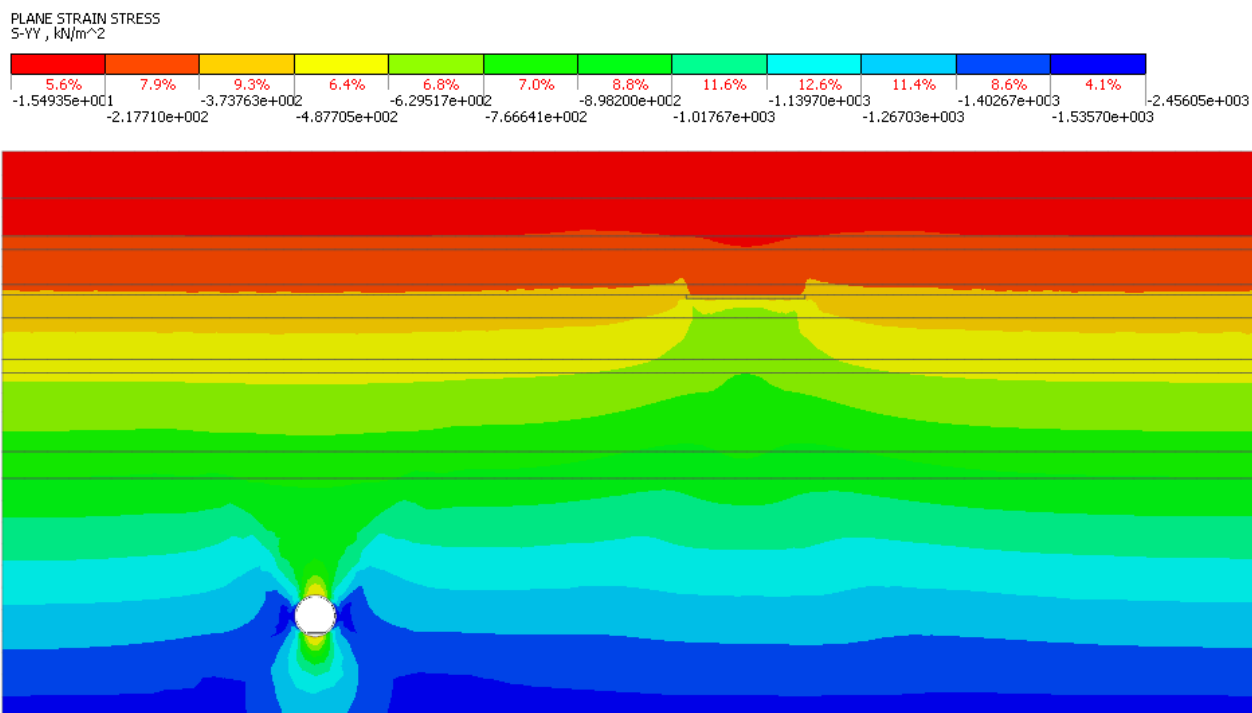


Рис. 2. Изополя вертикальных напряжений в массиве на третьем этапе расчета

Следует также отметить, что общее число конечных элементов в данной задаче составляет около 3 000, а время её расчета занимает чуть менее 30 секунд.

Моделирование плитносвайного фундамента в объемной постановке

Точно такая же задача была решена в пространственной постановке. В этом случае каждая свая была задана стержнем с интерфейсными элементами, моделирующими силы трения по боковой поверхности свай (рисунки 3–5).

По результатам расчета добавочное давление на обделку тоннеля составило от 0,50 до 0,57 т/м². Таким образом, было установлено, что более 60 % возможного добавочного давления распределяется в окружающий грунтовый массив за счет трения по боковой поверхности свай, а непосредственно на подошву условного массива в уровне образа свай передаются оставшиеся 40% нагрузки.

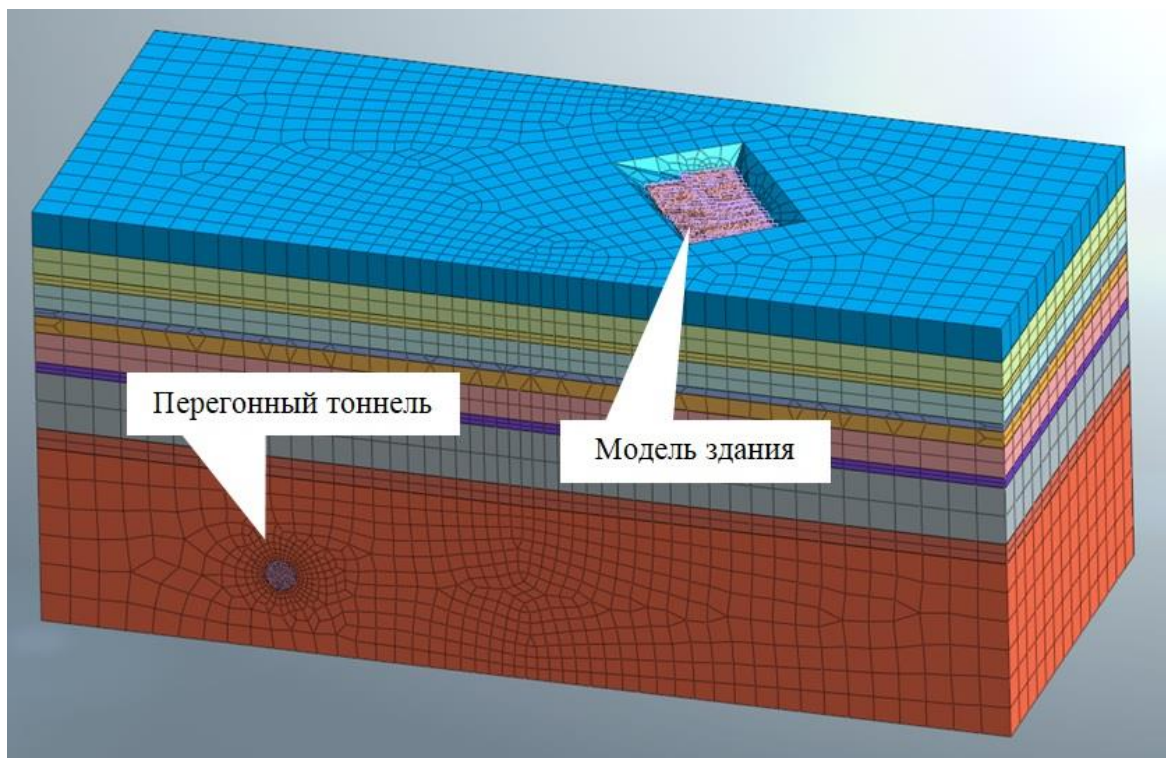


Рис. 3. Объемная конечно-элементная модель здания и перегонного тоннеля

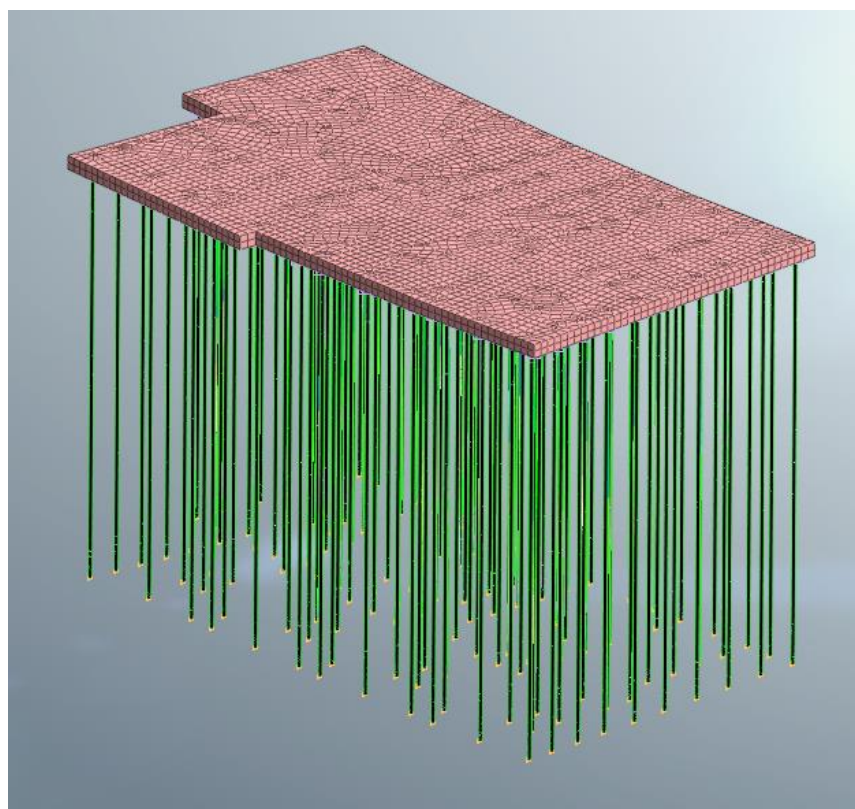


Рис. 4. Модель ростверка и свайного поля

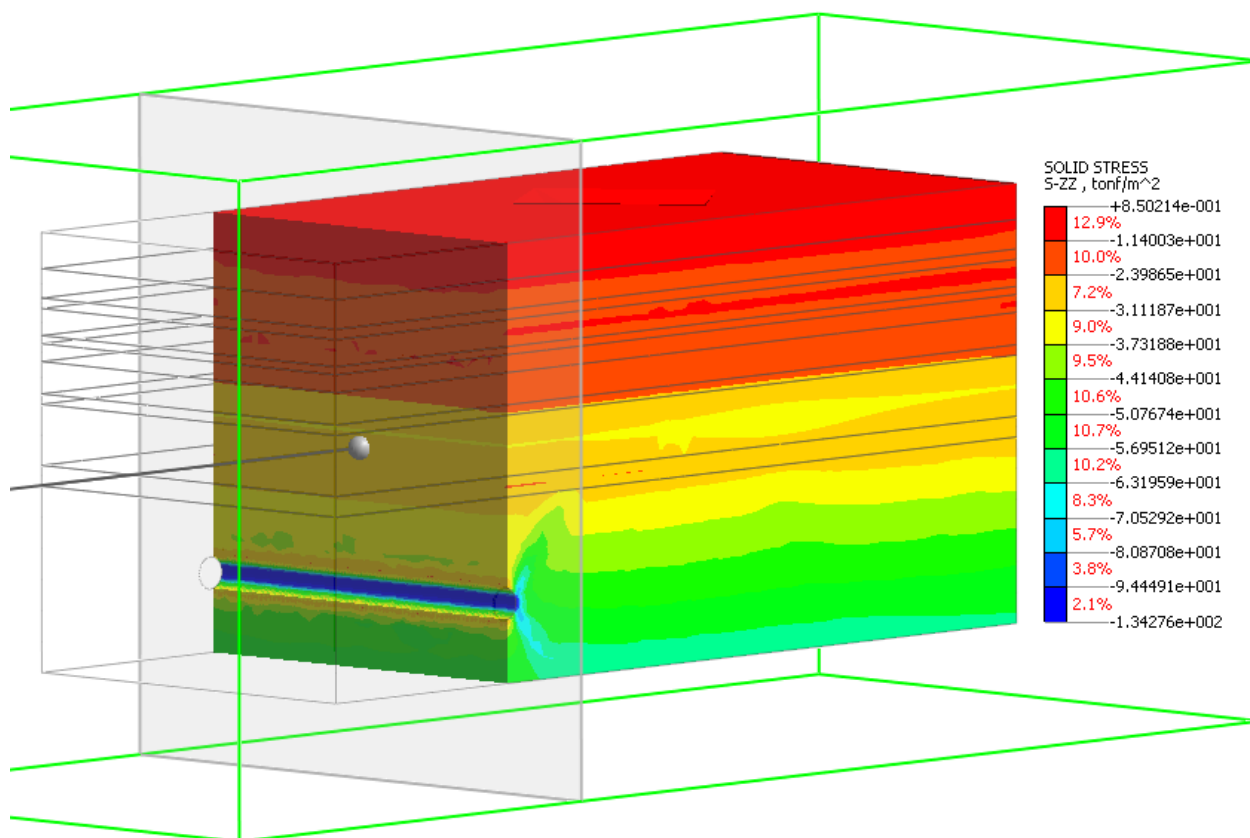


Рис. 5. Изополю вертикальных напряжений в массиве на третьем этапе расчета

Тем не менее, авторы исследования не рекомендуют принимать такие значения в качестве какого-либо расчетного коэффициента, поскольку в задачах данного типа следует учитывать много факторов: длину свай и площадь их боковой поверхности, частоту свай в кусте, ориентацию здания по отношению к тоннелю и т.д. Но можно сказать утвердительно, что расчет в плоской постановке завышает возможное добавочное давление и, следовательно, может выполняться в запас прочности.

Более того, создание объемной модели весьма трудоемко. Несмотря на то, что большую часть операций программный комплекс выполняет автоматически, построение геометрии модели, задание характеристик для каждой сваи, группировка элементов – все эти операции способны отнять много времени у проектировщика. Так в рассмотренной пространственной модели число конечных элементов превышает 180 000, а время расчета занимает более 5 минут.

Заключение

Одним из свойств математического моделирования является идеализация реальности, представление её в упрощенном виде с сохранением только тех ее аспектов, которые необходимы для непосредственного анализа в рамках поставленной задачи.

По результатам исследования было установлено, что при моделировании в плоской постановке плитно-свайных фундаментов зданий в виде условных фундаментов значение добавочного давления на обделку тоннеля оказывается выше, чем при детальном моделировании плитно-свайного фундамента в объемной постановке. Создание плоских моделей на начальном этапе оценки влияния позволяет оперативно корректировать проект наземного строительства, либо установить необходимость обследования технического состояния тоннеля и объема работ.

Список литературы

1. Факторы, влияющие на распределение добавочного давления на тоннели метрополитена от наземного строительства / А. А. Сокольников, А. Н. Коньков, А. Л. Новиков, А. В. Бенин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Том 19. – Вып. 2. – С. 367–377. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-367-377.
2. Фролов, Ю. С. Влияние методов поэтапного раскрытия выработки большого пролета на напряженно-деформированное состояние системы «крепь - грунтовый массив» / Ю. С. Фролов, Шэнь Цяофэн // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1 (48). – С. 73–83.
3. Фролов, Ю. С. Прогноз геомеханических процессов при сооружении станции метрополитена в скальных грунтах/ Ю. С. Фролов, Шэнь Цяофэн // Путевой навигатор. – 2020. – № 44 (70). – С. 50–60.
4. Ledyayev, A. Examination of the stress-strain state of service tunnels at the airport «Domodedovo»/ A. Ledyayev, V. Kavkazskiy, E. Davidenko// International scientific siberian transport forum TransSiberia. – 2021. TransSiberia 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 402. Springer, Cham. – 2022. –Volume 1. – P. 28–37.
5. Additional Pressure Distribution on Subway Tunnels from Ground Construction / Sokornov, A., Konkov, A., Novikov, A., Benin, A. // Civil and Environmental Engineering. – 2022. – Volume 18, Issue 1. – P.185-194.
6. Сокольников, А. А. Моделирование проходки тоннеля глубокого заложения в методе конечных элементов / А. А. Сокольников, А. Н. Коньков // Путевой навигатор. – 2022. – № 50 (76). – С. 36-44.

Контактная информация:

Сокольников Антон Александрович – ст. преподаватель; scarlunch@mail.ru
Давиденко Егор Михайлович – аспирант; davidenkoem@esprojectspb.ru

Author's information

Anton A. Sokornov – senior lecturer; scarlunch@mail.ru
Egor M. Davidenko – graduate student; davidenkoem@esprojectspb.ru

УДК 625.17

Андреев А. В.

Петербургский государственный университет путей сообщения
Санкт-Петербург, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА. СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК

В статье дается сравнительный анализ существующих методик по определению возвышения наружного рельса в кривом участке пути. Перед, непосредственно, сравнением методик демонстрируются алгоритмы определения возвышения наружного рельса для той или иной методики. В представляемых алгоритмах особое место занимает учет специализации пути. В двух из трех методик определение возвышения наружного рельса для высокоскоростных (скоростных) и пассажирских путей отличается от определения возвышения для особогрузонапряженных и грузовых путей. В выводе, кроме итогового сравнения, дается оценка методик с точки зрения учета в них нагрузок и деформаций, а значит и появления неисправностей, в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: возвышение наружного рельса, непогашенное ускорение, допустимая скорость поездов, допустимая скорость поездов.

A.V. Andreev

Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University, Saint Petersburg

DETERMINATION OF RAILWAY CURVE SUPERELEVATION. COMPARISON OF EXISTING METHODS

The article tells about a comparative analysis of existing methods for determining the railway curve superelevation. Before, directly, comparing the methods, algorithms for determining the railway curve superelevation for a particular method are demonstrated. In the presented algorithms, a special place is occupied by taking into account the specialization of the railway track. In two of the three methods, the definition of the railway curve superelevation for high-speed and passenger tracks differs from the definition of the railway curve superelevation for high traffic and freight tracks. In the conclusion, in addition to the final comparison, an assessment of the methods is given in terms of taking into account loads and deformations, and therefore the occurrence of failures, during operation.

