

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление - Транспортные и транспортно-логистические системы

УДК [UDC] 624.014.2: 625.41:656.21

DOI 10.17816/transsyst20217199-123

© Н. А. Сенькин, А. С. Филимонов, И. М. Халимбеков,

А. И. Кравец, Д. Митровска, И. С. Большихшапок

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(Санкт-Петербург, Россия)

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ЭСТАКАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МАГИСТРАЛИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В рамках студенческих исследований в Санкт-Петербургском архитектурно-строительном университете продолжается разработка альтернативных предложений по созданию окружной высокоскоростной магистрали на границах связи территорий Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В статье представлены результаты научно-исследовательских работ по оптимизации схемы прокладки транспортной магистрали, по архитектурной компоновке зданий транспортно-пересадочных узлов, по исследованию влияния предварительно-напряжения затяжек и вант на снижение усилий и деформаций основных элементов магистрали, выполнены расчеты конструкций наиболее высокого и нагруженного морского участка. Схема прокладки высокоскоростной транспортной магистрали модернизирована в связи с ограничениями, связанными с реконструкцией аэропортов «Левашово» и «Пулково», переносом столицы Ленинградской области в Гатчину, привязкой к перспективным станциям метрополитена «Стрельна», «Янино» и «Кудрово». Модернизированная схема магистрали предложена в виде разомкнутого многоугольника с транспортно-пересадочными узлами в углах и основана на несущих эстакадных конструкциях арочно-вантового исполнения, обеспечивающих необходимую функциональность, надежность и безопасность.

Обоснование: в «Концепции развития транспортной системы Санкт-Петербурга» представлен ряд сложных транспортных проблем на границах связи территорий Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а именно: недостаточное развитие метрополитена и скоростного трамвая, отсутствие широкой сети транспортно-пересадочных узлов, наличие многочисленных барьеров (железные дороги, парки, реки и каналы и т.п.), исчерпание пропускной способности входных автомагистралей, наличие высокой плотной застройки. Кроме того, реальное проектирование и строительство автомагистралей в транспортной политике Санкт-Петербурга имеет приоритетное развитие в сравнении с высокоскоростным электротранспортом, что приводит к дополнительным экологическим потерям.

Цель: разработка окружной высокоскоростной транспортной системы на границах связи Санкт-Петербурга и Ленинградской области, построенной на широком применении электротранспорта, с пассажиропотоком, сопоставимым с линией метрополитена.

Материалы и методы: рассчитаны эстакадные конструкции на сочетания действующих нагрузок, сил и воздействий, включая учет динамических аспектов и нелинейности, с использованием программного комплекса "SCAD Office".

Результаты: по результатам вариантного проектирования в качестве несущей конструкции, принят арочно-вантовый вариант с пролетами 180 м и 360 м по критерию металлоемкости, ставший базовым для построения магистрали эстакадного исполнения. Из приближенного расчета следует, что стоимость строительства магистрали на земных участках (двухпутная схема) по сравнению со строительством метрополитена ожидается в 5–6 раз ниже, а на морских участках – в 3–4 раза ниже за счет высоких пилонов и глубоких свайных фундаментов.

Заключение: расчетный объем пассажироперевозок за сутки для двухпутной высокоскоростной и двухпутной скоростной магистралей составит 208 тыс. пассажиров, а в год – 76 млн пассажиров, который вполне сопоставим с данным показателем для линии метрополитена.

Ключевые слова: высокоскоростная транспортная магистраль, эстакада из труб большого диаметра, магнитно-левитационная подушка, пониженное давление в трубах, вантовые и арочные конструкции.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Transport and Transport & Logistics Systems

© N. A. Senkin, A. S. Filimonov, I. M. Khalimbekov, A. I. Kravets,
D. Mitrovska, I. S. Bolshikhshapok

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
(St. Petersburg, Russia)

PROPOSALS FOR THE CONSTRUCTION OF OVERPASS STRUCTURES AND TRANSPORT HUBS FOR THE HIGH-SPEED HIGHWAY IN ST. PETERSBURG

Background: As part of student research at St. Petersburg architectural-construction University continues to develop alternative proposals for the creation of a circumferential highway at the boundaries of communication areas of St. Petersburg and Leningrad region. The article presents the results of research works on optimization of routing highways, according to the architectural layout of buildings, transport hubs, to study the effects the pre-tension of the puffs and the guys at the reduction of efforts and deformations of the main elements of the highway, the calculations of the designs of the most high and loaded sea area. The construction of the 8-high-speed transport highway was upgraded due to restrictions related to the reconstruction of Levashovo and Pulkovo airports, the transfer of the capital of the Leningrad region to Gatchina, and linking to the promising metro stations Strel'na, Yanino and Kudrovo. The upgraded scheme of the highway is proposed in the form of an open polygon with transport and interchange nodes in the corners and is based on load-bearing trestle structures of arched-cable design that provide the necessary functionality, reliability and safety.

Aim: development of a district high-speed transport system on the borders of St. Petersburg and the Leningrad region, based on the widespread use of electric transport, with passenger traffic comparable to the metro line.

Materials and Methods: trestle structures are designed for combinations of operating loads, forces and impacts, including consideration of dynamic aspects and non-linearity, using the "SCAD Office" software package.

Results: based on the results of variant design, an arch-cable-stayed version with spans of 180 m and 360 m was adopted as a supporting structure according to the metal consumption criterion, which became the basic one for building a highway of overpass design. From an approximate calculation, it follows that the cost of building a highway on land plots (two-track scheme) compared to the construction of the metro, it is expected to be 5-6 times lower, and on the sea sections – 3-4 times lower due to high pylons and deep pile foundations.

Conclusion: the estimated volume of passenger traffic per day for the two-track high-speed and two-track high-speed highways will be 208 thousand passengers, and 76 million passengers per year, which is quite comparable to this indicator for the metro line.

Key words: high-speed transport highway, beam-overpass of large diameter pipes, magnetic levitation cushion, low pressure in the pipes, the trestle structures, cable-stayed and arched structures.

ВВЕДЕНИЕ

Известная транспортная проблема в Санкт-Петербурге – перегруженность автомобилями и пробки, возникающие в напряженных местах, включая зоны входа автомагистралей в мегаполис, а также слабое развитие метрополитена и скоростных видов наземного электрифицированного рельсового транспорта [1]. В настоящее время, к сожалению, проектирование и строительство городских и пригородных автомобильных магистралей в транспортной политике Санкт-Петербурга имеет более приоритетный уровень по сравнению с другими видами. Так построен Западный и проектируется Восточный скоростные автомобильные диаметры, пересекающие городские кварталы, загрязняя городскую атмосферу и приводя к экологическому ущербу [2].

В Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете (СПбГАСУ) в рамках студенческих научных исследований по теме «Инновационные предложения по созданию высокоскоростной транспортной системы Санкт-Петербурга», в частности, выполняются инициативные разработки альтернативных предложений по созданию окружной надземной высокоскоростной транспортной магистрали (ВСТМ) [3]. ВСТМ системы «Роса» проектируется на движение высокоскоростных пассажирских электропоездов с максимальной скоростью 500 км/ч, подлежащих разработке с применением технологий Маглев и ЕТТ (Evacuated Tube Transportation) [4–11]. Так в первой авторской статье под названием «К вопросу создания высокоскоростной транспортной магистрали в Санкт-Петербурге», опубликованной в электронном журнале «Транспортные системы и технологии» [3], разработана основная концепция ВСТМ «Роса» и представлены результаты научно-исследовательских работ (НИР) за 2017–2019 гг. по вышеуказанной теме (Ч. 1). Были разработаны: окружная

«кольцевая» схема и технологическая система магистрали, жесткая главная балка, представляющая собой составную многотрубную конструкцию с рельсовым путем 1520 мм и пониженным внутренним давлением на скоростных участках в каждой трубе. В области строительных конструкций выполнено вариантное проектирование вантово-стержневых систем с выбором арочно-вантового варианта для эстакадной конструктивной схемы, обеспечивающей жесткую поддержку балки.

В настоящей статье в продолжении данной темы представлены результаты НИР за 2019–2020 гг. (Ч. 2), а именно: модернизация схемы прокладки транспортной магистрали; архитектурная компоновка зданий транспортно-пересадочных узлов (ТПУ); исследование предварительно-напряжения затяжек и вант на снижение основных усилий и деформаций элементов; расчеты конструкций наиболее высокого и нагруженного морского участка.

С целью решения проблем мегаполиса, приводящих к системному градостроительному кризису, угрожающему экологической безопасности, авторы настоящей статьи предлагают максимально отказаться от использования пассажирского автотранспорта, особенно в центральной части Санкт-Петербурга и перейти на экологически чистый городской электрифицированный скоростной транспорт (метро, скоростной трамвай, троллейбус), а также на инновационный высокоскоростной транспорт, допускающий движение пассажирских электропоездов с максимальной скоростью 500 км/ч, преимущественно на технологиях Маглев и ЕТТ (Evacuated Tube Transportation). При этом выход видится в дальнейшем повышении скорости и комфортности общественного транспорта, особенно на электротяге, приближении его остановок к станциям метро, минимизации протяженности внутренних переходов, возведении транспортно-пересадочных узлов и более крупных мультимодальных транспортно-пересадочных комплексов (МТПК). Такие комплексы характеризуются сочетанием транспортных сооружений с объектами социальной, сервисной и торгово-развлекательной инфраструктуры, чем обеспечивается более высокий уровень комфорта и транспортного обслуживания пассажиров.

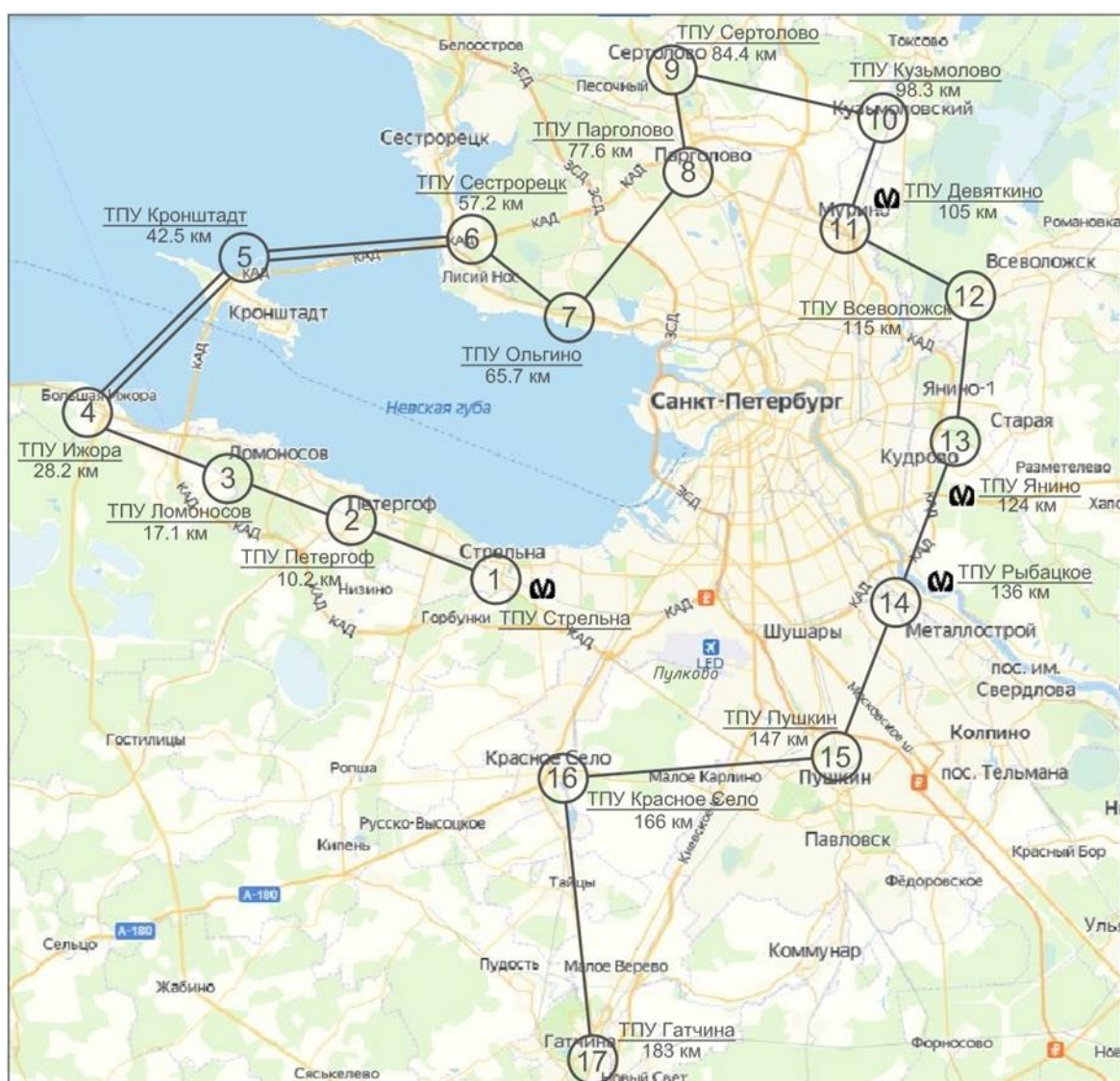
Из многолетнего опыта компании Transrapid по возведению коммерческих пассажирских Маглев-линий известно, что затраты на строительство инфраструктуры могут составить до 60–80 % от общих затрат [12]. Поэтому основным направлением авторских исследований стала разработка схемы ВСТМ, а также технологической и конструктивной основы магистрали, включая ТПУ, в частности высотных и большепролетных несущих конструкций эстакадного исполнения, обеспечивающих функциональность транспортной системы, надежность конструкций, безопасность для человека и экологии мегаполиса.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СХЕМА МАГИСТРАЛИ

Первичная «кольцевая» схема прохождения ВСТМ предложена в виде многоугольника с транспортно-пересадочными узлами в углах и основана на несущих эстакадных конструкциях арочно-вантового вида, обеспечивающих размещение стальной главной балки с рельсовыми путями с отметкой +88,00 в Балтийской системе высот [3]. Такое высотное положение балки принято в целях снижения шумового воздействия на мегаполис, преодоления многочисленных искусственных и естественных препятствий, повышения антитеррористической защищенности. При этом обеспечивается необходимый горизонтальный уровень путей посредством несущего конструктива магистрали и архитектурно-конструктивного решения зданий ТПУ со спиральными пандусами, обеспечивающими переходы на другой уровень. Первичная схема прохождения ВСТМ изменена в связи с ограничениями, связанными с реконструкцией аэропортов «Левашово» и «Пулково», переносом столицы Ленинградской области в Гатчину, привязкой к проектируемым станциям метрополитена «Стрельна», «Янино» и «Кудрово» (Рис. 1).

Весьма сложным оказался высотный рельеф на разных участках, особенно на севере и востоке магистрали, что потребовало соответствующих изменений с устройством обходных участков. С учетом Федеральных авиационных правил «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов» неподвижные объекты большой протяженности с истинной высотой над уровнем земли более 50 м, в частности следует обеспечить светоограждением посредством заградительных огней [13].

Вышеуказанные требования наложили дополнительные изменения известной, ранее предложенной, «кольцевой» Схеме [3], которые привели к более «ломанному» характеру и «разрыву» оси новой транспортной магистрали в связи с ограничениями со стороны аэропортов «Левашово» и «Пулково». При этом значительно изменились высоты основного конструктива ВСТМ, которые понизились до 20...50 м на сухопутных участках, обеспечивая значительное сокращение расхода стали и железобетона на конструкции и фундаменты. Горизонтальный уровень рельсового основания балки обеспечен посредством несущего конструктива магистрали и особыми архитектурно-конструктивными решениями зданий ТПУ. При этом благодаря наличию спиральных пандусов ТПУ осуществлен переход рельсового основания на новые отметки и выход в примыкающее здание депо, как правило, размещаемое на отметке земной поверхности.



Условные обозначения:

— Высота балки путепровода до 50.0 м от поверхности земли

== Высота балки путепровода более 50.0 м от поверхности земли

Рис. 1. Новая схема высокоскоростной транспортной магистрали в Санкт-Петербурге (Схема №1)

Общая схема новой ВСТМ проявилась в виде ломанной незамкнутой линии с прямыми перегонами и ТПУ в углах (Рис. 1). Она стала более протяженной (183,0 км вместо 147,2 км), количество станций ТПУ существенно выросло (17 против 10), длина прямых отрезков – перегонов стала более дифференцированной (от 6,7 до 19 км). Оптимизирована линия прохождения морского фарватера на надводном участке ВСТМ в акватории Финского залива с выходом нижней точки на ТПУ «Ижора» с обходом Кольцевой автомагистрали (КАД) без вхождения в акваторию

Кронштадта. Кроме того, от ТПУ «Кузьмолowo» появилась возможность северо-западного ответвления ВСТМ на Выборг и Финляндию (Рис. 1).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МАГИСТРАЛИ

Предлагаемая новая ВСТМ обеспечивает удобные, быстрые и безопасные высокоскоростные транспортные связи мегаполиса с пригородами и близлежащими поселениями Ленинградской области. ВСТМ относится к внеуличной сети, так как построена на высотных и большепролетных конструкциях на эстакадной основе, которые обеспечивают оптимальное преодоление естественных и искусственных преград, включая высотную высокоплотную застройку.

На Рис. 2 представлены конструктивно-технологические компоненты ВСТМ, относящиеся к основным функциональным зонам. Посредством указанных компонентов обеспечивается работоспособность функциональных зон ВСТМ, характеризующихся как уровнем давления воздуха во внутренней полости транспортных труб, так и соответствующим скоростным режимом движения составов. Для высокоскоростных поездов «Роса» главная балка выполняется четырехтрубной с рельсовым основанием в каждой трубе, включая обратное направление.

Конструктивно-технологическая схема ВСТМ на прямолинейном участке – перегоне между станциями ТПУ «Стрельна» и ТПУ «Петергоф» общей протяженностью 10,2 км, составлена из большепролетных арочных эстакад пролетами 180 м и 360 м, обеспечивающих надежную и безопасную подвеску главной балки (Рис. 3).

Здесь представлен график скоростного движения состава, иллюстрирующий равноускоренный процесс набора скорости V с ускорением $a=4,63 \text{ м/с}^2$ ($0,47g$) в течение 0,5 мин (30 с) до максимальной скорости $V_{max}=500 \text{ км/ч}$ и аналогично – снижения скорости. При этом протяженность зоны разгона для высокоскоростного варианта составляет 2,1 км и аналогично – зоны торможения, а для скоростного варианта при $V_{max}=100 \text{ км/ч}$ – 0,835 км соответственно.