Keywords: railway curve superelevation, non-compensated acceleration, maximum speed, admissible maximum speed

Введение

Вопросы определения возвышения наружного рельса, как указано в статье «Определение возвышения наружного рельса. История вопроса» [1] в нашей стране поднимались еще на стыке XIX-XX века. На сегодняшний день возвышение наружного рельса для путей общего пользования определяется исходя из Руководства [2] вступившего в силу в 2009 году. Наряду с методикой, указанной в Руководстве, существуют две немаловажные методики, утвержденные ОАО «РЖД». Перед сравнением существующих методик стоит более подробно остановиться на основных расчетных принципах этих методик.

Определение возвышения наружного рельса по Инструкции по текущему содержанию пути и Руководству по определению возвышения наружного рельса 2009 года

В настоящее время по Инструкции по текущему содержанию пути [3] по условиям обеспечения безопасности движения поездов номинальное значение максимального поперечного непогашенного ускорения, направленного наружу кривой (a_{nn}), не должно превышать $0,7 \text{ м/с}^2$ на уровне буксы подвижного состава.

Величина возвышения наружного рельса, обеспечивающая соблюдение этого условия для поезда, обладающего наибольшей скоростью, должна удовлетворять следующему неравенству:

$$h_{max\text{пасс}} \geq 12,5 \frac{v_{max\text{пасс}}^2}{R} - 115, \quad (1)$$

где: $v_{max\text{пасс}}$ – максимальная скорость движения пассажирских поездов, км/ч; R – радиус кривой, м.

На высокоскоростных (скоростных) и пассажирских линиях железных дорог с подвижным составом с улучшенными динамическими характеристиками, допускаемая величина a_{nn} может быть больше. Тем самым числовое значение минимального возвышения наружного рельса может меньше.

На особогрузонапряженных и грузовых путях (в том числе линиях со смещенным движением) наименьшее воздействие на путь в кривых, снижающее интенсивность расстройств и износа элементов пути, по Инструкции [3] происходит при a_{nn} близком к нулю (в диапазоне $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$) при средневзвешенной скорости движения грузовых поездов. Увеличение непогашенного ускорения в грузовых поездах более диапазона $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$ допускается при наличии соответствующего технико-экономического расчета.

Для этого при определении возвышения наружного рельса для особогрузонапряженных и грузовых участках наряду с выражением 1 используют следующие выражения:

$$h_{a_{nn}=0.3} \geq 12.5 \frac{v_{cp}^2}{R} - 50, \quad (2)$$

$$h_{a_{nn}=-0.3} \leq 12.5 \frac{v_{cp}^2}{R} + 50, \quad (3)$$

где: v_{cp} – средневзвешенная скорость движения грузовых поездов, взятая в зависимости от массы и скоростей подвижного состава, км/ч.

На основе выражений 1-3 в Инструкции [3] определяются возвышения. Рекомендуемые возвышения представляются в табличной форме в зависимости от радиуса и специализации пути. Также в таблицах указаны рекомендуемые допускаемые скорости пассажирских поездов (максимальная скорость) и грузовых поездов (максимальная и минимальная скорость). Даются значения непогашенных скоростей для этих скоростей, определенные по формуле:

$$a_{nn} \geq \frac{v_{maxnacc}^2}{13 \cdot R} - 0.00613 \cdot h \left(\frac{M^2}{c^2} \right). \quad (4)$$

Схожим образом предлагалось определять возвышение наружного рельса по Руководству по определению возвышения наружного рельса [2] в 2009 году.

Итоговое возвышение вычислялось на основе трех расчетных возвышений, зависящих от предельных допускаемых непогашенных ускорений: ограничения непогашенного ускорения из условий комфортабельности езды пассажиров – $0,7 \text{ м/с}^2$ (или больше для подвижного состава с улучшенными динамическими характеристиками – до 1,1), и условий не превышения непогашенного ускорения величины $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$ для предотвращения повышенного воздействия грузовых поездов на путь и значительного увеличения затрат на его содержание.

При расчете соответственно каждому ограничению непогашенных ускорений выводятся три неравенства, ограничивающие величину возвышения (максимальные и минимальные допускаемые возвышения). Первое неравенство, учитывающее максимальное допускаемое непогашенное ускорение $0,7 \text{ м/с}^2$, полностью соответствует выражению 1. Второе и третье неравенства выглядят следующим образом:

$$h_{max\text{ }gp} \geq 12.5 \frac{v_{max\text{ }gp}^2}{R} - 50, \quad (5)$$

$$h_{min\text{ }gp} \leq 12.5 \frac{v_{min\text{ }gp}^2}{R} + 50, \quad (6)$$

Где: $v_{maxгр}$, $v_{minгр}$ – максимальная и минимальная скорости движения грузовых поездов, км/ч.

В отличие от выражений 2 и 3 в выражениях 5 и 6 в числитель подставлены максимальные и минимальные скорости, а не средневзвешенные скорости грузовых поездов на участке.

Также существенным отличием между методиками определения возвышения наружного рельса является учет специализации линии. По Инструкции [3] специализации учитываются, а в Руководстве [2] – нет.

Также важным отличием является тот факт, что по Инструкции [3] рекомендуемое возвышение по сути зависит только от радиуса кривой и специализации. В Руководстве [2] же кроме радиуса большую роль играют максимальная и минимальная скорости движения грузовых поездов. Для их определения учитываются массы и скорости обращающихся поездов, производится статистический анализ. То есть методика в Руководстве [2] позволяет при одном и том же радиусе кривой иметь разные возвышения в зависимости от эксплуатационных характеристик подвижного состава.

По Руководству [2], как говорилось выше, расчетное возвышение определяется на основе трех неравенств (выражения 1, 5 и 6). При одновременном выполнении неравенств появляется диапазон значений возвышения наружного рельса, внутри которого и находится расчетное значение возвышения наружного рельса.

В конце концов итоговым расчетным возвышением считается минимальное в диапазоне, изображенном на рисунке 1.

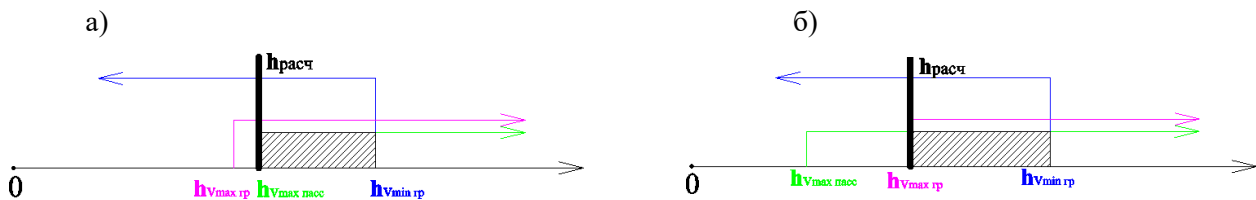


Рис. 1. Определение расчетного возвышения на основе существующей методике.

а) Определение расчетного возвышения в случае $h_{V_{max гр}} < h_{V_{max пасс}} < h_{V_{min гр}}$, б) Определение расчетного возвышения в случае $h_{V_{max пасс}} < h_{V_{max гр}} < h_{V_{min гр}}$

Если расчетного возвышения, которое бы находилось внутри диапазонов, указанных на рисунке 1, нельзя определить, то в этом случае скорости на участках ограничиваются.

Определение возвышения наружного рельса по Руководству по определению возвышения наружного рельса 2021 года

В Руководстве по определению возвышения наружного рельса 2021 года [4] также, как и в Руководстве [2], расчет производится на основе предельных зна-

чений непогашенных ускорений и скоростей движения поездов. В Руководстве [4] авторы разделяют понятие допускаемые и допустимые скорости движения поездов, ссылаясь на Распоряжение «О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм» [5] и Инструкцию по текущему содержанию пути [3].

Также в Руководстве [4], как и в Инструкции [3], отдельно расписано определение возвышения наружного рельса для особогрузонапряженных (грузовых) участков пути и высокоскоростных (скоростных) участков пути. Выражения по определению возвышения схожи с выражениями 1-3, 5 и 6.

По Руководству [4] допускаемой скоростью является скорость подвижного состава, установленная на основе конструктивных скоростей движения подвижного состава. Допустимой же скоростью будет скорость подвижного состава, устанавливаемая на основе тяговых расчетов.

Другими словами, допускаемая скорость будет являться установленной скоростью на участках, которая позволяет содержать путь и колесные пары подвижного состава без интенсивного нарастания остаточных деформаций (дефектов). То есть допускаемой скоростью является та же максимальная скорость, которая, к примеру, используются в выражении 1. Допустимая же скорость позволяет учитывать перемещение подвижного состава (разгоны и торможения) при прохождении по участку пути.

Как было сказано ранее, в новом Руководстве по определению возвышения наружного рельса, как и в Инструкции [3], методика определения возвышения наружного рельса зависит от специализации линии (группы пути). То есть на участках с преимущественно грузовым движением и особогрузонапряженных участках (Г и О) возвышения определяются не так, как на скоростных участках и участках с преимущественно пассажирским движением (С и П).

Для участков с преимущественно грузовым движением и особогрузонапряженных участков в Руководстве величина возвышения определяется из условия равномерного износа наружной и внутренней нити ($a_{нп}=0$ м/с²) при движении грузовых поездов с допустимой скоростью. В этом случае возвышение наружного рельса определяется по следующей формуле:

$$h = 12.5 \frac{v_{допустгр.}^2}{R} - 115, \quad (7)$$

где $v_{допустгр.}$ – допустимая скорость движения грузового подвижного состава, км/ч.

Скорости движения пассажирских поездов определяются по формуле:

$$v_{насс} = 13.6 \cdot \sqrt{R \cdot (a_{нп} + 0.00613 \cdot h)}. \quad (8)$$

При получении расчетных скоростей пассажирских поездов ниже допустимых величина возвышения должна быть пересчитана по условию движения грузовых поездов с $a_{\text{нп}} = -0,1 \text{ м/с}^2$.

Из условия движения грузовых поездов с $a_{\text{нп}} = -0,1 \text{ м/с}^2$ величина возвышения определяется по формуле:

$$h = 12,5 \frac{v_{\text{допугмзр.}}^2}{R} - (-0,1) \cdot 163. \quad (9)$$

На участках с преимущественно пассажирским движением и скоростных участках значения возвышения наружного рельса определяется по формуле:

$$h = 12,5 \frac{v_{\text{допугмпаcc.}}^2}{R} - 0,6 \cdot 163, \quad (10)$$

где $v_{\text{допугмпаcc.}}$ – допустимая скорость движения пассажирского подвижного состава, км/ч.

На таких путях величины скорости грузовых поездов $v_{\text{зр}}$ будут определяться следующим образом:

$$v_{\text{зр}} = 0,28 \cdot \sqrt{R(h + 20)}.$$

Результаты расчетов величин возвышения наружного рельса приведены в табличной форме в Руководстве по определению возвышения наружного рельса [4]. То есть итоговое значение возвышения наружного рельса по данной методике будет зависеть не только от радиуса и специализации линии (Инструкция [3]), но и от допустимой скорости на участке.

Более подробно о Руководстве по определению возвышения наружного рельса рассказывается в статье «Новые нормативы по устройству и содержанию кривых участков пути» [6].

Кроме возвышений наружного рельса, определяемого на основе специализации пути (группы пути), в Руководстве демонстрируются методики определения возвышения наружного рельса в местах действия постоянных ограничений скорости, на участках пригородного пассажирского движения, на участках с предлагаемым изменением режимов движения поезда.

Вывод

Новое Руководство по определению возвышения наружного рельса позволяет определять возвышения наружного рельса для различных условий эксплуатации и учитывать интенсивный износ рельсов с учетом тяговых расчетов и

конструкционных особенностей на участке. С помощью таблиц упрощает выбор оптимального возвышения наружного рельса. При этом в отличие от Руководства 2009 г. [2] не ограничивается только предельно допускаемыми непогашенными ускорениями и скоростями, позволяя находить более оптимальные решения. То есть Руководство по определению возвышения наружного рельса 2021 года [4] можно считать наиболее проработанной методикой по определению возвышения наружного рельса.

Но с другой стороны не Руководства 2009 и 2021 годов [2 и 4], не Инструкция по текущему содержанию пути [3] при учете конструкционных и тяговых особенностей на участке не учитывает технологический аспект. Кроме бокового износа на пути в течение межремонтного цикла появляются и другие неисправности, которые влияют на путь. Учет неисправностей и работ по устранению неисправностей также немаловажный аспект при выборе оптимального возвышения наружного рельса, который никак не отражен в существующих методиках.

Список литературы

1. Андреев А. В., Определение возвышения наружного рельса. История вопроса // Инфраструктура транспорта/ПГУПС. - СПб, 2021. –№ 2 (2). С. 52 – 58.
2. Временное руководство по определению возвышения наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых: ЦПТ-44/17, утв. ОАО «РЖД» 22.08.2009.
3. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р.
4. Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых на основе двухуровневой системы скоростей, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2021 №2897/р.
5. О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм, утвержденное распоряжением от 8 ноября 2016 г. N 2240р.
6. Певзнер В.О., Ваганова О.Н., Сидорова Е.А., Новые нормативы по устройству и содержанию кривых участков пути// Путь и путевое хозяйство. – 2022. - №3. – С. 2-5.

Контактная информация:

Андреев Андрей Викторович – ст. преподаватель; aandreev@pgups.ru

Author's information

Andrey Andreev – senior lecturer; aandreev@pgups.ru

УДК 625.142.42.001.24

Бекиш А. А.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

В статье анализируются результаты расчетов по определению напряженно-деформированного состояния типовой железобетонной шпалы Ш1 на различных стадиях ее эксплуатации в пути, полученные путем математического моделирования на компьютере с использованием специального программного комплекса. Выполненный анализ позволяет уточнить эффективность существующих и разработку новых конструкций железобетонных шпал.

Ключевые слова: железобетонные шпалы, напряженно-деформированное состояние шпал, изгибающие моменты, математическое моделирование на ЭВМ.

A. A Bekish

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

CALCULATING ASSESSING STATE OF STRESS-STRAIN THE REINFORCED CONCRETE SLEEPERS

The paper analyzes the results of calculations to determine the state of stress-strain a typical reinforced concrete sleeper Ш1 at various stages of its operation in railway track, obtained by mathematical modeling on a computer using a special software package. The performed analysis makes it possible to clarify the effectiveness of existing and the development of new structures reinforced concrete sleepers.

Keywords: reinforced concrete sleepers, state of stress-strain sleepers, bending moments, mathematical modeling on a computer.

1. Железобетонные шпалы – основной вид подрельсовых оснований на железных дорогах РФ

Шпалы являются основным видом подрельсовых оснований с момента появления первых железных дорог и до настоящего времени.

В пути шпалы работают в очень тяжелых условиях и должны выполнять целый ряд важных, необходимых для его надежной работы, функций. Чтобы выполнять указанные функции в полной мере шпалы должны обладать рядом необходимых для этого свойств, то есть должны удовлетворять ряду требований: иметь определенную конструкцию (геометрическую форму, размеры, вес), характеристики материалов, жесткость на изгиб, обладать необходимой прочно-

стью, высокой сопротивляемостью продольным и поперечным смещениям в балласте, производственной технологичностью (возможностью их массового производства), быть однородными и их применение должно быть экономически целесообразным.

В последние годы как на отечественных, так и на зарубежных железных дорогах все более широкое применение находят шпалы из железобетона. На железных дорогах СССР, а после его распада и ОАО «РЖД», доля главных путей на железобетонном подрельсовом основании составляла около 30% их общей развернутой длины. Такая ситуация сохранялась до середины 90-х годов прошлого столетия. Начиная с 1995 года и по настоящее время одним из основных направлений технической политики ОАО «РЖД» в области верхнего строения пути является перевод главных путей и стрелочных переводов на железобетонное подрельсовое основание. Протяжение главных путей с этими шпалами на сети железных дорог России в настоящее время составляет около 90% их развернутой длины. Таким образом, железобетонные шпалы являются преобладающим, основным видом шпал, применяемых на отечественных железных дорогах. Это обусловлено объективными причинами. Путь на железобетонных шпалах обладает рядом преимуществ по сравнению с другими, применявшимися ранее видами подрельсовых оснований и является прогрессивной конструкцией. Это подтверждается имеющимся отечественным и зарубежным опытом изготовления, укладки и эксплуатации этих конструкций.

На железных дорогах мира наиболее широко применяются два типа железобетонных шпал, которые принципиально различаются по конструкции и работе в пути [1]. Это цельнобрусковые или моноблочные и двухблочные шпалы.

В нашей стране первые опытные шпалы из предварительно напряженного железобетона были разработаны и изготовлены в 1947-1948 годах. С целью установления наиболее целесообразного типа железобетонных шпал для массового применения на железных дорогах СССР ЦНИИ МПС (сейчас ВНИИЖТ) были проведены сравнительные исследования различных типов отечественных и зарубежных железобетонных шпал. Анализ технико-экономических показателей, сравнительные лабораторные испытания, наблюдения за работой в пути показали, что наиболее совершенными для условий отечественных железных дорог являются цельнобрусковые струнобетонные (с арматурой из высокопрочной проволоки) шпалы.

На Юго-Западной железной дороге прошли эксплуатационную проверку также и двухблочные шпалы, но преимуществ их по сравнению с цельнобрусковыми выявлено не было. В условиях отечественных железных дорог с высокими осевыми нагрузками и большой грузонапряженностью применение двухблочных шпал было признано нецелесообразным.

Цельнобрусковые шпалы представляют собой монолитный брус из предварительно напряженного железобетона постоянного или переменного сечения и

являются наиболее распространенным типом железобетонных шпал на железных дорогах мира.

В 1956 году в СССР на основе накопленного опыта изготовления и эксплуатации струнобетонных шпал была разработана цельнобрусковая струнобетонная шпала С-56, принципиальные основы конструкции которой сохранились в современных стандартных шпалах. Таким образом на отечественных железных дорогах имеется опыт применения железобетонных шпал более 60 лет. В течение этого времени конструкция типовых шпал по мере накопления опыта их изготовления и эксплуатации совершенствовалась, дорабатывалась, но не претерпела принципиальных изменений. В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований, многолетних наблюдений за работой шпал в пути в нашей стране создана конструкция предварительно напряженной цельнобрусковой струнобетонной шпалы, имеющей высокую надежность и экономичность.

Согласно действующим нормативным документам [2, 3] в настоящее время на железных дорогах Российской Федерации применяются серийно или в порядке накопления широкого эксплуатационного опыта конструкции цельнобрусковых железобетонных шпал, различающиеся в основном типом применяемых промежуточных скреплений, а также видом и количеством напрягаемой арматуры. Причем, за основу конструкции железобетонных шпал, укладываемых с различными типами промежуточных скреплений, принята конструкция типовой шпалы Ш1, запроектированной под раздельное рельсовое скрепление КБ. Различаются же применяемые в настоящее время отечественные железобетонные шпалы в основном только конструкцией их подрельсовой части (формой, размерами, видом и количеством закладных деталей, расстоянием между отверстиями для крепежителей и т. д.), зависящей от типа используемых промежуточных скреплений.

2. Характеристика напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал при работе в пути

В пути от подвижного состава на железобетонные шпалы передаются динамические, многократно повторяющиеся нагрузки, изменяющиеся в широком диапазоне как по величине, так и по направлению, и, как следствие, в них возникают различные виды деформаций и напряжений. Шпалы подвергаются сжатию в зонах опирания на них рельсов, изгибу от реактивного отпора балластного основания и действию разнообразных климатических факторов, которые вызывают в теле шпал внутренние напряжения и деформации. Кроме этого, в процессе эксплуатации непрерывно изменяются условия опирания шпал на балластное основание.

При расчете на воздействие внешней (поездной) нагрузки железобетонная шпала традиционно рассматривается как балка, опирающаяся на упругое основание, реакция которого пропорциональна упругому прогибу балки. Напряжен-

но-деформированное состояние шпалы при работе в пути характеризуется величиной изгибающих моментов M от внешней нагрузки в ее сечениях, то есть эпюрой моментов M . Нагрузки на шпалу при эксплуатации, а, следовательно, и изгибающие моменты в ее расчетных сечениях разнообразны, имеют переменный циклический характер, а условия опирания шпал на балласт, как сказано выше, непрерывно изменяются. Это приводит к непрерывному изменению напряжений и деформаций в шпалах от воздействия поездов.

Для конкретного типа шпал изгибающие моменты от внешней нагрузки M зависят от величины и характера этой нагрузки, условий опирания шпалы на балласт и степени его уплотнения (величины коэффициента постели c). При одинаковых прочих условиях наибольшее влияние на величину моментов M в шпале и ее напряженно-деформированное состояние оказывает характер (вид) опирания шпалы на балластное основание, непрерывно изменяющийся в процессе эксплуатации и определяющий схему ее работы на изгиб.

В начальный период эксплуатации характер опирания шпалы на балласт зависит от планировки балластного основания перед укладкой пути. Чаще всего поверхность балластной призмы планируют с устройством небольшого углубления (канавки) по оси колеи. В этот период шпалы опираются на балласт подрельсовыми частями, а их середина либо совсем не опирается на балласт, либо ее опирание очень слабое. В пути под динамическими нагрузками в балластном слое под шпалой непрерывно накапливаются неравномерные остаточные деформации (концы шпал прогибаются больше, чем середина), балласт уплотняется и его распределение под шпалой изменяется. Шпалы постепенно начинают опираться на балласт средней частью, некоторое время опираются на балластное основание по всей длине, а в дальнейшем наблюдается ослабление плотности подбивки и отрясение их концов. При выправке пути с применением выправочно-подбивочных машин производится подбивка только подрельсовых частей шпал, что в значительной мере уменьшает или устраняет на некоторый период времени опирание их серединой на балласт.

Таким образом, шпала не имеет постоянной схемы работы в пути. В процессе эксплуатации (по мере наработки тоннажа) постепенно изменяется характер опирания шпалы на балластное основание, схема работы и, как следствие, величина изгибающих моментов в ее сечениях.

3. Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал методом математического моделирования на ЭВМ

Оценка и анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал имеют важное значение и необходимы для решения ряда задач. В первую очередь это необходимо для оценки их работоспособности, эксплуатационного ресурса, а также для определения направлений совершенствования конструкции, повышения надежности и экономичности шпал.

На рисунке показаны эпюры изгибающих моментов M в типовой шпале ШІ при различных схемах ее опирания на балласт от воздействия четырехосных

грузовых вагонов (осевая нагрузка 210 кН/ось при скорости 90 км/час в кривом участке пути $R \leq 1200$ м с рельсами Р65), полученные в результате выполненных в ПГУПС расчетов шпалы методом математического моделирования с использованием специального программного комплекса [4].

При этом усилия, передаваемые от рельса на шпалу, (вертикальная сила $P_{ш} = 85,49$ кН и изгибающий момент от действия боковой силы $M_{ш} = 4,77$ кНм) определены по правилам расчета пути на прочность, а коэффициент постели шпалы $c = 15 \cdot 10^4$ кН/м³.

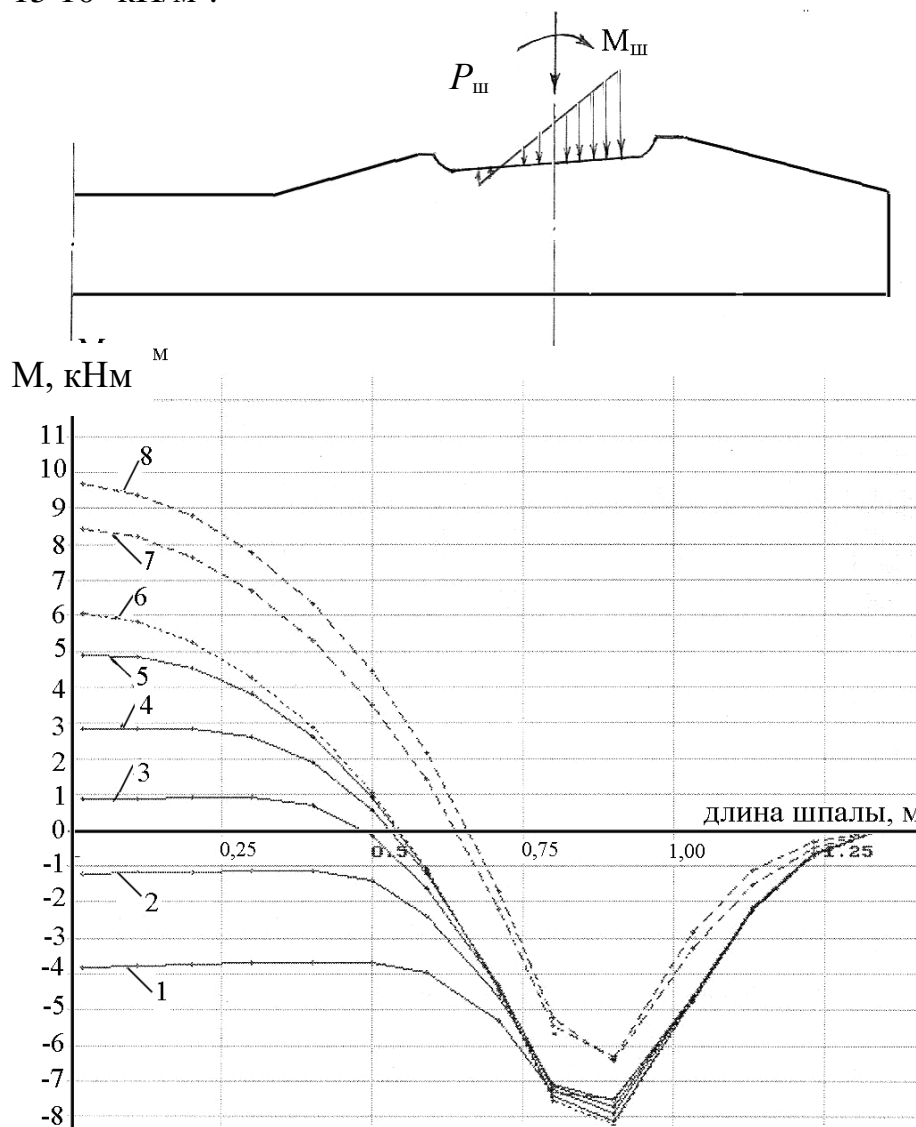


Рис. Эпюры изгибающих моментов в шпале Ш1 при различном характере ее опирания на балласт ($P_{ш} = 85,49$ кН, $M_{ш} = 4,77$ кНм, $c = 15 \cdot 10^4$ кН/м³):
 1–5 – опирание шпалы на балласт концами при длине свободной от опирания средней части, равной соответственно 1,05, 0,85, 0,65, 0,45 и 0,2 м;
 6 – опирание шпалы на балласт по всей длине;
 7, 8 – опирание шпалы на балласт серединой при отрясении ее концов на длине, равной соответственно 0,2 и 0,4 м

4. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал на различных стадиях их работы в пути

Из приведенных на рисунке эпюр видно, что при работе в пути наибольшие значения изгибающих моментов M возникают в сечениях посередине шпалы и посередине подрельсовой площадки, которые являются расчетными. Plusовые значения моментов M соответствуют направлению изгиба шпалы вверх, минусовые – изгибу вниз (растянута, соответственно, верхняя или нижняя зона сечения).

Видно, что в зависимости от условий опирания шпалы на балласт растянутой в среднем сечении может быть как верхняя, так и нижняя его зона, в подрельсовых – только нижняя. Если в подрельсовом сечении характер опирания шпал на балласт незначительно влияет на изменение величины положительного момента M , то в среднем сечении это влияние является весьма существенным. В этом сечении с увеличением длины свободной от опирания на балласт середины шпал изгибающий момент M из положительного переходит в отрицательный и, возрастая, может достигнуть такой величины, на которую шпала Ш1 не рассчитана.

Поэтому при укладке этих шпал в путь балластное основание планируют таким образом, чтобы длина неопирающейся на балласт средней части не превышала 60 см. Это позволяет предотвратить появление поперечных трещин на нижней постели средней части шпал и возможные их изломы в дальнейшем.

Наибольшие значения положительных изгибающих моментов M в средней части шпал, как видно из рисунка, возникают при опирании их серединой на балласт и отрясении концов. Очевидно, что даже минимальное отрясение концов шпал в пути и опирание серединой на балласт значительно ухудшает работу их средней части (может вызвать появление поперечных трещин на их верхней постели в этой зоне) и приводит к сокращению срока службы шпал.

Поэтому периодические выправки пути в процессе эксплуатации с подбивкой концов и подрельсовой зоны шпал улучшают условия их работы и продляют срок службы.

Для оценки работоспособности и эксплуатационного ресурса железобетонных шпал их силовые характеристики от воздействия поездной нагрузки (изгибающие моменты и др.) сравнивают с аналогичными предельными значениями, определенными по условиям прочности и трещиностойкости шпалы как железобетонной конструкции.

Выполненные исследования (расчеты, лабораторные испытания, многолетний опыт эксплуатации) по определению срока службы железобетонных шпал показали, что типовые отечественные шпалы обладают достаточным эксплуатационным ресурсом, чтобы использоваться в течение нескольких межремонтных сроков в главных путях и лишь затем перекладываться в малодеятельные и станционные пути. Многолетним опытом применения железобетонных шпал на железных дорогах страны (более 60 лет) подтверждается их высокая прочность,

долговечность и то, что после первого капитального ремонта большая их часть (около 98%) пригодна для дальнейшей работы в главных или станционных путях.

По мере накопления необходимого опыта проектирования, изготовления и эксплуатации применяемых железобетонных шпал определялись основные тенденции и перспективы развития, совершенствования их конструкции.

Указанный опыт, имеющийся в настоящее время в нашей стране и за рубежом, позволяет назвать некоторые существующие и перспективные тенденции развития конструкции железобетонных шпал.

Цельнобрусковые железобетонные шпалы имеют сложную геометрическую форму. Геометрическая форма и размеры шпал в значительной степени определяют характер их работы в пути под воздействием нагрузки от подвижного состава. Одним из перспективных направлений развития конструкции применяемых в настоящее время моноблочных железобетонных шпал является совершенствование их формы, создание шпалы с оптимальными геометрическими параметрами и универсальными свойствами, сочетающей в себе достоинства моноблочных и двухблочных шпал.

Для решения этой задачи необходимо применение современных методов расчета с использованием компьютерной техники при проектировании железобетонных шпал, а также совершенствование технологии их изготовления.

В частности, из приведенных на рисунке эпюр изгибающих моментов M видно, что при работе в пути в сечениях, расположенных на расстоянии 0,65 м от середины шпалы и далее до ее конца, от поездной нагрузки возникают только отрицательные значения изгибающих моментов M во всех случаях опирания на балласт и растянутой является только нижняя зона сечений.

Поэтому размещать предварительно-напряженную арматуру в верхней зоне сечений на указанном участке шпалы нецелесообразно, так как это приводит к увеличению здесь напряжений сжатия и к необходимости создавать излишний запас прочности. Это обстоятельство следует учитывать при разработке перспективных конструкций железобетонных шпал.

Заключение

Методика определения величины изгибающих моментов, возникающих в железобетонных шпалах на различных стадиях их работы в пути, с помощью математического моделирования на ЭВМ по специальным программам показывает хорошую сходимость с результатами эксплуатационного опыта и позволяет уточнить анализ эффективности существующих и разработку новых конструкций железобетонных шпал.

Список литературы

1. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев, Л. Г. Крысанов, В. В. Серебренников, В. Ф. Федулов; под ред. А. Ф. Золотарского. – М. : Транспорт, 1980.
2. ГОСТ 33320-2015. «Шпалы железобетонные для железных дорог. Общие технические условия». – М.: Стандартиформ, 2016. – 28 с.
3. Инструкция по ведению шпального хозяйства с железобетонными шпалами. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от «22» августа 2022 г. № 2183/р.
4. Ермаков В.М. Современные конструкции железобетонных шпал и промежуточных креплений для бесстыкового пути: учебное пособие / В.М. Ермаков, А.А. Бекиш. – СПб.:ПГУПС, 2009. – 100 с.

Контактная информация:

Бекеш Александр Александрович – канд. техн. наук, доцент; bekish52@mail.ru

Author's information

Alexander Bekish – PhD Eng. Sci., Associate Professor; bekish52@mail.ru

ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 625.1

Шварцфельд В.С.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

НОВЫЙ УЧЕБНИК «ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ»

В 2021 году в издательстве ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» вышел новый учебник «Изыскания и проектирование железных дорог». Автор учебника – Копыленко Владимир Абрамович – доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского государственного университета (МИИТ). Предназначен учебник для студентов специальности «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» высших учебных заведений. Учебник является законченной учебно-методической работой высокого уровня и может быть рекомендован к широкому использованию в учебном процессе и при проектировании новых железнодорожных линий, а также для переподготовки специалистов в области изысканий, проектирования и строительства железных дорог.

Ключевые слова: учебник, дисциплина «Изыскания и проектирование железных дорог», инфраструктура железнодорожной линии, план, продольных профиль, оптимальная схема овладения перевозками.

V.S. Shvartsfeld

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

THE NEW TEXTBOOK «RESEARCH AND DESIGN OF RAILWAYS»

In 2021, the publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution DPO "Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport" published a new textbook "Research and design of railways". The author of the textbook is Kopylenko Vladimir Abramovich, Associate Professor of the Department of Railway Design and Construction at the Russian State University (MIIT). The textbook is intended for students of the specialty "Construction of railways, bridges and transport tunnels" of higher educational institutions. The textbook is a completed educational and methodological work of a high level and can be recommended for wide use in the scientific process and in the design of new railway lines, as well as for retraining specialists in the field of research, design and construction of railways.