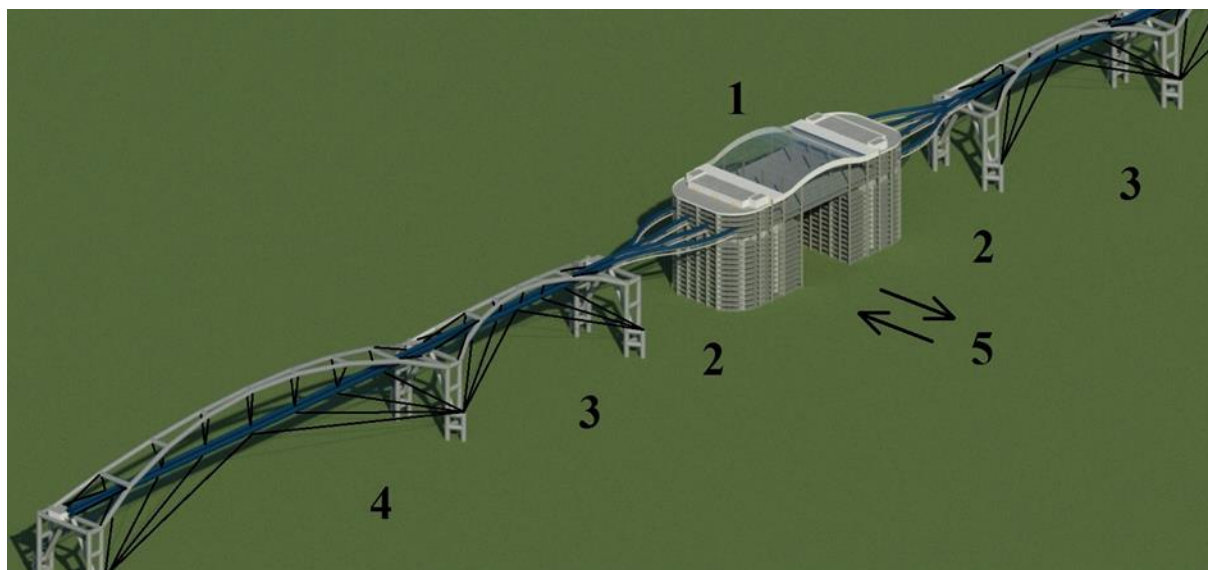


Рис. 2. Основные функциональные зоны высокоскоростной магистрали:

- 1 – здание ТПУ с пассажирскими платформами на верхних этажах;
- 2 – зона входа-выхода поездов в транспортные трубы главной балки;
- 3 – зона остановки составов в транспортных трубах (пролет 180 м);
- 4 – зона разгона-торможения состава (пролет 360 м);
- 5 – направления движения пассажирского городского транспорта

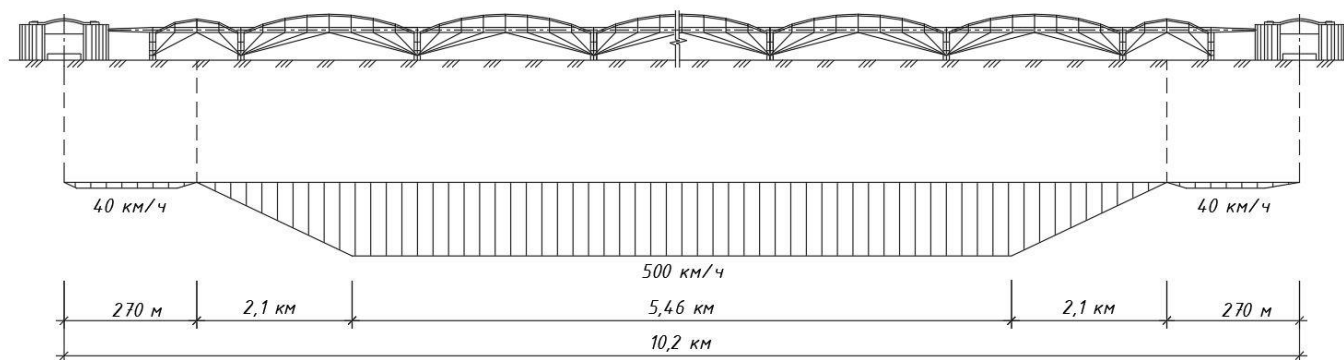


Рис. 3. Конструктивно-технологическая система участка магистрали «ТПУ Стрельна – ТПУ Петергоф» с графиком скоростей

Расчетная продолжительность этапа № 1 (посадка пассажиров в вагоны состава на платформе ТПУ на станции отправления и его перемещение в зону стоянки в транспортной трубе) назначена равной 0,5 мин (30 с), как и продолжительность следующего этапа № 2 (откачка воздуха до требуемого давления в транспортной трубе) – 0,5 мин (30 с) и разгон – 0,5 мин (30 с). Аналогично назначены условия для второго ТПУ (станция прибытия): торможение – 0,5 мин (30 с), восстановление атмосферного давления в трубе – 0,5 мин (30 с), въезд на платформу в ТПУ

и высадка пассажиров – 0,5 мин (30 с). Следовательно, всего по двум этапам на перегон: $T=3$ мин (180 с). Соответствующие условия для скоростного варианта заданы при движении с максимальной скоростью $V_{max}=100$ км/ч; здесь всего на перегон: $T=4$ мин (240 с). В связи со значительным расходом времени на стоянку, разгон и торможение пассажирских составов на коротких участках длиной менее 7 км, доходящего до 95 % от общей продолжительности поездки (табл.1), Схема № 1 была оптимизирована (некоторые ТПУ и самые короткие участки исключены) и преобразована в Схему № 2 (Рис. 4).