Keywords: textbook, discipline "Research and design of railways", railway line infrastructure, plan, longitudinal profile, optimal scheme of mastering transportation.

Предпоследнее и последнее издание учебника «Изыскания и проектирование железных дорог», предназначенного для студентов вузов по специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство», вышли из печати соответственно в 1979 и в 1989 гг. [1, 2, 3]. За прошедшие годы (31 год) произошли значительные изменения в области изысканий, проектирования и строительства железнодорожных линий, а также в системе высшего образования. Модернизация современного образования, переход на федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения (ФГОС) и укрупнение специальностей ставят перед отечественными педагогами новые задачи, одной из которых является создание учебников для новых укрупненных специальностей. Такой специальностью является специальность 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

Данная специальность сегодня имеет пять специализаций: «Строительство магистральных железных дорог», «Управление техническим состоянием железнодорожного пути», «Мосты», «Тоннели и метрополитены» и «Строительство дорог промышленного транспорта». Поэтому подготовка и издание учебника «Изыскания и проектирование железных дорог» по одноименной дисциплине, изучаемой студентами вышеперечисленных специализаций, является актуальной и более чем своевременной.

Учебник В.А. Копыленко «Изыскания и проектирование железных дорог» [4] включает в себя оглавление, предисловие, список сокращений, 15 глав, 2 приложения, список используемой литературы.

Объем учебного материала распределен между главами правильно. Учебник достаточно оригинален и не дублирует ранее вышедшие издания, имеются необходимые ссылки на современную нормативно-техническую и учебно-методическую литературу.

Актуальность подготовки учебника по дисциплине «Изыскания и проектирование железных дорог» для студентов специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» изложена в предисловии и не вызывает сомнений.

Содержание учебника соответствует рабочей программе, основным разделам изучаемой дисциплины и тематике, выполняемых обучающимися, практических и лабораторных работ, курсовых работ, курсовых и дипломных проектов, а также полностью соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования в части формирования соответствующих компетенций.

В первой главе «*Общие положения изысканий и проектирования железных дорог*» автор учебного издания изложил основные положения дисциплины «Изыскания и проектирование железных дорог» и перечислил основные задачи, которые решаются при производстве инженерных изысканий и проектировании железнодорожной инфраструктуры. Также большое внимание уделено железнодорожному транспорту и его роли в единой транспортной системе страны,

перспективам его развития.

Особо следует отметить изложение вопросов, связанных с инфраструктурой железных дорог и отдельных ее подсистем, необходимых для комплексного подхода к инженерным изысканиям и проектированию всего многообразия сооружений и устройств железнодорожных линий. В главе также рассмотрены основные показатели работы железных дорог, содержание и порядок разработки проектов, нормативные документы в проектировании, а также представлен раздел «Защита окружающей среды в проектах железных дорог».

Таким образом, первая глава позволяет сформировать у обучающихся соответствующий взгляд на железную дорогу, как на сложную техническую управляемую систему, перспективное развитие которой, во-первых, зависит от многочисленных внешних и внутренних факторов и, во-вторых, требует проведения комплексных изысканий и проектирования подсистем железнодорожной инфраструктуры в соответствии с современными нормативно-техническими документами.

Вторая глава «*Экономические изыскания*» посвящена вопросам определения перспективных объемов грузовых и пассажирских перевозок на железных дорогах, имеющих огромное значение для проектирования и эксплуатации железных дорог.

Перспективное прогнозирование грузопотоков и пассажиропотоков на сети железных дороги и на отдельных железнодорожных линиях напрямую связаны с их расчетной мощностью и, как следствие, с основными параметрами инфраструктуры, сметной стоимостью, эксплуатационными расходами и эффективностью работы железнодорожного транспорта.

В третьей «*Подвижной состав железных дорог. Сооружения и устройства локомотивного вагонного хозяйств. Электроснабжение железных дорог*», четвертой «*Тяговые расчеты в проектировании железных дорог*» и пятой «*График движения поездов. Пропускная и провозная способность железных дорог*» главах учебника В.А. Копыленко рассматривает вопросы, связанные с отдельными подсистемами железнодорожной инфраструктуры (локомотивное, вагонное хозяйство, хозяйство энергоснабжения), производством тяговых расчетов при электрической и тепловозной тяге, графиками движения поездов и определения пропускной и провозной способности.

Материал, изложенный в данных главах, способствует формированию у обучающихся базовых знаний, которые необходимы для проектирования отдельных подсистем железнодорожной инфраструктуры, назначения множества альтернатив и обоснования проектных решений.

Особо следует отметить, что автор учебника приводит характеристики современных типов грузовых локомотивов, в настоящее время поступающих для поездной работы на Российскую сеть железных дорог.

Шестая «*Проектирование плана и продольного профиля железных дорог*», седьмая «*Размещение и проектирование отдельных пунктов на железных до-*

рогах» и восьмая «Трассирование железных дорог» главы отражают теоретические и практические вопросы выбора направления трассы железной дороги, непосредственного проектирования плана и продольного профиля железнодорожных линий, размещения на трассе отдельных пунктов в соответствии с действующими нормативно-техническими документами в данной области.

Глава 10 «Изыскания и проектирование мостовых и тоннельных переходов через водные препятствия» и глава 11 «Проектирование малых водопропускных сооружений» посвящены размещению на трассе и выбору типов и отверстий малых водопропускных сооружений, проектированию мостовых переходов и тоннельных пересечений.

Представленный автором подробный материал в рассматриваемых главах заслуживает особой оценки и одобрения, так как в новую укрупненную специальность «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» входят специализации «Мосты» и «Тоннели и метрополитены».

Можно согласиться с автором в том, что при проектировании железнодорожной линии вопросы проектирования искусственных сооружений требуют детальной проработки, взаимной увязки решений, а в процессе их решения у обучающихся формируются проектные навыки и профессиональные компетенции.

В главе 12 «Технико-экономическое сравнение вариантов проектных решений» рассмотрены важные вопросы, связанные с необходимостью рассмотрения вариантов проектирования новой железнодорожной линии для принятия обоснованного решения на основе технико-экономического их сравнения.

В данной главе автором учебника приводятся показатели и критерии оценки экономической эффективности инвестиционных проектов, которые отсутствовали в предыдущих изданиях. К ним относятся чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности и срок окупаемости инвестиций.

Для практического использования критериев эффективности инвестиционных проектов рассмотрены различные методики определения капитальных вложений, эксплуатационных расходов и доход от эксплуатации железной дороги.

Впервые в учебнике «Изыскания и проектирование железных дорог» (глава 13 «Этапное наращивание мощности железных дорог») очень подробно рассмотрены вопросы по этапному увеличению пропускной и провозной способности новых железнодорожных линий. Достоинством данной главы является описание методики формирования оптимальной схемы этапного наращивания мощности железнодорожной линии, отсутствующей в предыдущем издании учебника.

В главе 15 «Технические изыскания при проектировании новых железнодорожных линий» автор раскрывает виды и содержание изыскательских работ,

дает описание инженерно-геологических, инженерно-гидрологических и инженерно-экологических работ на изысканиях новых железных дорог.

Следует отметить, что, по сравнению с ранее издававшимися изданиями, в нём дополнительно рассмотрены следующие важные вопросы:

1. Особенности проектирования высокоскоростных магистралей (глава 9).
2. Примеры проектных задач (глава 14).

Необходимо подчеркнуть имеющуюся положительную особенность данного издания в том, что В.А. Копыленко не только изложил базовые позиции, но и использовал свои научные исследования. В частности, в главе 14 «Этапное наращивание мощности железных дорог» впервые рассматриваются вопросы, связанные с учетом фактора неопределенности и риска при выборе варианта проектного решения. Основной акцент в рассмотренной части задачи сделан на оценке устойчивости состояний в схемах освоения перевозок.

Такой инновационный подход при обосновании проектных решений и неопределенности исходных данных в части перспективных объемов грузовых перевозок позволят обучающимся значительно расширить свои знания в данной области.

Материал всех глав изложен корректно и не встречает возражений. Иллюстрации, таблицы, формулы верны. Текст учебника соответствует иллюстрациям и тексту таблиц. Иллюстрации размещены правильно, их количество достаточно для понимания излагаемого материала. Заслуживает одобрения подход автора, который в отдельных главах не увлекается пересказом нормативного материала, что подчас встречается в научной и учебной литературе, а рассматривает нормы и правила с точки зрения их применимости на практике проектирования, иллюстрируя рисунками.

В качестве заключения можно отметить, что учебник является законченной учебно-методической работой высокого уровня и может быть рекомендован к широкому использованию в учебном процессе и при проектировании новых железнодорожных линий.

Рассматриваемый новый учебник «Изыскания и проектирование железных дорог» будет чрезвычайно полезен для подготовки квалифицированных специалистов в области изысканий, проектирования и строительства железных дорог.

Список литературы

1. Изыскания и проектирование железных дорог: учебник для вузов ж.-д. трансп. / А.В. Горринов, И.И. Кантор, А.П. Кондратченко, И.В. Турбин. – М. : Транспорт, том 1., 1979 – 319 с.
2. Изыскания и проектирование железных дорог: учебник для вузов ж.-д. трансп. / А.В. Горринов, И.И. Кантор, А.П. Кондратченко, И.В. Турбин. – М. : Транспорт, том 2., 1979 – 343 с.
3. Изыскания и проектирование железных дорог : учебник для вузов ж.-д. трансп. / И.В. Турбин, А.В. Гавриленко, И.И. Кантор [и др.]; под ред. И.В. Турбина. – М. : Транспорт, 1989. – 479 с.

4. Копыленко, В. А. Изыскания и проектирование железных дорог : учебник / В. А. Копыленко ; ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 689 с.

Контактная информация:

Шварцфельд Вячеслав Семенович – д-р техн. наук, проф.; v_s_s_@mail.ru

Author's information

Viacheslav Shvartsfeld – D. of Sci. in Tech. Sci., Professor; v_s_s_@mail.ru

УДК 625.1

Скутин А.И., Скутин Д.А., Мыльникова М.А.

Уральский государственный университет путей сообщения

ВЛИЯНИЕ ТИПОВ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ НА ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ В ПОЕЗДЕ

В статье рассматриваются особенности проектирования и строительства железных дорог с учетом обеспечения более благоприятных условий движения поезда. Приведена методика оценки влияния продольного профиля на величину суммарных продольных усилий в поезде.

Ключевые слова: продольный профиль, алгебраическая разность смежных уклонов, продольные усилия в поезде.

Skutin A.I., Skutin D.A., Mylnikova M.A.

Ural State University of Railway Transport

THE INFLUENCE OF THE TYPES OF LONGITUDINAL PROFILES ON THE LONGITUDINAL FORCES IN THE TRAIN

The article discusses the features of the design and construction of railways, taking into account the provision of more favorable conditions for train movement. The method of estimating the effect of the longitudinal profile on the value of the total longitudinal forces in the train is given.

Keywords: longitudinal profile, algebraic difference of adjacent slopes, longitudinal forces in the train.

При проектировании продольного профиля железных дорог в качестве важнейшего критерия используется минимизация объемов земляных работ и искусственных сооружений [1]. Исходя из этого, считается целесообразным проектировать продольный профиль короткими элементами различной крутизны соответственно очертанию поверхности земли по направлению линии. Однако при этом возникают существенные эксплуатационные недостатки. При движении поезда по дороге с короткими элементами профиля различной крутизны возникают дополнительные сопротивления от уклонов. В результате этого при значительной разнице в уклонах элементов нарушается плавность движения, так как появляются дополнительные силы сопротивления различной направленности. Для обеспечения более благоприятных условий движения поезда продольный профиль пути следует проектировать элементами возможно большей длины при наименьшей алгебраической разности смежных уклонов.

Далее будем оперировать понятием усилий, которые определяются действием продольных сил на единицу веса поезда.

На величину суммарных продольных усилий в поезде оказывают влияние не только отдельные переломы, а общее очертание профиля под поездом [2]. При движении длинного поезда он может находиться одновременно на выпук-

лом и вогнутом (или наоборот) переломах профиля. В этом случае в поезде возникают знакопеременные продольные усилия нередко ударного характера. Чем длиннее поезд, тем больше такие суммарные воздействия.

Продольные усилия, возникающие в автосцепках поездов, в местах переломов продольного профиля можно выразить в виде [3]:

$$\Delta_j = |i_j - i_{j-1}| \quad j = 2, \dots, n, \quad (1)$$

где i_j – уклон j -го элемента продольного профиля; n – количество элементов продольного профиля.

Для поезда, движущегося по участку железной дороги, следует определять следующие параметры:

1. суммарные усилия в автосцепках на всем участке

$$\Delta_{max} = \sum \Delta_j. \quad (2)$$

2. средние усилия в автосцепке

$$\Delta_{средн} = \frac{\sum \Delta_j}{n-2}. \quad (3)$$

3. средние усилия в автосцепке, приходящиеся на один километр

$$\Delta_{1км} = \frac{\sum \Delta_j}{l}, \quad (4)$$

где l – длина участка;

4. средние усилия в автосцепке, приходящиеся на один поезд

$$\Delta_{поезд} = \frac{\sum \Delta_j}{N}, \quad (5)$$

где N – количество расчетных позиций при движении поезда по участку.

Предлагаемая методика определения продольных усилий в автосцепках поездов опробована в учебном процессе при выполнении курсовой работы по дисциплине «Реконструкция и усиление железнодорожной инфраструктуры» в Уральском государственном университете путей сообщения.

На рисунке 1 приведен пример появления динамических усилий в автосцепках поезда при движении по существующему и проектному профилям железной дороги. С целью выявления влияния типов продольных профилей на динамические усилия в автосцепках рассмотрены три типа профилей:

вариант 1 – реально существующий профиль до начала работ по капитальному ремонту пути;

вариант 2 – профиль, запроектированный по традиционной технологии;

вариант 3 – профиль, запроектированный по принципу минимизации суммарных продольных усилий в поезде.

В примере, показанном на рисунке, сделаны построения для первых двух вариантов.

При определении параметров суммарных продольных сил рассматривается движение поездов различной длины (300, 600 и 900 метров) по продольным профилям. Получаемые результаты исследований удобно анализировать, сведя их в таблицу.

Таблица – Параметры продольных усилий в поезде

№ п/п	Показатели	Типы продольных профилей								
		Вариант 1 (исходный)			Вариант 2 (проектный)			Вариант 3 (утрированный)		
		Длина поезда, м								
		300	600	900	300	600	900	300	600	900
1	Средний уклон продольного профиля									
2	Суммарные усилия в автосцепках на всем участке Δ_{max}									
3	Средние усилия в автосцепке $\Delta_{средн}$									
4	Средние усилия в автосцепке, приходящиеся на один километр $\Delta_{1км}$									
5	Средние усилия в автосцепке, приходящиеся на один поезд $\Delta_{поезд}$									

Существует несколько причин, не позволяющих реализовать высокие скорости, одной из которых является то, что профили реально существующих линий имеют сложные очертания с многочисленными переломами, обусловленными стремлением вписаться в рельеф местности. Настало время пересмотреть взгляды на то, каким должен быть профиль: экономичным при строительстве или позволяющим реализовать высокие скорости движения поездов.

Многочисленные расчеты, которые проводились совместно со студентами очной и заочной форм обучения в течении трех лет, позволили сделать главный вывод о том, что движение поездов по «пологим профилям» приводит к снижению суммарных продольных усилий в три-пять раз.

Список литературы

1. Копыленко В. А. Изыскания и проектирование железных дорог. – Москва: УМЦ ЖДТ, 2021. – 689 с. – ISBN 978-5-907206-83-0
2. Скутин А. И., Касимов М. А. Особенности проектирования ВСМ для пассажирского движения в условиях Урала // Инновационный транспорт. 2019. № 3 (33). – с. 46-50. ISSN 2311164X
3. Скутин А. И. Реконструкция продольного профиля железной дороги для скоростного движения. – Екатеринбург: Издательство УрГУПС, 2020.

Контактная информация:

Скутин Александр Иванович – канд. техн. наук, доцент; askutin@usurt.ru
Скутин Дмитрий Александрович – канд. техн. наук, доцент; доц.; daskutin@mail.ru
Мыльникова Мария Александровна – канд. техн. наук, доцент; skutina_m_a@mail.ru

Author's information

Alexander Skutin – PhD Eng. Sci., Associate Professor; askutin@usurt.ru
Dmitry Skutin – PhD Eng. Sci., Associate Professor; daskutin@mail.ru
Maria Mylnikova – PhD Eng. Sci., Associate Professor; skutina_m_a@mail.ru

УДК 624.195

Кавказский В.Н., Моисеев Е.К., Тимофеев Н.С., Шапин В.В., Оленич Д.М.
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЯ ПОД ПЕРРОНОМ АЭРОПОРТА «ПУЛКОВО» МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В соответствии с концепцией развития железнодорожного узла города Санкт-Петербурга планируется полностью вывести грузовой железнодорожный транспорт из города и организовать пассажирское движение городских электропоездов. Одно из перспективнейших направлений развития линий городской железной дороги путем соединения аэропорта Пулково с периферийными районами города. В данной статье рассматривается вопрос физиче-

ского моделирования проходки железнодорожных тоннелей под перроном аэропорта методом эквивалентных материалов.