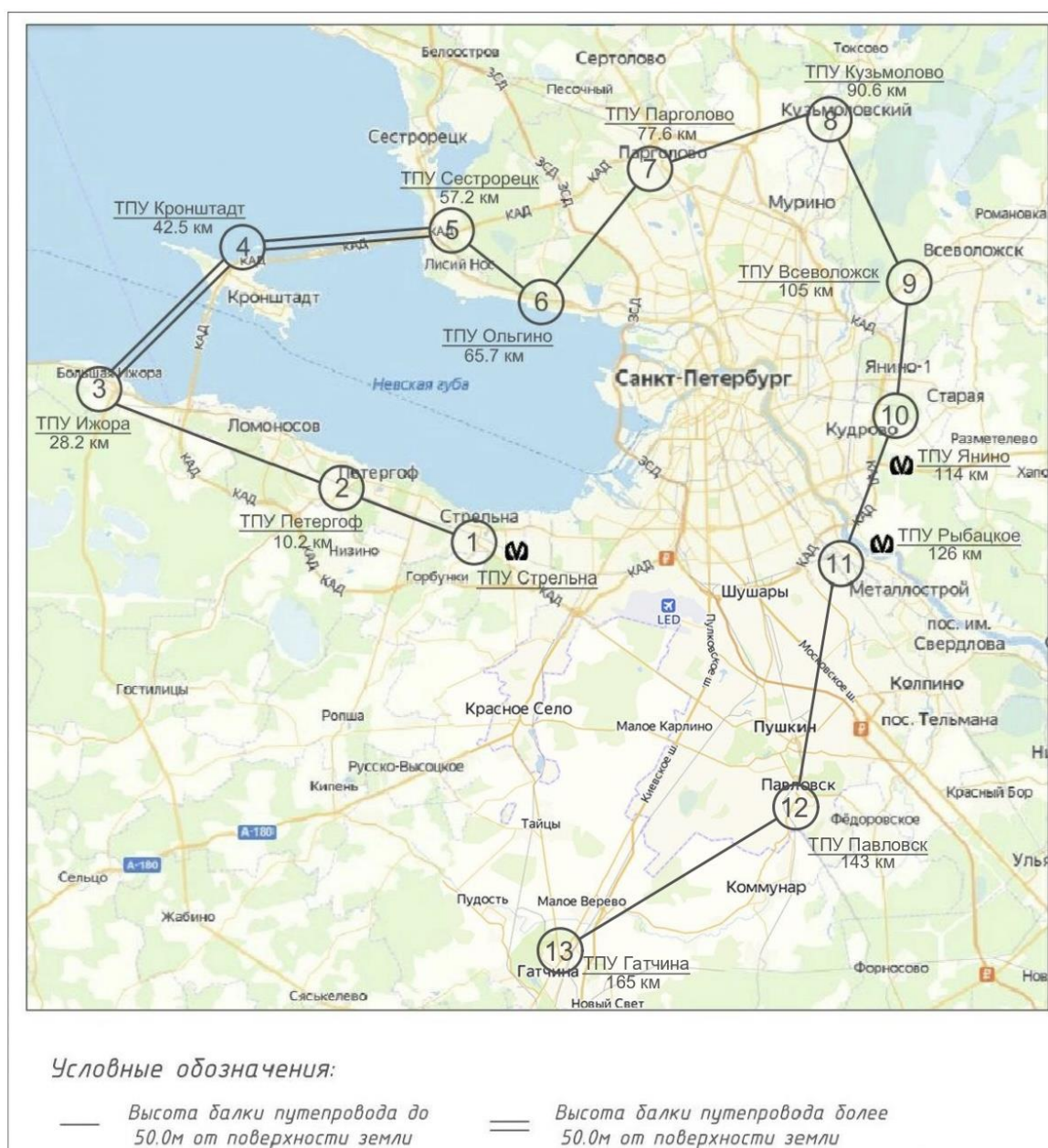


Рис. 4. Улучшенная схема высокоскоростной транспортной магистрали в Санкт-Петербурге (Схема № 2)

Таблица 1. Продолжительность проезда в ВСТМ для двух вариантов Схем и скорости

N	Название станции (ТПУ)	Расстояние между ТПУ (перегон), км		Время проезда при $V_{\max} = 500$ км/ч, мин		Время проезда при $V_{\max} = 100$ км/ч, мин	
		Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
1	Стрельна						
		10,2	10,2	3,65	3,65	9,12	9,12
2	Петергоф						
		6,9	-	3,25	-	7,14	-
3	Ломоносов						
		11,1	18,0	3,76	4,58	9,66	13,79
4	Ижора						
		14,3	14,3	4,21	4,21	11,58	11,58
5	Кронштадт						
		14,7	14,7	4,19	4,19	11,82	11,82
6	Сестрорецк						
		8,5	8,5	3,44	3,44	8,10	8,10
7	Ольгино						
		11,9	11,9	3,92	3,92	10,14	10,14
8	Паргалово						
		6,8	-	3,14	-	7,08	-
9	Сертолово						
		13,9	13,0	4,09	3,98	11,34	10,80
10	Кузьмоллово						
		6,7	-	3,14	-	7,02	-
11	Девяткино						
		10,0	14,4	3,62	4,15	9,00	11,64
12	Всеволожск						
		9,0	9,0	3,59	3,50	8,82	8,40
13	Янино (5-й км)						
		12,0	12,0	3,86	3,86	10,20	10,20
14	Рыбацкое						
		11,0	17,0	3,74	4,46	9,60	13,20
15	Пушкин (Детскосельская)						
		19,0	-	4,70	-	14,40	-
16	Красное Село						
		17,0	-	4,46	-	13,20	-
17	Павловск						
		-		-		-	
		-	22,0	-	5,14	-	16,21
18	Гатчина (Татьянино)						
		-					
	Всего, мин	183,0	165,0	60,76	49,08	158,22	135,00
	Всего, час			1,01	0,82	2,64	2,25

Схема № 2 отличается сокращенным количеством станций ТПУ (13 вместо 17), сниженной на 18 км общей протяженностью и выросшей на 20 % средней длиной перегона, что существенно повышает эффективность высокоскоростного транспорта и сокращает продолжительность поездок. На основе вышеуказанных условий в Табл. 1 представлены результаты вычислений продолжительности проезда на перегонах магистрали для двух схем (Схема № 1 и Схема № 2) и двух вариантов с разными значениями максимальной скорости V_{max} .

Из Табл. 1 следует, что продолжительность проезда существенно зависит от скорости движения поезда в трубе, так максимальная продолжительность проезда между ТПУ в Схеме №2 не превышает привычных в метрополитене 5 мин для высокоскоростного варианта ($V_{max}=500$ км/ч) и привычных для пригородных электропоездов 15 мин – для скоростного ($V_{max}=100$ км/ч), при этом средняя скорость для высокоскоростного варианта в Схеме № 2 составляет 201,2 км/ч, а для скоростного варианта – 73,3 км/ч.

Здесь предельное значение ускорения (замедления) принято не превышающим 50 % (0,5 g) от ускорения свободного падения g , что является допустимым для пассажирского транспорта. Известно, что автомобили многих европейских брендов имеют модификации с временем разгона не более 6 с до скорости 100 км/ч с ускорением $a=4,63$ м/с².

Несомненно, предлагаемая Схема № 2 представляет предварительный вариант организации высокоскоростного пассажирского сообщения, но тем не менее она позволяет ориентировочно оценить его эффективность. Длина каждой транспортной прямой линии между станциями ВСТМ, размещаемыми в ТПУ, принята в интервале 8,5–22 км, что позволит высокоскоростному поезду «Роса» преодолевать каждый перегон всего за несколько минут. ВСТМ обеспечит высокоскоростное окружное перемещение пассажиров как с севера на юг, так и с запада на восток и обратно, минуя основные транспортные пути мегаполиса и проходя над высотной плотной застройкой. Например, продолжительность переезда от ТПУ «Гатчина» до ТПУ «Рыбацкое» со станцией метро «Рыбацкое», составит не более 10 мин, а от ТПУ «Рыбацкое» до ТПУ «Кронштадт», расположенных на схеме диаметрально, всего 27 мин.

Пассажирский состав назначен общей длиной 88 м из 8 вагонов – модулей с общей вместимостью 64 посадочных места и внешне подобен российскому скоростному «Сапсану», но поперечный размер выполнен более узким почти в 1,5 раза. Здесь обеспечен продольный проход с аварийными выходами в первом и последнем вагонах с двухрядной посадкой пассажиров. Цилиндрический транспортный модуль изготовлен на основе металлической трубы с продольным проходом и дверями «крылья чайки», поднимающиеся вверх при посадке – высадке.

Расчетное максимальное количество составов на каждом перегоне на одном пути назначается равным 4 единицам: 3 – в путепроводе (один – на скоростной части и два – в зонах стоянки) и один состав – на платформе в здании ТПУ. Следовательно, общее количество рабочих составов на одном пути ВСТМ составит 48 единицы, не считая резервные, находящиеся на станциях ТПУ с депо.