Ключевые слова: железнодорожный тоннель, горный способ, метод ADECO-RS, временное крепление выработки.

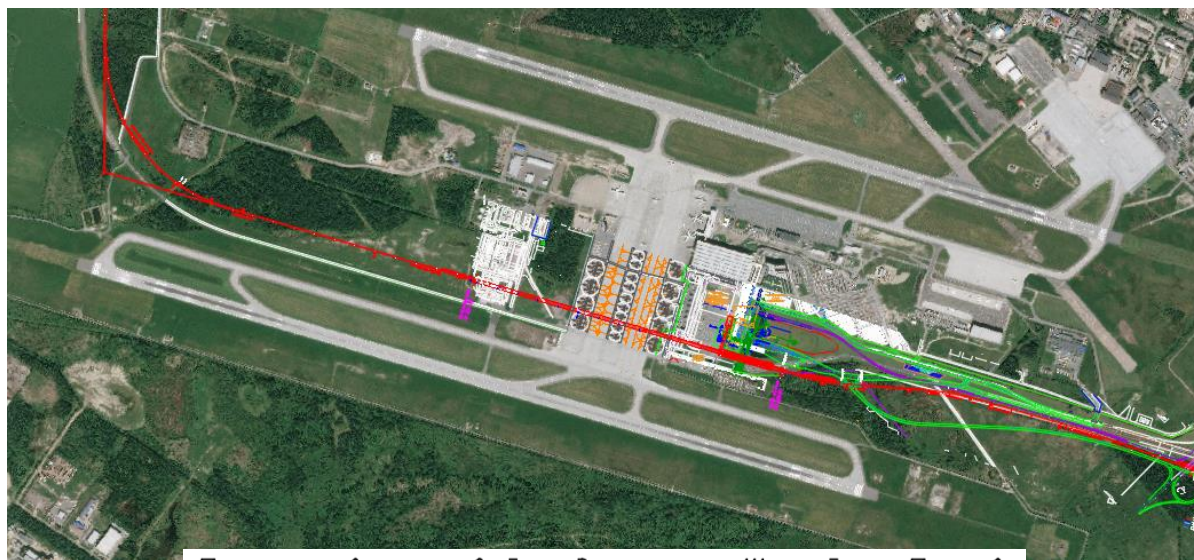
Kavkazskiy V.N., Moiseev E.K., Timofeev N.S., Shapin V.V., Olenich D.M.
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

PHYSICAL MODELING OF TUNNELING UNDER THE APRON OF PULKOVO AIRPORT BY A METHOD OF EQUIVALENT MATERIALS.

In accordance with the concept of development of the railway hub of St. Petersburg, it is planned to completely withdraw freight railway transport from the city and organise passenger traffic of city electric trains. One of the most promising directions for the development of urban railway lines is to connect Pulkovo airport with the peripheral areas of the city. This paper deals with the issue of physical modelling of railway tunneling under the airport apron by the method of equivalent materials.

Key words: railway tunnel, mining method, ADECO-RS, temporary fixing of excavation.

В настоящее время кафедра «Тоннели и метрополитены» проводит работы по моделированию технологии сооружения тоннелей под перроном аэропорта «Пулково». Данный проект предусматривает связь периферийных районов города Санкт-Петербурга с аэропортом. Для этих целей планируется ввод железнодорожной линии в инфраструктуру аэропорта в подземном варианте и проходкой под перроном аэропорта двух железнодорожных тоннелей (рис.1).



- *Проектирование новой ж.-д. линии ст. Шоссейная–Пулково*
- *Перспективное развитие ж.-д. линии*
- *Границы резервирования земель ОАО «РЖД»*
- *Проектные решения легкорельсового трамвая*
- *Проектные решения магистрали №9*

Рис. 1 План развития транспортной инфраструктуры в аэропорт «Пулково».

Тоннели запроектированы под перроном на глубине 20м до уровня головки рельса (УГВ), что позволило создать кровлю водонепроницаемых грунтов из глин. Основным условием прохождения через аэропорт является сохранность инфраструктуры аэропорта. Основной проблемой проходки тоннелей является влияние авиалайнеров на подземную выработку при проходке. В связи с этим был выбран в качестве основного варианта, малоосадочная технология сооружения тоннелей ADECO_RS (Analysis of Controlled Deformation in Rock and Soils). Метод позволяет свести к минимуму влияние на целостность перронного покрытия. Это обстоятельство требует проведение комплексного изучения этого вопроса включая математическое и физическое моделирование. Однако математическое моделирование требует подтверждение полученных результатов методом физического моделирования.

Физическое моделирование является методом экспериментального моделирования. Изучение различных физических объектов и моделей, основанных на использовании модели, имеющей ту же физическую природу, что и изучаемый объект. Для изучения новых конструктивных и технологических решений, принимаемых в подземном строительстве наибольшее распространение, получил метод эквивалентных материалов.

Данный метод является трудоемким, продолжительным по времени, поэтому его применение требует весомого обоснования. Такими весомыми аргументами могут служить следующие обстоятельства:

1. Ограниченность применения математических методов описания явлений и требует больших расчетных мощностей.

2. Воспроизведение исследований физических явлений в целях эксперимента в натуральных условиях невозможно или требует серьезных финансовых затрат.

Физическое моделирование методом эквивалентных материалов основано на замене в модели естественных горных пород искусственными материалами с физико-механическими свойствами, которые в соответствии с принятым масштабом моделирования, находится в определенном соотношении с физико-механическими свойствами натуральных горных пород.

Целесообразность применения метода физического моделирования обоснована отсутствием методики оценки нагрузок и воздействий от воздушных судов.

Методика моделирования предполагает три основных этапа.

Первый этап подразумевает проходку тоннелей на глубину девять метров с применением опережающей временной крепи по периметру внешнего контура выработки из стержневых элементов. Данные элементы позволяют стабилизировать деформации кровли выработки до возведения арочной крепи. Общий вид стенда и графическое изображение конструкции временной крепи представлены на рисунке 2.

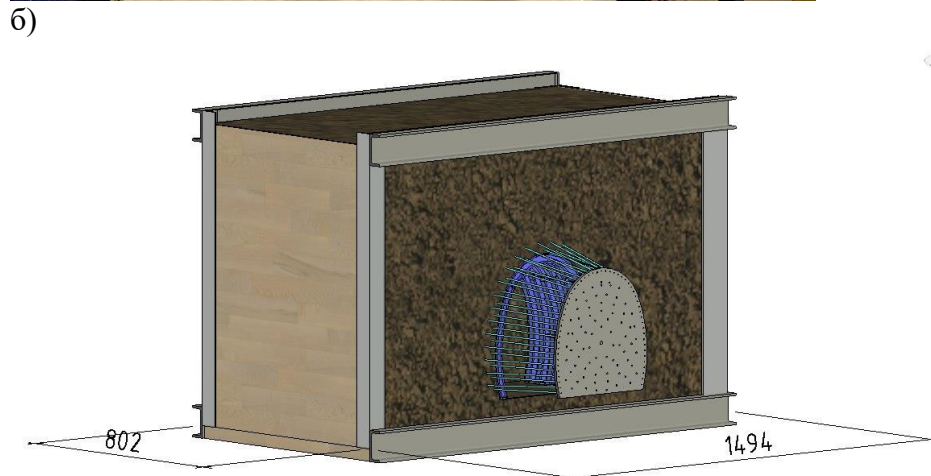


Рис. 2 Общий вид стенда модели железнодорожного тоннеля.
 а) готовый контур временной опережающей крепи;
 б) графическое изображение будущей модели.

На втором этапе предполагаются работы по устройству опережающего крепления лба забоя. Данные элементы позволяют стабилизировать деформации вертикальной плоскости лба забоя за счет армирования грунта.

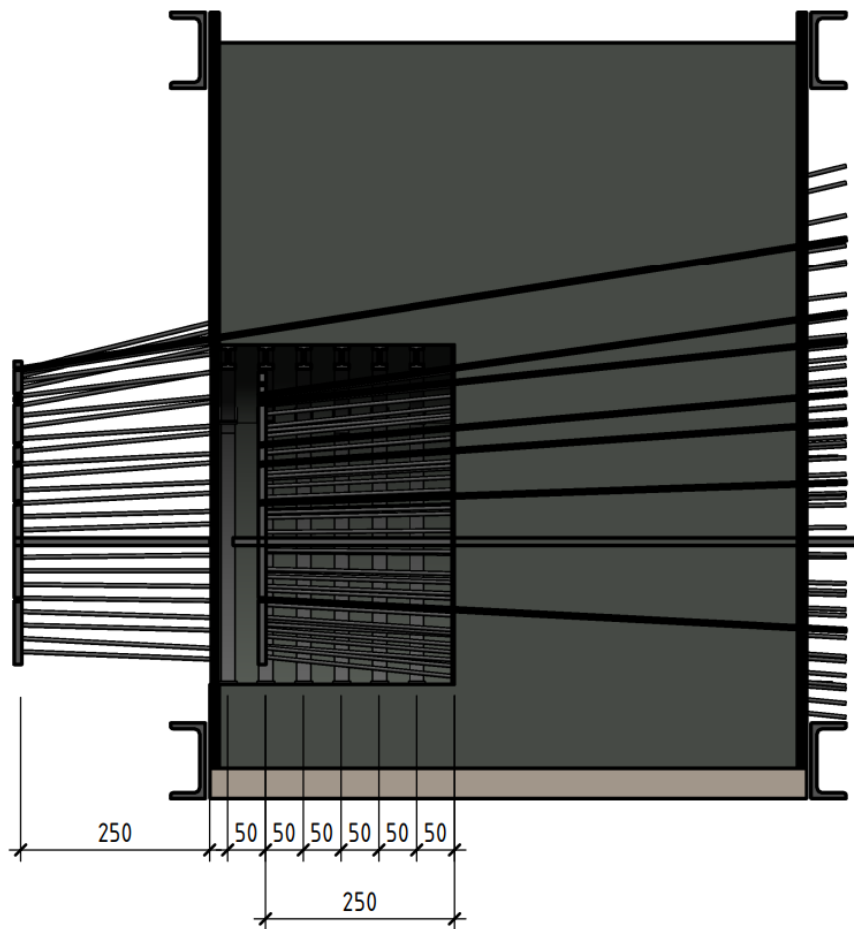


Рис. 3. Продольный разрез модели с расположением элементов временной крепи лба забоя.

На третьем этапе предполагается имитация загрузки модели нагрузкой от самолета на поверхности перрона. Данный этап позволит обосновать эффективность применяемой конструкции временной крепи и возможность производить работы по проходке тоннеля без нарушения работы аэропорта. В качестве нагрузки предполагается использовать нагрузку от самого крупного пассажирского воздушного судна Airbus 380 массой 592 тонны (в модели с учетом масштаба моделирования 1:20 нагрузка составит 29,6 тонны). Данная нагрузка распределяется через пятна контакта колес шасси, таким образом расчетная нагрузка на каждое колесо составит 35,2тонны (в модели 1,7 тонны). В модели используется нагрузка от четырех задних шасси на которые приходится 94% общей массы.

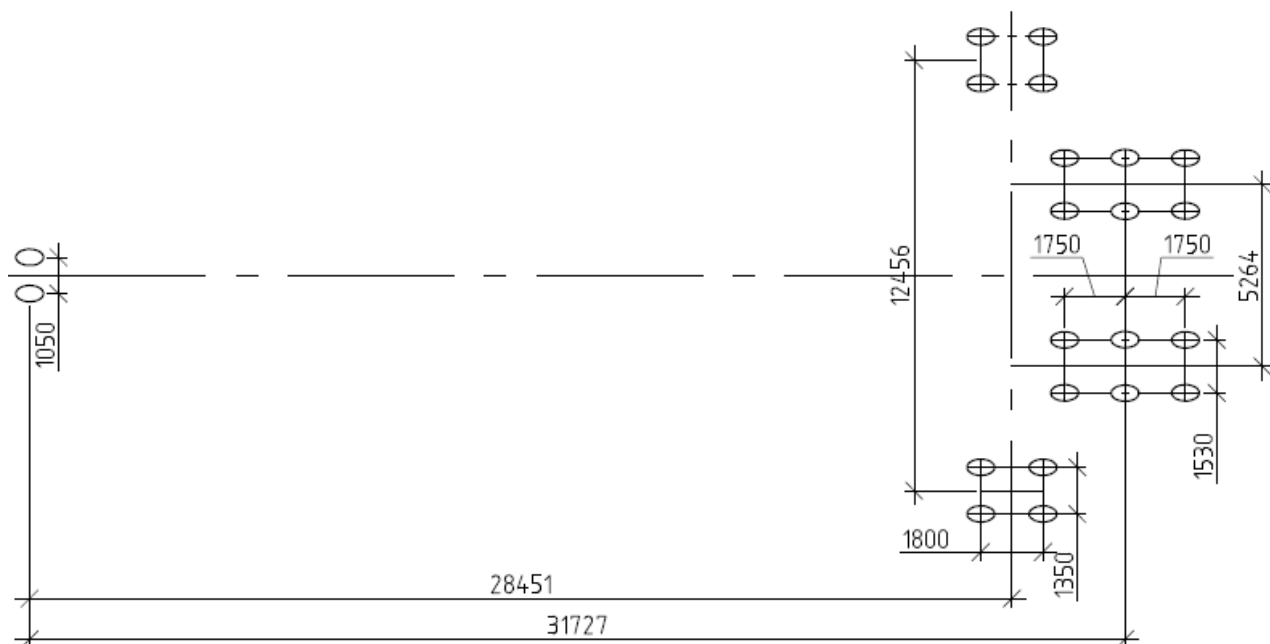


Рис.4. Схема расположения отпечатков колес А380.

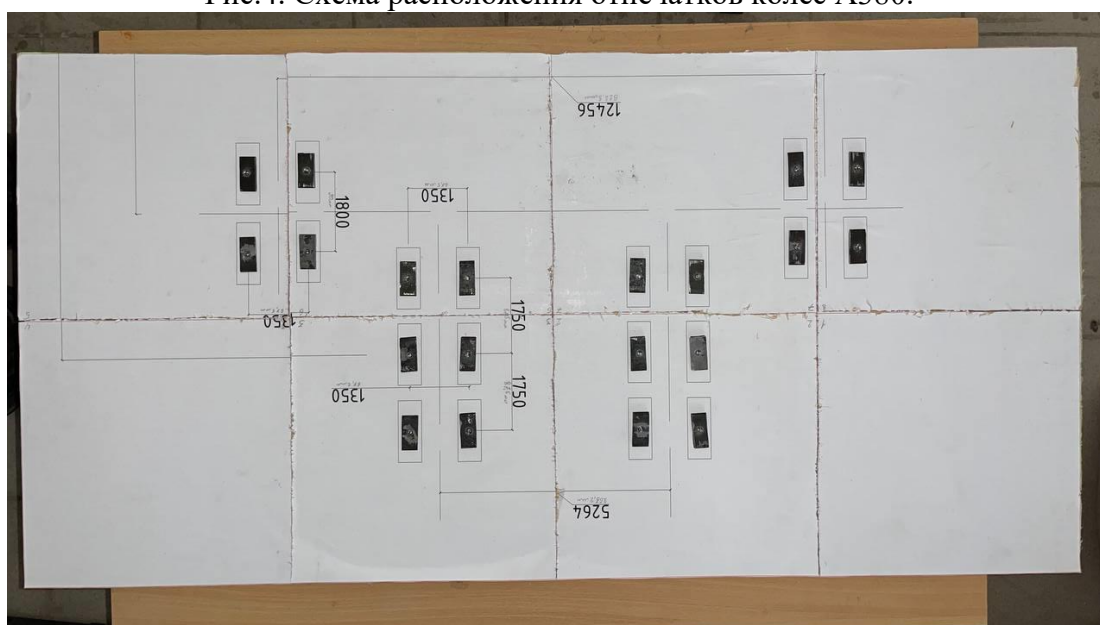


Рис.5. Схема расположения отпечатков колес А380 в модели.

В ходе выполнения моделирования были проведены подборы материалов для: грунта, арок, анкеров и набрызг-бетона.

Эквивалентными материалами для моделирования кембрийских глин использовались: солидол, просеянный песок и молотая слюда фракцией 0,1-0,5мм. По проведенным стабилметрическим испытаниям грунта, подобранный эквивалент был максимально близок по своим свойствам. По технологии смешивались просеянный песок и слюда, тщательно перемешанные миксером, с разогретым солидолом в печи. Вся смесь мешалась и разогревалась в печи до истечения 15 минут. После смесь выкладывалась на стенд. На стенде грунт

распределялся по площади и после раскатывался валиком определенной массы.

Арочная временная крепь изготовлены по технологии 3D печати в масштабе моделирования. Сечение арок подбиралось из условий соблюдения жесткости конструкции. Стыковка арок была принята в виде клея и скрепления на болты малого диаметра.



Рис. 6. Общий вид арок временной крепи изготовлены по технологии 3D печати.

Контурная опережающая временная крепь и крепь лба забоя из стекловолоконных труб моделировалась следующим образом. В соответствии с масштабом моделирования в качестве материала, удовлетворяющим по жесткостным характеристикам стекловолоконных труб, были приняты гибкие элементы из троса диаметром 1.2 мм. Основной проблемой при моделировании опережающей крепи из стекловолоконных труб является воспроизведение технологии цементации, которая обеспечивает плотный контакт. Воспроизвести процесс нагнетания в модели не представляется возможным, поэтому моделировались различные материалы для придания надежного сцепления с грунтом. Для создания подобного эффекта в модели было произведено три эксперимента с разными материалами заполнения:

Эксперимент № 1. В качестве связующего материала применялся эпоксидный клей. Данный материал отвечал всем необходимым требованиям, однако при проведении эксперимента хорошее сцепление обеспечивалось только в местах входа в модель грунта, что не отвечало требованиям эксперимента.



Рис. 7. Эксперимент моделирования контакта анкера с грунтом с применением эпоксидного клея.

Эксперимент № 2. Клей ПВА также не позволил обеспечить сцепления с материалом оплётки анкера и грунтом модели. Еще одной особенностью ПВА является его жидкое состояния, которое могло повлиять на характеристики грунта в модели, размягчив его.



Рис. 8 Эксперимент моделирования контакта анкера с грунтом применяя клей ПВА.

Эксперимент № 3. Противоскользящая лента, равномерно намотанная по периметру троса, показала наилучшее сцепление с грунтом. В ходе проверки на вырывание динамометром были получены результаты в 8 кг силы.



Рис. 9 Элементы временной крепи с намоткой из противоскользящей клейкой ленты.

Материал набрызг-бетона в модели подбирался в рамках двух экспериментов. Эксперименты проводились с применением гипсового раствора и жидкой резины.

Эксперимент №1. Гипсовый раствор был подобран из разных пропорций, которые состояли из: гипс строительный, вода и замедлителя реакции схватывания (лимонной кислоты). В ходе данного эксперимента были обнаружены недостатки гипсового раствора. Гипсовый раствор оказался слишком жидким и после выдержки в течении суток не давал должного результата. Грунт становился влажным и менял свои характеристики.



Рис. 10. Ингредиенты для моделирования материала набрызгбетона в модели.

Эксперимент №2. Жидкая резина в наилучшей степени удовлетворяет условиям данного испытания. Скорость схватывания около 5 минут, при этом она не оказывает негативного влияния на грунт, а образование пленки позволяет выявить начальные деформации моделируемого грунта без разрушения контура выработки.



Рис. 11. Общий вид экспериментального лотка с материалом эквивалентом с продавленным отверстиями разной глубины с нанесенным слоем жидкой резины.

Приборная база подразумевает применение различных типов датчиков и методов контроля.

Для контроля деформаций на поверхности грунтового массива на верхней поверхности модели установлены датчики-индикаторы часового типа (рис. 12).



Рис. 12. Индикаторы часового типа.

Для контроля деформаций элементов опережающей крепи применены индуктивные датчики перемещений (рис.13). Для контроля перемещений грун-

того массива, в эквивалент материала грунта вдоль стекла уложены маяки для фиксации их положения методом фотофиксации.



Рис.13. Общий вид задней стенки стенда с установленными датчиками индуктивного типа и реперами на стекле для фотофиксации.

Дополнительно для пространственного контроля перемещений конструкции и грунтового массива применен метод трехмерного лазерного сканирования портативным сканером и метод тахеометрической съемки по точкам, находящимся с торцевых и верхней сторон стенда. Внутри на арках расположены маркеры для измерения их просадки и деформации свода под нагрузкой грунта.

В настоящее время ведется подготовка модели для проходки тоннеля с последующим поэтапным нагружением нагрузкой от воздушного судна А380 с учетом масштаба моделирования. Проведенные работы по моделированию позволят обосновать предполагаемую технологию проходки и обеспечить безопасность работы аэропорта.

Список литературы

1. Голицынский Д.М., Свитин В.В., Соколов М.Ю., Иванес Т.В. Основы научных исследований. СПб.: ПГУПС. 1995, 64с.
2. Лиманов Ю.А. Осадки земной поверхности при сооружении тоннелей в кембрийских глинах. Л.: ЛИИЖТ, 1957, 239с.
3. Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Васильев Ю.И., Шклярский М.Ф., Юревич Г.Г. Моделирование проявлений горного давления. Л.: «Недра». 1968, 279с.
4. Афонин Д. А., Кавказский В. Н., Никитчин А. А. Оперативный геодезический контроль деформаций призабойной зоны при инновационных технологиях проходки туннелей.

Журнал: Известия петербургского университета путей сообщения том 19 № 3 , 2022, УДК 528.

5. Шелгунов О.О., Кавказский В.Н. Разработка и исследование конструктивного решения однопутного тоннеля для высокоскоростных железнодорожных магистралей с учетом аэродинамических процессов. Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today> 2022, №3, Том 9 / 2022, N 3, Vol. 9

6. Моисеев Е.К., Кавказский В.Н. Геотехническое обоснование сооружения двухпутного железнодорожного тоннеля в аэропорту Пулково. Сборник: Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в двух томах. – Том 1. 2023, ISBN 978-5-6050753-0-1

Контактная информация:

Кавказский Владимир Николаевич - канд. техн. наук, доцент; kavkazskiy_vn@mail.ru

Моисеев Евгений Константинович – аспирант; evgeny.moiseev@bk.ru

Тимофеев Никита Сергеевич – студент; timofeev.nik.serg@gmail.com

Шапин Владислав Викторович – студент;

Оленич Дмитрий Михайлович - аспирант; olen585@yandex.ru

Author's information

Kavkazskiy Vladimir – PhD Eng. Sci., Associate Professor; kavkazskiy_vn@mail.ru

Evgenii Moiseev – postgraduate student; evgeny.moiseev@bk.ru

Nikita Timofeev – student; timofeev.nik.serg@gmail.com

Vladislav Shapin – student; vlad.shapin.02@mail.ru

Olenich Dmitriy – postgraduate student; olen585@yandex.ru

УДК 624.1

Оленич Д.М.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПИЛОННОЙ СТАНЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Аннотация

В работе приводится исследование конструкции пилонной станции из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях г. Санкт-Петербург на примере планируемой станции Петербургского метрополитена «Черниговская» («Заставская») с применением физического моделирования методом эквивалентных материалов.

Данные, полученные по результатам физического моделирования, подвергаются верификации с натурными данными, полученными на объектах-аналогах Петербургского метрополитена.

В заключении приводятся выводы по результатам работы и разрабатываются соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: пилонная станция, монолитный железобетон, физическое моделирование методом эквивалентных материалов, Петербургский метрополитен

Olenich D.M.

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

A STUDY OF A PYLON STATION CONSTRUCTION FROM MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE IN THE ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF ST. PETERSBURG

The paper presents a study of a pylon station construction from monolithic reinforced concrete in the engineering and geological conditions of St. Petersburg on the example of the planned of the St. Petersburg metro station «Chernigovskaya» («Zastavskaya») using physical modeling by the method of equivalent materials.

The data obtained from the results of physical modeling are subject to verification with full-scale data obtained at analogous objects of St. Petersburg metro.

In conclusion, findings based on the results of the work are quoted and appropriate recommendations are given.

Keywords: pylon station, monolithic reinforced concrete, physical modeling by the method of equivalent materials, St. Petersburg metro

Введение

В последние годы в Санкт-Петербурге ведется активное строительство жилой и нежилой застройки. Увеличивающиеся пассажиропотоки в наибольшей степени приходится на метрополитен, как наиболее удобный и быстрый вид внеуличного городского транспорта. Таким образом, вопрос в его развитии становится особенно актуальным.

Так, на основании Постановления Правительства Санкт-Петербурга от 28.06.2011 г. №836 (в редакции постановления Правительства Санкт-Петербурга от 04.12.2018 г. №921), принята комплексная Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга на период 2017-2038 гг. (перспектива до 2048 г.), включающая развитие как уличного, так и внеуличного городского общественного транспорта (рис. 1).

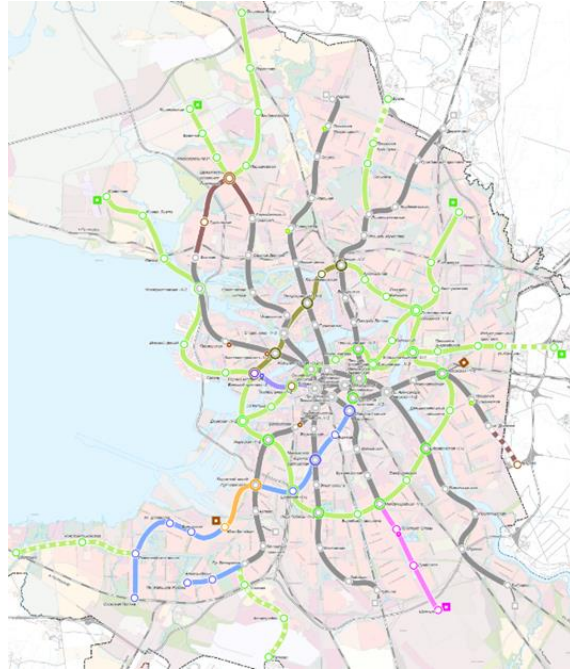


Рис. 1. Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга 2017-2038 гг. (перспектива до 2048 г.)

В настоящий момент работы по развитию метрополитена ведутся на двух направлениях:

- продление Лахтинско-Правобережной линии за ст. «Спасская»;
- строительство новой Красносельско-Калининской линии.

Наибольший интерес представляет строительство Красносельско-Калининской линии, в рамках 3-го этапа 1-го пускового участка которой запланировано строительство станции «Черниговская» («Заставская»), которая должна стать первой станцией глубокого заложения в Петербурге, полностью выполненной из монолитного железобетона (рис. 2).



Рис. 2. Проект станции «Черниговская» («Заставская») ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», версия 2011 года

Анализ конструктивных решений будущей станции

Планируемая станция метро «Черниговская» будет расположена в Московском районе г. Санкт-Петербург в зоне общественно-деловой застройки на пересечении со станцией метро «Московские ворота».

Станция «Черниговская» должна стать первой станцией глубокого заложения Петербургского метрополитена, полностью выполненной из монолитного железобетона. По своей конструктивной схеме станция будет пилонного типа, состоящая из трех выработок подковообразного сечения, соединенных между собой боковыми пассажирскими проходами.

Своды и стены тоннелей должны быть полностью выполнены из монолитного железобетона, а обратный свод – из сборных элементов. При этом, между лотковыми блоками будут расположены домкраты Фрейсине – это позволит ускорить процесс включения обратного свода в статическую работу всей конструкции станции и снизить возможность сдвига пят стен внутрь выработки (рис. 3).

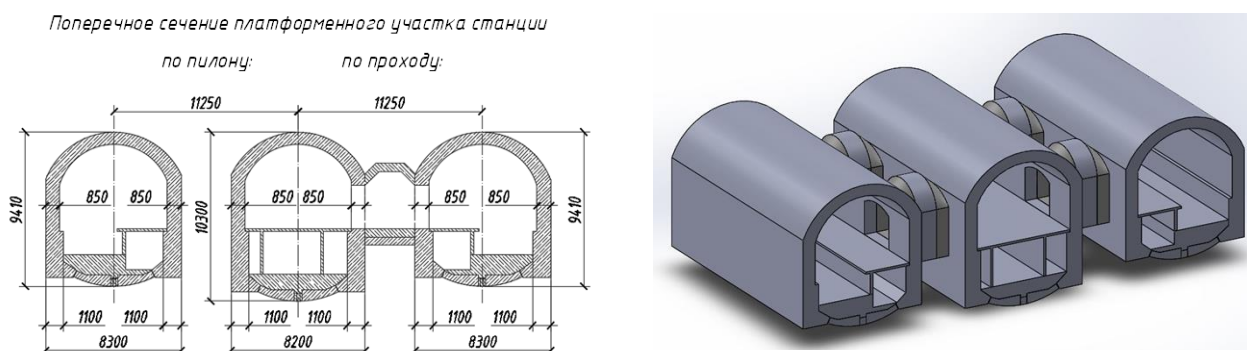


Рис. 3. Конструкция типового платформенного участка станции «Черниговская»

Физическое моделирование типового платформенного участка станции «Черниговская» методом эквивалентных материалов

Основание на выполнение работ по физическому моделированию

Любой новый вид технологии строительства необходимо обосновывать на математических и физических моделях. Так, в истории внедрения новых технологий в инженерно-геологических условиях г. Санкт-Петербург существует немало примеров подобного рода работ [1-11].

С целью обоснования конструктивно-технологических решений станции «Черниговская» («Заставская») было принято решение провести физическое моделирование конструкции станции методом эквивалентных материалов.

Основанием на выполнение работ по физическому моделированию является договор №171 на выполнение научно-исследовательских работ от 01.02.2014 г., заключенный между ОАО «Метрострой» (Заказчик) и ФГБОУ ВО ПГУПС (Исполнитель).

Состав и объем научно-исследовательских работ определен в соответствии с Приложением 1 к договору №171 от 01.02.2014 г. (Техническое задание).

Основная задача этой работы состояла в определении осадок дневной поверхности и деформаций конструкции станции от проектных нагрузок, а также нагрузок, превышающих проектные.

Моделирование станции было выполнено на большом гидравлическом стенде, установленном в лаборатории моделирования тоннелей на кафедре «Тоннели и метрополитены» ПГУПС (рис. 4).



Рис. 4. Большой стенд моделирования. Лаборатория моделирования тоннелей. Кафедра «Тоннели и метрополитены» ПГУПС

Общий вид стенда, габаритные размеры и принципиальная схема его работы представлены на рис. 5.

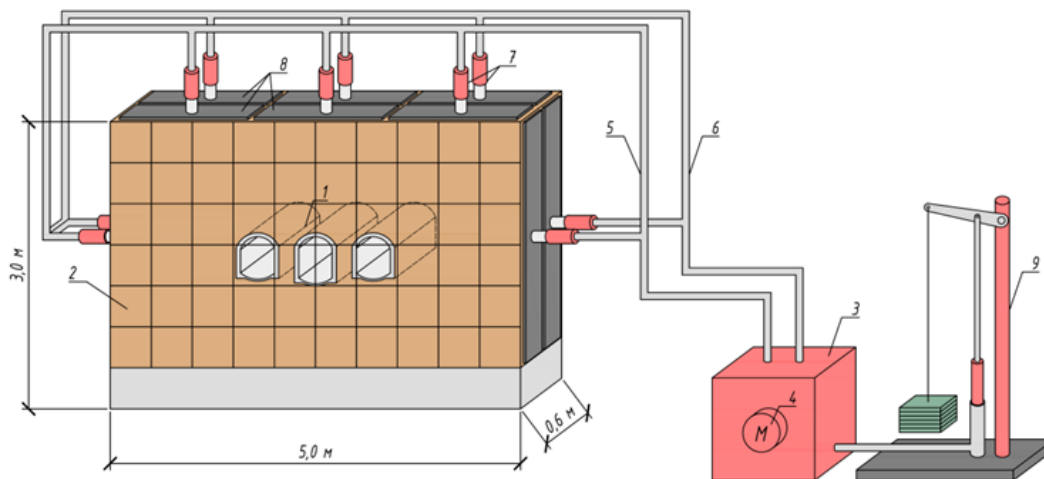


Рис. 5. Принципиальная схема испытательного стенда

1 – модель станции; 2 – стенд моделирования; 3 – рабочий резервуар; 4 – манометр; питающий трубопровод; 6 – отводящий трубопровод; 7 – рабочие гидроцилиндры; 8 – опорные плиты; 9 – гидравлическая система для создания необходимого давления в рабочем резервуаре

Подготовительные работы к физическому моделированию

Учитывая возможности стенда, масштаб моделирования был принят 1:20.

На этапе подготовительных работ первым шагом стал подбор эквивалентных материалов грунта и обделки тоннелей на основании теории механического подобия с учетом принятого масштабного коэффициента [12-13].

В качестве основных характеристик модели грунта-эквивалента были выбраны:

- модуль общей деформации E ;
- удельное сцепление C ;
- угол внутреннего трения φ ;
- коэффициент поперечного расширения ν .

По результатам серии стабилметрических испытаний в качестве модели протерозойской глины, в которой будет расположен стационарный комплекс, был принят материал-эквивалент, состоящий из смеси кварцевого песка, молотой слюды и технического вазелина в качестве связующего материала (рис. 6).