Расчетный объем пассажироперевозок за сутки для двухпутной высокоскоростной и двухпутной скоростной магистралей составит 208 тыс. пассажиров, а в год – 76 млн пассажиров, который вполне сопоставим с данным показателем для двухпутной линии петербургского метрополитена.

АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ ТПУ

Многоэтажные ТПУ, объединяемые с объектами социальной, сервисной и торгово-развлекательной инфраструктуры, представляют собой архитектурные высотные доминанты в районах мегаполиса как многофункциональные узлы. Такие ТПУ, в частности, рассматриваемые в настоящей статье, по определению следует отнести к транспортно-пересадочным комплексам (ТПК), обеспечивающим более высокий уровень комфорта и транспортного обслуживания пассажиров [14].

Для построения устойчивой функционально-типологической модели многофункционального узла необходимо систематизировать функциональные блоки. Основными функциональными блоками являются станции (остановки), представляющие различные виды транспорта.

С учетом моделирования оптимальных технологических связей выявленные типологические модели транспортного узла с точки зрения функционально-пространственных характеристик включают следующие варианты: ориентированные специализированные модели (например, центрическая), линейные модели, модель моста, комплексно-разделенная модель, открытая модель [15].

Центрическая функционально-типологическая модель транспортного HUB (пространственная и плоскостная), сочетающая разные функции, представляется весьма успешной для построения HUB с подключением станции метрополитена «Стрельна», (например, ТПУ «Стрельна»), которую планируется подвести в 2035 году (Рис. 5).

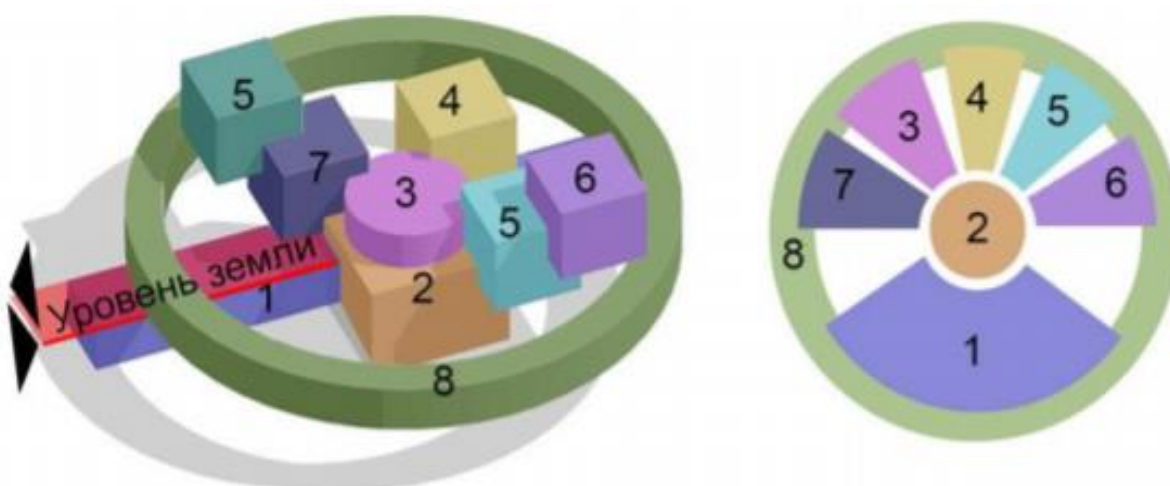


Рис. 5. Центрическая функционально-типологическая модель транспортного HUB (пространственная и плоскостная), сочетающая разные функции под номерами [15]

Центрическая модель интермодального транспортного узла представляется наиболее компактной и приемлемой. Центральное место в ней занимает коммуникативный блок (единица). Пространство атриума выступает в этой схеме прототипом коммуникативной единицы, что позволяет сочетать различные функции не только на одном уровне, но и с вертикальным разделением. Атриум определяет своеобразное ядро этой модели транспортно-пересадочного узла, вокруг которого формируются другие функции. Данная модель обеспечивает связь между собой всех функциональных блоков, которые в представленной модели эквивалентны по типу связи друг с другом. В этой схеме зеленая зона окружает все остальные функциональные блоки, что делает модель экологически чистой и приемлемой для человека. Доступ к зеленой зоне осуществляется таким же образом из всех функциональных блоков.

При анализе территории предполагаемой застройки, определена площадка для размещения ТПУ «Ижора», предполагающая функциональное объединение существующей железнодорожной станции и проектируемого здания. Здание имеет два функциональных блока: транспортно-пересадочный узел и здание депо, а конструктивная система ТПУ проектируется из стальных конструкций каркасно-ствольной с железобетонными поясами жесткости, с рамно-связевой конструктивной схемой (Рис. 6). Объемная модель транспортных путей, которые решают вопрос перемещения поездов с разных отметок, представлена на Рис. 7.