Рис. 6. Стабилометр типа «Б» и образцы эквивалентного материала до и после испытания

Расчетные и подобранные значения физико-механических характеристик материала-эквивалента протерозойской глины представлены в табл. 1.

Табл. 1. Физико-механические характеристики эквивалентного материала			
Наименование грунтов	Натура	В модели	
		Расчетные	Подобранные
Протерозойские глины	$E_H = 200 \text{ МПа}$ $C_H = 150 \text{ кПа}$ $\varphi_H = 22^\circ$ $\gamma_H = 2,23 \text{ Г/см}^3$	$E_M = 8,072 \text{ МПа}$ $C_M = 6,054 \text{ кПа}$ $\varphi_M = 22^\circ$ $\gamma_M = 1,80 \text{ Г/см}^3$	$E_H = 8,69 \text{ МПа}$ $C_H = 5,7 \text{ кПа}$ $\varphi_H = 21^\circ$ $\gamma_M = 1,83 \text{ Г/см}^3$

Материал-эквивалент обделки стационарных тоннелей подбирался путем опытных испытаний на основе смеси песка, гипса, молотой слюды и воды таким образом, чтобы он мог удовлетворять требованиям подобия по прочности и упругим деформациям.

Следующим шагом стало создание моделей грунтового массива и обделок стационарных тоннелей.

Монолитные сегменты моделей обделок стационарных тоннелей изготавливались в точном геометрическом подобии с проектными решениями с учетом масштаба моделирования из заранее выбранного материала-эквивалента (рис. 7).



Рис. 7. Процесс создания монолитных сегментов стационарных тоннелей

Процесс создания модели грунтового массива состоял из следующих основных этапов:

– На первом этапе материал-эквивалент протерозойской глины укладывался в стенд в разогретом состоянии послойно с последующей его укаткой;

– Следующим шагом было создание начального напряженного состояния модели грунта с помощью дополнительного пригруза, передаваемого на модель с помощью гидравлической системы домкратов. На данном этапе вертикальная нагрузка на будущую станцию с учетом собственного веса материала-эквивалента грунта и дополнительного пригруза составила 80% от проектной или $0,8\gamma h$. Этот шаг был необходим ввиду того, что моделирование грунтового массива проводилось не полностью, а лишь непосредственно вмещающего стационарный комплекс слоя протерозойских глин.

Далее, когда модели грунтового массива и обделок стационарных тоннелей были готовы, начался процесс моделирования проходки стационарных тоннелей (рис. 8).



Рис. 8. Процесс моделирования этапов проходки стационарных тоннелей

Моделирование сооружения платформенного участка станции проводилось в точном соответствии с условиями строительства станции и было разбито на 4 этапа:

- проходка и сооружение среднего стационарного тоннеля;
- проходка и сооружение правого бокового стационарного тоннеля;
- проходка и сооружение левого бокового стационарного тоннеля;
- раскрытие боковых проемов между стационарными тоннелями.

Для этого был специально изготовлен направляющий столик, с помощью которого сегменты тоннелей поочередно вдавливались в грунтовый массив домкратами с одновременной выемкой грунта из их внутренней поверхности.

Для определения контактных напряжений по внешнему контуру модели станции, а также для определения перемещений характерных точек стационарных тоннелей, применялась специально разработанная программа «Geolab» включающая в себя программный модуль, устанавливаемый на ПК, а также набор датчиков напряжений и перемещений.

Установка датчиков контактных напряжений проводилась в процессе вдавливания сегментов физической модели станции в грунтовый массив, а датчиков перемещений – уже после моделирования проходки станции (рис. 9).



Рис. 9. Процесс установки датчиков контактных напряжений и общий вид рабочего места испытательной станции

Для проверки результатов данных, полученных с помощью программного комплекса «Geolab», был применен метод фотофиксации осадок грунтового массива и контура обделок станционных тоннелей. С этой целью, на внутренней поверхности передней стенки стенда, выполненной из закаленного стекла, были установлены специальные метки, позволяющие следить за осадками грунтового массива. Смещение меток фиксировалось относительно реперных марок, закрепленных на наружной поверхности передней стенки стенда.

Результатом подготовительных работ стала физическая модель станции «Черниговская» («Заставская»), представленная на рис. 10.



Рис. 10. Физическая модель станции «Черниговская» перед началом испытания

Проведение физического моделирования

Испытание физической модели станции «Черниговская» («Заставская») проводилось в 5 этапов:

- на нагрузку $0,8\gamma h$;
- на нагрузку $1,2\gamma h$;
- на нагрузку $1,6\gamma h$;
- на нагрузку $2,0\gamma h$;
- на нагрузку $2,4\gamma h$.

Для создания необходимого напряженно-деформированного состояния модели грунтового массива применялась система вертикальных и горизонтальных гидравлических домкратов, соединенных в один замкнутый контур. Изменение величины нагрузки производилось путем создания дополнительного давления в гидравлической системе домкратов (рис. 11).



Рис. 11. Процесс испытания модели станции «Черниговская» методом эквивалентных материалов

Результаты физического моделирования

В ходе проведения физического моделирования станции «Черниговская» методом эквивалентных материалов были получены следующие результаты:

- смещения характерных точек обделки модели станции;
- вертикальные деформации модели станции;
- осадки модели грунтового массива.

Так, по показаниям датчиков перемещений, а также пластиковых маячков были определены смещения характерных точек обделки модели станции. Как видно, наибольшим смещениям подверглись верхние и нижние своды тоннелей. Помимо этого, ввиду значительного бокового давления грунта между средним и боковыми тоннелями, вертикальные стены получили прогибы внутрь конструкции станции, а крайние стены боковых тоннелей сместились в сторону грунта (рис. 12).

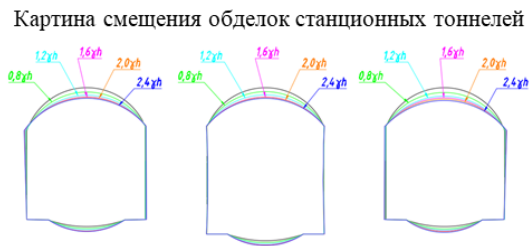
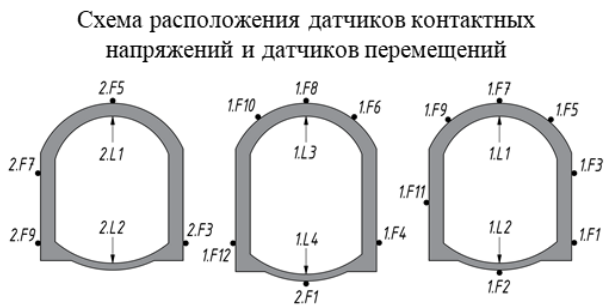


Рис. 12. Результаты смещения характерных точек обделки модели станции

На основании полученных данных были построены графики перемещений верхних и нижних сводов для каждого из трех станционных тоннелей, а также определены деформации модели станции, представляющие собой разницу перемещений верхних и нижних сводов для каждого из тоннелей в отдельности (рис. 13).

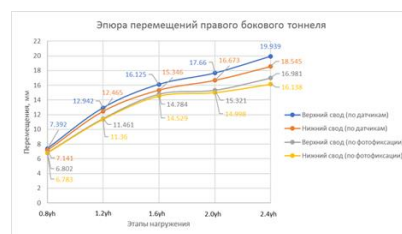
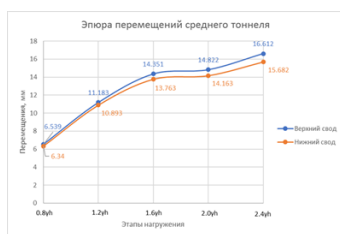
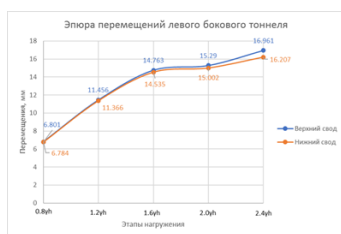


Рис. 13. Графики перемещений

По результатам фотофиксации была построена эпюра осадок дневной поверхности грунтового массива, вмещающего в себя станционные тоннели. Ниже представлено общее смещение станционных тоннелей относительно их первоначального положения, а также пример фотофиксации на одном из этапов моделирования (рис. 14).

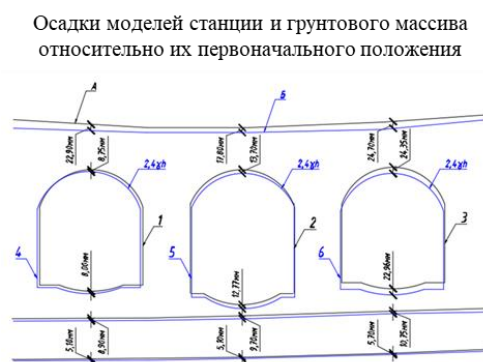
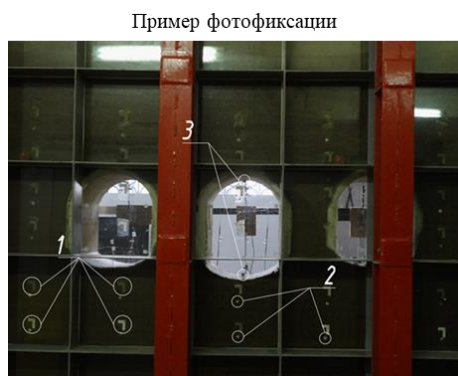


Рис. 14. Результаты фотофиксации

По результатам показаний датчиков контактных напряжений было определено давление грунта на станционные тоннели с целью возможной оценки его

напряженного состояния вблизи станции. На основании полученных данных на каждом из этапов моделирования была построена аппроксимированная картина распределения нормальных напряжений по наружному контуру обделок станционных тоннелей (рис. 15).

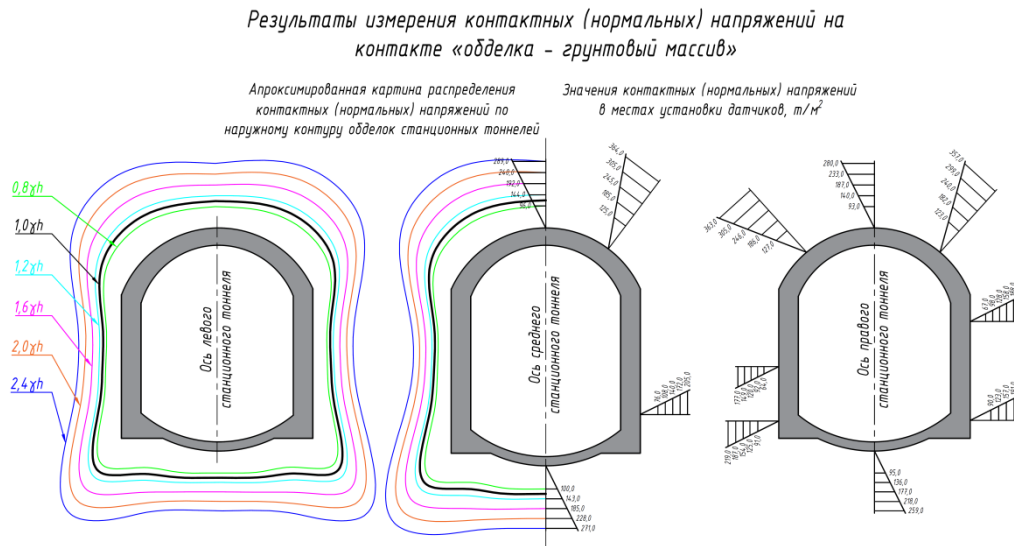


Рис. 15. Результаты показаний датчиков контактных напряжений

В процессе испытания модель конструкции станции показала себя достаточно жесткой и прочной, что в значительной степени повлияло на характер ее работы. Так, до конца II этапа (нагрузка $1,2\gamma h$) видимых дефектов и трещин в модели станции не наблюдалось. Однако, уже к концу III этапа (нагрузка $1,6\gamma h$) начали развиваться трещины в обделке модели станции. Первое их появление было отмечено в местах раскрытия боковых проходов в среднем станционном тоннеле. Далее, на IV этапе нагружения (нагрузка $2\gamma h$) трещины стали возникать в стенах и сводах обделки станции. К концу IV этапа трещины появились и в лотковой части тоннелей, при этом наиболее интенсивно их проявление было отмечено в боковых станционных тоннелях. На V этапе (нагрузка $2,4\gamma h$) модель станции разрушилась, что повлекло за собой значительные вертикальные деформации. При этом, разрушение конструкции произошло в лотковой части боковых станционных тоннелей, что объясняется значительной концентрацией растягивающих напряжений в этой области и подтверждает устройство обратного свода в реальной конструкции в виде сборного. Общий вид физической модели станции с нанесенными трещинами и дефектами и составленная на основании этих данных ведомость представлены на рис. 16.

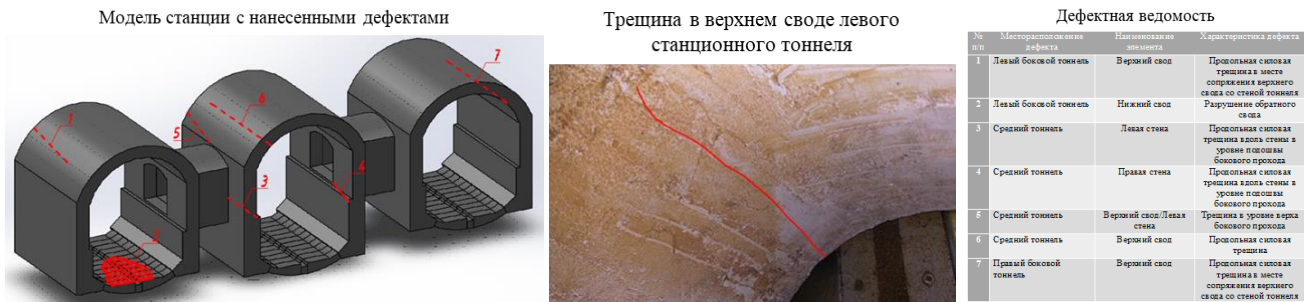


Рис. 16. Результаты визуального контроля за ходом испытания

Выводы по результатам физического моделирования

На основании полученных результатов физического моделирования можно сделать следующие выводы:

Конструкция станции «Черниговская» получилась достаточно жесткой, что подтверждается картиной ее деформируемости;

Вертикальные деформации станционных тоннелей от проектной нагрузки γh составили 7 и 5 мм соответственно для боковых и среднего тоннелей. При этом осадки дневной поверхности достигли в среднем 25 мм;

Поэтапное нагружение модели станции позволило получить смещение станционных тоннелей относительно их первоначального положения, которое составило в среднем 15 мм;

С учетом моделирования этапов проходки суммарные осадки дневной поверхности в среднем достигли значений 35 – 40 мм;

Апроксимированная картина распределения нормальных напряжений по наружному контуру обделок станционных тоннелей позволила получить напряженное состояние грунтового массива вблизи станции. Линейная интерполяция полученных данных для нагрузки γh позволила определить значения нагрузки, приходящей на станцию, в размере 120...125 т/м², что с высокой степенью сходимости сочетается с аналитическими результатами;

Наличие и характер развития трещин и дефектов в обделке модели станции говорит о недостаточной проработке ее конструктивных решений. Так, подковообразное сечение станционных тоннелей образует характерные зоны концентрации напряжений в местах резкого перелома формы нейтральной оси, а большая толщина обделки тоннелей приводит к повышенной жесткости ее конструкции. Разрушение обратного свода свидетельствует о значительном уровне растягивающих напряжений в этой области и подтверждает устройство обратного свода в реальной конструкции в виде сборного.

Верификация результатов физического моделирования с натурными данными по объектам-аналогам

При внедрении технологии строительства станции метрополитена глубокого заложения из монолитного железобетона в условиях Санкт-Петербурга помимо ряда задач, рассмотренных в данной работе, стоит отметить еще одну, заключающуюся в верификации полученных результатов на натуральных исследо-

ваниях. Так, значения деформаций станционных тоннелей, а также осадок дневной поверхности, полученные в ходе проведения физического моделирования методом эквивалентных материалов, следует сравнить с натурными данными по объектам, аналогичным по своим форме и размерам, глубине заложения, а также инженерно-геологическим условиям окружающего грунтового массива.

Таким образом, встала задача по поиску объектов-аналогов среди уже существующих, а также вновь сооружаемых станционных комплексов метрополитена Санкт-Петербурга. Анализ показал, что полностью аналогичными по заданным критериям подбора оказались конструкции натяжных камер современных строящихся станций метрополитена. Современные конструкции натяжных камер – выработки подковообразного сечения, своды и стены которых полностью выполнены из монолитного железобетона, а обратный свод – из сборных элементов. Как и в случае с планируемой станцией метрополитена «Черниговская» («Заставская»), в конструкцию сборного обратного свода включены домкраты Фрейсине – это позволяет ускорить процесс его включения в статическую работу всей конструкции станции и снизить возможность сдвига пят стен внутри выработки. Пример конструкции одной из таких камер представлен ниже.

Таким образом, были выбраны 3 объекта-аналога, принятые для дальнейшего рассмотрения и сравнения результатов.

В качестве сравниваемых результатов приняты такие величины, как:

- вертикальные деформации конструкций станции;
- осадки дневной поверхности.

Для объектов-аналогов осадки дневной поверхности принимались по отчетам наблюдательных станций за весь расчетный период наблюдения. Важной особенностью является и тот факт, что технология строительства, принятая в проекте производства работ для объектов-аналогов метрополитена, очень близка к последовательности работ при сооружении станционного комплекса «Черниговская» («Заставская»), что говорит о необходимой корреляции сравниваемых величин.

Графическое представление полученных деформаций в условном масштабе представлено на рис. 17.

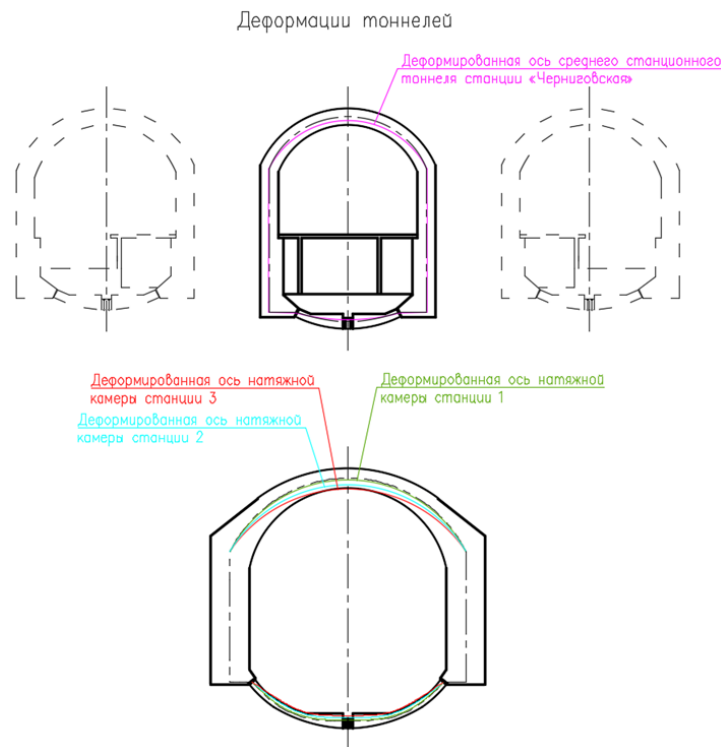


Рис. 17. Сравнение деформаций среднего станционного тоннеля станции «Черниговская» и объектов-аналогов

Для объектов-аналогов осадки дневной поверхности приняты в поперечном направлении в створе натяжной камеры. Сравнение результатов осадок дневной поверхности представлено на рис. 18.

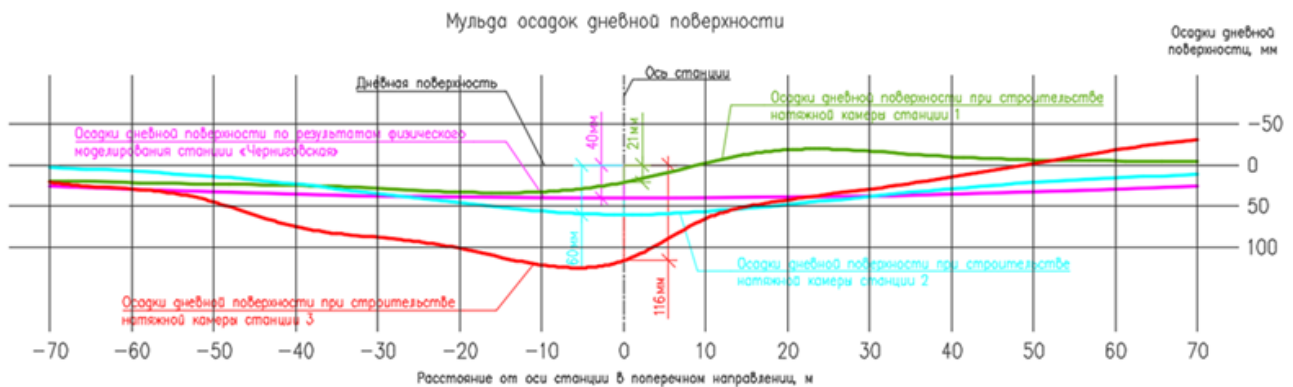


Рис. 18. Сравнение осадок дневной поверхности

Для удобства анализа результаты натуральных исследований отнесены к результатам физического моделирования в процентном соотношении. Как видно, натурные данные сильно варьируются, что обусловлено разницей в форме и размерах конструкций натяжных камер, их глубиной заложения, а также инженерно-геологическими условиями места строительства. Осреднив результаты натуральных исследований получим, что разность сравниваемых результатов составляет порядка:

- для вертикальных деформаций – 74 %;
- для осадок дневной поверхности – 64 %.

При этом, если отбросить результаты по объекту-аналогу №3, как сильно выбивающемуся из общей выборки данных, получим следующие разности результатов:

- для вертикальных деформаций – 16 %;
- для осадок дневной поверхности – 1,2 %.

Таким образом, при увеличении количества объектов-аналогов, значения разностей деформаций и осадок будут падать, приближаясь к результатам физического моделирования. Из этого следует, что при прочих равных условиях результаты, полученные в ходе физического моделирования и умноженные на масштаб моделирования, будут повторять натурные результаты для тех же самых условий строительства.

Сравнение осадок дневной поверхности и деформаций обделок, полученных с помощью физического моделирования методом эквивалентных материалов с данными натурных исследований на объектах-аналогах, показало высокую степень сходимости. Так, для вертикальных деформаций погрешность результатов составила порядка 16%, а для осадок дневной поверхности – 1,2%. Полученные результаты позволяют говорить об успешной верификации данных физического моделирования на основе натурных исследований реально существующих объектов-аналогов.

Разработка рекомендаций конструктивно-технологических решений станции «Черниговская» («Заставская»)

Одна из основных причин значительных осадок дневной поверхности при строительстве станций пилонного типа – несовершенство технологии работ по раскрытию боковых проходов (проемов), производимых маломеханизированными способами, преимущественно с применением ручного труда. Немаловажным является и тот факт, что строительство боковых проемов производится в уже нарушенном проходкой станционных тоннелей грунтовом массиве, часто без использования технологичных приемов крепления выработок, что вызывает дополнительные осадки на поверхности.

Таким образом, вопрос в совершенствовании технологии строительства станций метрополитена пилонного типа является достаточно актуальным.

Так, в зарубежных странах предложена и активно применяется конструкция станции пилонного типа с использованием опорных тоннелей. Суть технологии заключается в том, что строительство пилонной части станции, а именно боковых проходов и самих пилонов осуществляется в первую очередь, и только потом ведется проходка станционных тоннелей. Достоинством данной технологии является то, что проходку опорных тоннелей можно вести механизированными способами с применением передовых технологий тоннелестроения, используя временную набрызг-бетонную крепь в сочетании с креплением кровли

и лба забоя. При этом, возведение пилонов и проходов осуществляется в уже готовом тоннеле бетонированием «на себя».

Таким образом, процесс сооружения станции пилонного типа с применением опорных тоннелей позволяет на всех этапах ее сооружения использовать технологичные средства механизации в сочетании с передовыми технологиями тоннелестроения, такими как NATM и ADECO&RS, значительно снижая риски осадок дневной поверхности, что особенно важно в условиях городской застройки, а также в целях повышения безопасности проходческих работ.

Стоит отметить, что на кафедре «Тоннели и метрополитены» уже имеется опыт работ со станциями пилонного типа с применением опорных тоннелей. Так, в 2006 году на кафедре для нужд Алматинского метрополитена была разработана и испытана физическая модель станции «Жибек-Жолы», предложенная австрийской фирмой «Beton und Monierbau» (рис. 19).

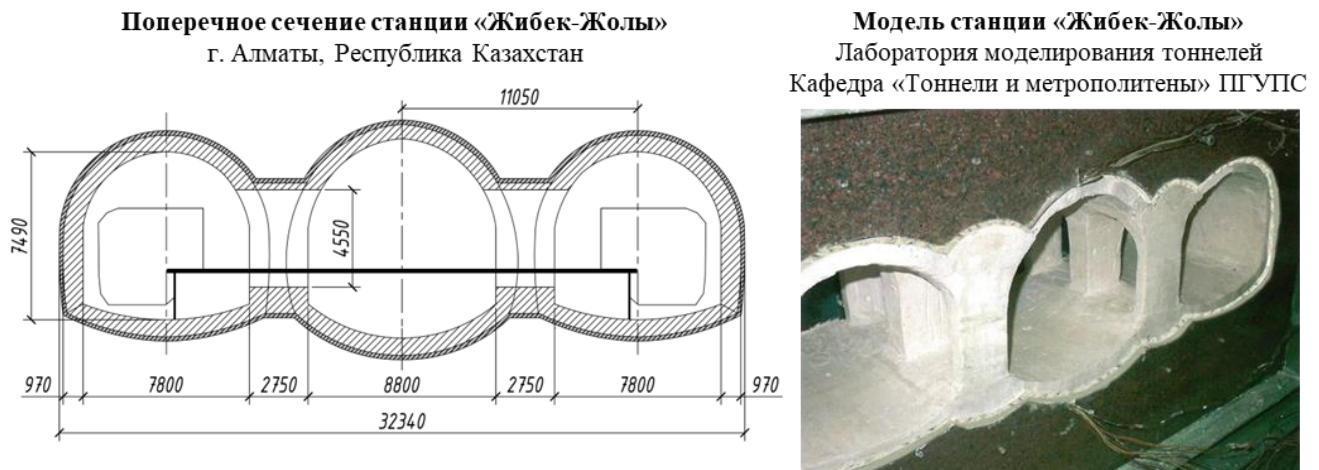


Рис. 19. Физическое моделирование станции «Жибек-Жолы» для нужд Алматинского метрополитена, кафедра «Тоннели и метрополитены» ПГУПС 2006 год

Опыт, полученный в ходе этой работы, позволил предложить перспективное конструктивно-технологическое решение станции «Черниговская». В качестве альтернативы проектным решениям, предлагается станция пилонного типа с опорными тоннелями с использованием технологии ADECO&RS. Такая конструкция позволит оптимизировать поперечное сечение станции; использовать при проходке и сооружении механизированные способы с применением передовых технологий тоннелестроения; снизить осадки дневной поверхности; повысить безопасность ведения проходческих работ (рис. 20).

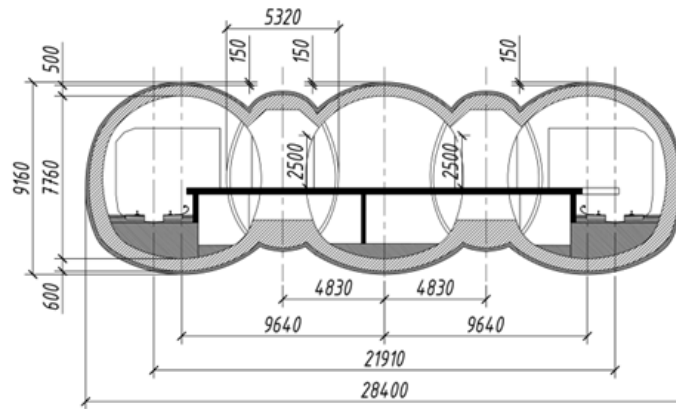


Рис. 20. Предлагаемая конструкция станции «Черниговская» («Заставская»)

Заключение

В настоящей работе приводится исследование конструкции пилонной станции из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях г. Санкт-Петербург на примере планируемой станции Петербургского метрополитена «Черниговская» («Заставская») с применением физического моделирования методом эквивалентных материалов.

В ходе исследования [14, 15] были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ конструктивно-технологических решений сооружения станции пилонного типа из монолитного железобетона на примере планируемой станции Петербургского метрополитена «Черниговская» («Заставская»);
2. Проведено физическое моделирование типового платформенного участка будущей станции с целью определения осадок дневной поверхности и деформаций конструкции станции от проектных нагрузок, а также нагрузок, превышающих проектные;
3. Проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных в ходе физического моделирования с натурными данными, полученными на реально строящихся объектах метрополитена в центральной части г. Санкт-Петербург;
4. Разработаны рекомендации конструктивно-технологических решений трехсводчатой станции с опорными тоннелями с обделкой из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях г. Санкт-Петербург.

Дальнейшим этапом работы в рамках исследования следует считать разработку практических рекомендаций по конструктивно-технологическим параметрам трехсводчатой станции с опорными тоннелями из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях г. Санкт-Петербург.

Список литературы

1. Исследование методом эквивалентных материалов статической работы станции нового типа Ленинградского метрополитена / Ю.А. Лиманов // Тоннели и метрополитены. – 1963. – Вып. 252. – С.21-26.
2. Фролов, Ю. С. Устойчивость выработки, пройденной с опережающей крепью кровли и лба забоя в протерозойских глинах / Ю. С. Фролов, А. А. Ларионов // Метро и тоннели. – 2008. – № 2. – С. 24-26.

3. Внедрение опережающей крепи при проходке выработок в протерозойских глинах Санкт-Петербурга / А. В. Морозов, А. В. Уханов, Ю. С. Фролов [и др.] // Метро и тоннели. – 2009. – № 1. – С. 27-29.
4. Фролов, Ю. С. Исследование на математических моделях влияния опережающей крепи кровли и лба забоя на устойчивость выработки, пройденной в протерозойских глинах Санкт-Петербурга / Ю. С. Фролов, Т. В. Иванес // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 5. – С. 21-23.
5. Фролов, Ю. С. Физическое моделирование в ходе научного сопровождения строительства подземных сооружений метрополитена в условиях Санкт-Петербурга / Ю. С. Фролов, А. Н. Коньков, А. А. Ларионов // Записки Горного института. – 2012. – Т. 199. – С. 43-50.
6. Практика внедрения безосадочных технологий при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена / К. П. Безродный, А. И. Салан, В. А. Маслак [и др.] // Записки Горного института. – 2012. – Т. 199. – С. 190-195.
7. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга / В. А. Маслак, К. П. Безродный, М. О. Лебедев [и др.] // Метро и тоннели. – 2012. – № 6. – С. 26-29.
8. Фролов, Ю. С. Решение задач геомеханики методом физического моделирования при строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге / Ю. С. Фролов, А. Н. Коньков, А. А. Ларионов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 9. – С. 71-73.
9. Шапошников, Е. А. К вопросу применения опережающей крепи при сооружении станций метрополитена без боковых посадочных платформ / Е. А. Шапошников, Ю. С. Фролов // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 17–24 апреля 2017 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2017. – С. 138-142.
- 10.Афонин, Д. А. Оперативный геодезический контроль деформаций призабойной зоны при инновационных технологиях проходки туннелей / Д. А. Афонин, В. Н. Кавказский, А. А. Никитчин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 432-443. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-3-432-443.
- 11.Шапошников, Е. А. Обоснование рациональных конструктивных параметров станции метрополитена без боковых посадочных платформ / Е. А. Шапошников, Ю. С. Фролов // Транспортные сооружения. – 2023. – Т. 10, № 1. – DOI 10.15862/05SATS123.
- 12.Сокорнов, А. А. Лабораторные испытания искусственных грунтов / А. А. Сокорнов, Е. А. Шапошников, А. Н. Коньков // Путевой навигатор. – 2019. – № 41(67). – С. 49-55.
- 13.Sokornov, A. A. Laboratory test of equivalent material as artificial ground / A. A. Sokornov, E. A. Shaposhnikov, A. N. Konkov // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 октября 2019 года. Vol. 157. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 02009. – DOI 10.1051/e3sconf/202015702009.
- 14.Кавказский, В. Н. Экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности сооружения пилонной станции из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях Г. Санкт-Петербург / В. Н. Кавказский, Д. М. Оленич // Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения : Сборник статей / Под редакцией М.О. Лебедева. – Москва : Издательство "Перо", 2021. – С. 130-143.
- 15.Feasibility of a Pylon Station Construction from Monolithic Reinforced Concrete in the Engineering and Geological Conditions of St. Petersburg / V. N. Kavkazsky, A. V. Benin, D. Olenich, K. Korolev // International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia - 2021, Novosibirsk, 11–14 мая 2021 года. Vol. 402-1. – Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2022. – P. 915-924. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_100.

Контактная информация:

Оленич Дмитрий Михайлович - аспирант; olen585@yandex.ru

Author's information

Olenich Dmitriy – postgraduate student; olen585@yandex.ru

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра

ИНФРАСТРУКТУРА ТРАНСПОРТА

№2(4) – 2022

ONLINE– ЖУРНАЛ

Ответственный за выпуск **Булакаева О.С.**

ФГБОУ ВО ПГУПС

2022 © Петербургский государственный университет путей сообщения Императора
Александра I

Адрес: 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Сайт журнала: www.inftrans.ru