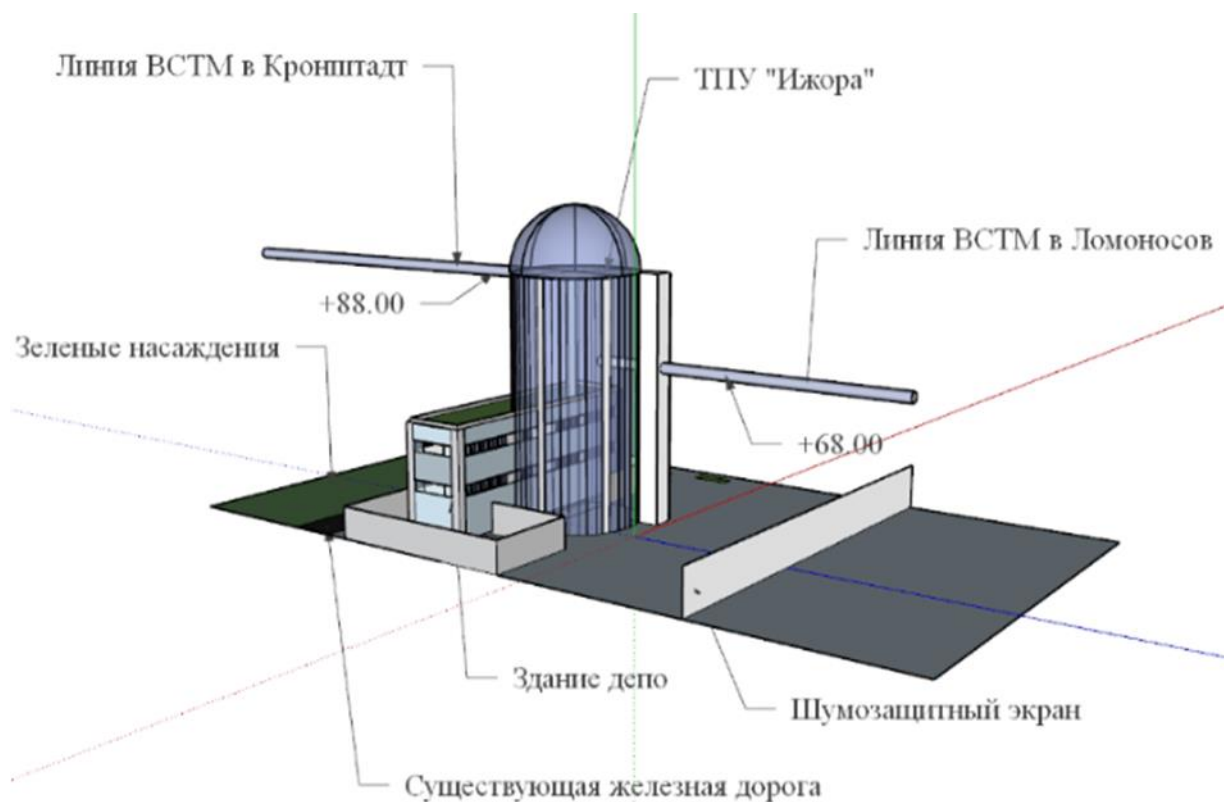


Рис. 6. Конструктивная схема ТПУ «Ижора» с зоной перехода поездов на другие отметки

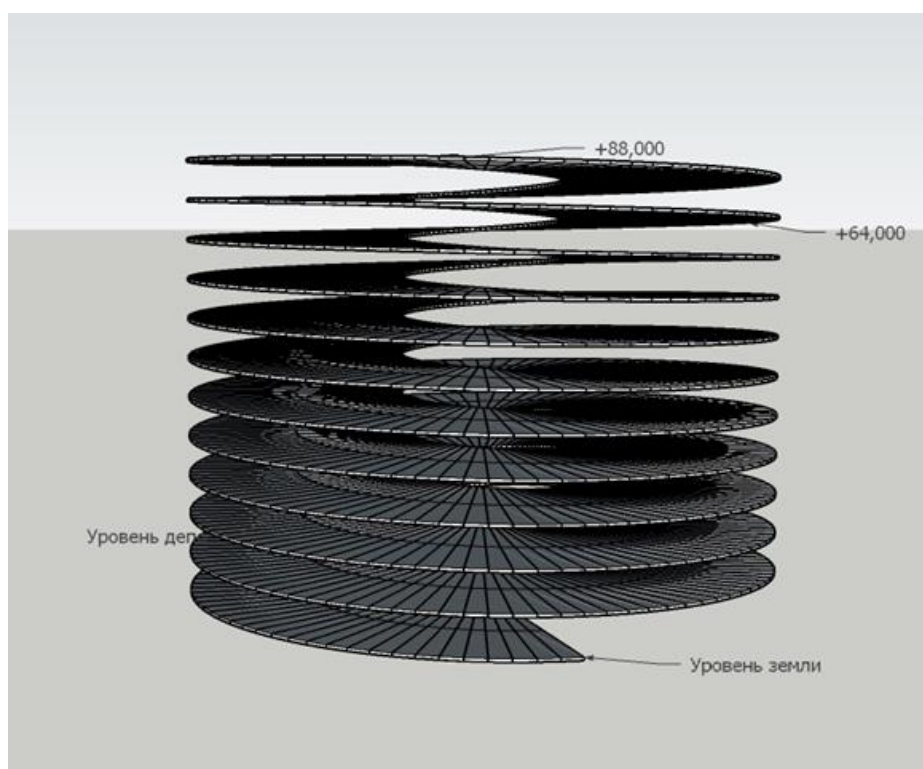


Рис. 7. Спиралевидный пандус ТПУ в зоне перехода поездов на другие отметки

Перемещение транспорта осуществляется посредством наклонных во внутреннюю сторону спиралевидных пандусов с механизмами регулирования движения. Пандусы выполнены из спирально закрученных стальных балок, соединенных площадками (плитами).

В здании ТПУ Ижора предусматривается применение диспетчерской централизации и возможность включения в автоматизированную систему управления высокоскоростным железнодорожным транспортом.

ГЛАВНАЯ БАЛКА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

В царской России первенство в данном исследовании принадлежит профессору Борису Павловичу Вейнбергу, который 31 марта 1914 года в Санкт-Петербурге представил публичный доклад «Движение без трения» по результатам научной работы в Томском университете. На этой основе были сформулированы основные принципы организации движения пассажирского вагона внутри стальной или стеклянной вакуумированной трубы посредством внутреннего и внешнего электромагнитного полей [16]. Из отечественных изобретателей, предложивших наибольшее количество оригинальных технических решений на уровне патентов с вышеуказанными новшествами в начале XXI века, первое место несомненно принадлежит ветерану изобретателя Н.Р. Янсуфину [17]. Однако, наиболее полные и совершенные технические решения, приемлемые для реального технического внедрения, были запатентованы американским изобретателем Daryl G. Oster в 1999 году [18]. В настоящей истории эти предложения составили техническую основу для разработки вакуумной транспортной технологии с линейным электродвигателем в Китае [5] и США [19].

В течение ряда лет в России совместно с исследователями ряда зарубежных стран проводятся исследования по теме высокоскоростного движения и разработке технологии Maglev, которые проводятся учеными ряда научно-исследовательских организаций и высшей школы, прежде всего, в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I под руководством проф. А.А. Зайцева [4]. Большое внимание исследователями уделено разработке отечественной версии транспортной системы Hyperloop [20, 21].

Результаты недавних исследований по разработке отечественной системы Hyperloop, показали, что при такой высокой скорости движения на создание вакуума тратится больше энергии, нежели на преодоление сил аэросопротивления в разреженном воздухе [21].

В настоящей статье предлагается авторское техническое решение, которое характеризуется повышенной изгибной жесткостью главной балки путепровода, которая выполнена из 4-х объединенных стальных труб

большого диаметра 3,0 м с толщиной стенки 16–30 мм в виде ромба с большей диагональю по вертикали. Между трубами в центре сечения по длине балки расположена продольная коробчатая конструкция с проходом для обслуживания коммуникаций связи, управления и электроснабжения, регулировки предварительного напряжения балки (Рис. 7).

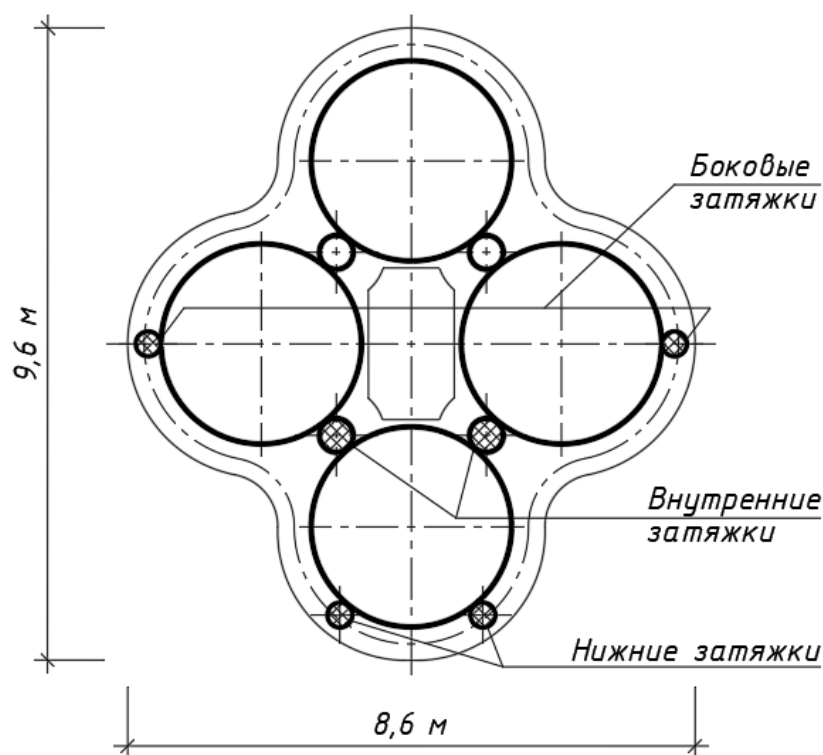


Рис. 8. Поперечное сечение главной балки с предварительно-напряженными элементами

В каждой трубе главной балки устроена рельсовая колея шириной 1520 мм на всём протяжении пути, как на стоянках, в зонах разгона и торможения, так на основных высокоскоростных участках с целью безопасности, например, при отключении электропитания и потере пониженного давления внутри трубы.

С целью снижения усилий в балке путепровода рассмотрены новые возможности применения элементов предварительного напряжения (ПН), размещаемые в главной балке-путепроводе (Рис. 8). Вантовые элементы конструкции разделены на две основные группы, различающиеся внешним и внутренним ПН [22–23].

К внешним элементам отнесены оттяжки и подвески, выполняющие роль стабилизации системы и передачу нагрузок с балки на другие несущие конструкции, а к внутренним – затяжки, регулирующие усилия и деформации и расположенные вдоль балки путепровода (Рис. 8).

Расчёты выполнены для вариантов схемы как без установки затяжек, так и с их установкой внизу балки путепровода (нижние затяжки) с усилиями ПН N_0 от 1 до 5 МН (Табл. 2). При этом рассмотрены комбинации нагрузок от воздействий природного и технологического характера: собственного веса конструкций ($L1$), снегового нагружения ($L2$), ветровой нагрузки ($L3$), воздействий от движения поезда ($L4$), а также воздействия от сил предварительного напряжения затяжек ($L5$).

Таблица 2. Усилия и прогибы посередине балки

№ n/n	Расчётные комбинации нагрузок	Нижние затяжки	Балка-путепровод		
		ПН №, МН	Изгиб. момент М, МН·м	Продол. усилие N, МН	Вертикальное перемещение Z, мм
1	$L5$	–	-50,83	1,97	569,75
2	$L1+L5$		-19,55	0,94	175,69
3	$L1+0,7L2+0,9L3+L4+L5$		91,59	11,68	-235,62
4	$L1+L2+0,7L3+0,9L4+L5$		80,45	10,92	-186,71
5	$L5$	1,0	-53,91	0,52	642,02
6	$L1+L5$		-24,79	-0,52	255,12
7	$L1+0,7L2+0,9L3+L4+L5$		84,58	10,18	-155,58
8	$L1+L2+0,7L3+0,9L4+L5$		73,62	9,43	-106,95
9	$L5$	3,0	-60,11	-2,32	787,04
10	$L1+L5$		-30,84	-3,40	399,54
11	$L1+0,7L2+0,9L3+L4+L5$		78,83	7,18	-12,65
12	$L1+L2+0,7L3+0,9L4+L5$		67,83	6,45	37,04
13	$L5$	5,0	-66,34	-5,11	932,54
14	$L1+L5$		-36,93	-6,23	544,45
15	$L1+0,7L2+0,9L3+L4+L5$		73,02	4,28	131,57
16	$L1+L2+0,7L3+0,9L4+L5$		61,98	3,56	180,63

Полученные результаты для сечения в середине пролета балки путепровода показывают возможность понижения изгибающего момента, продольной силы и перемещений в вертикальной плоскости при создании предварительного напряжения затяжек балки путепровода, что обеспечивает возможность регулирования усилий в основных элементах арочно-вантовой системы в процессе эксплуатации и тем самым существенно снизить металлоемкость проектируемой конструкции.

В связи с отсутствием специальных технических условий на проектирование сооружений для высокоскоростного транспорта предельное значение для прогиба целесообразно назначить равным $1/600$ от главного пролета L , как нормируется в нормах по проектированию

мостов [24], что дает предельную деформацию или прогиб $f_u = 600$ мм при $L = 360$ м для ВСТМ в рабочем состоянии [3].

Таким образом, приемлемым будет создание ПН нижних затяжек с усилием до 5,0 МН на стадиях ($L5$ – главной сборка балки из секций) и ($L1+L5$ – установка балки в рабочее состояние на проектную отметку). В связи с симметричным сечением целесообразно выровнять по модулю численные значения изгибающих моментов для верхней и нижней точек поперечного сечения балки, что почти получилось с усилиями ПН $N_0 = 5$ МН (Табл. 2). При этом, благодаря ПН, максимальный момент 91,59 МНм в балке снизился до 73,02 МНм (на 20,3 %), что подтверждает высокую эффективность ПН. Однако возникает необходимость контроля и регулировки уровня ПН в процессе эксплуатации ВСТМ.

РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКОГО УЧАСТКА

Для морского участка магистрали, составленного двумя прямыми перегонами между ТПУ «Ижора» – ТПУ «Кронштадт», ТПУ «Кронштадт» – ТПУ «Сестрорецк», характерны максимальные нагрузки, усилия и наибольшие длины колонн на ВСТМ (Рис. 9). Потому, в расчете, помимо типичных нагрузок, учитываемых в наземных частях магистрали, в расчетной схеме будут участвовать ударные нагрузки от навала судов [25], толщи льда и т.д. Предварительно принято решение о прохождении транспортной магистрали над акваторией Финского залива, с длиной участка, кратной пролету 180 м, и спроектировать ВСТМ, чтобы не препятствовать путям прохождения корабельных фарватеров (основной фарватер № 2 на западном участке шириной 156 м и фарватер № 13 на северном шириной 80 м), без «наезда» на дамбу и КАД. Магистраль имеет основной уровень рельсового пути для надземного и надводного опорного базиса, принятый по Балтийской системе высот на отметке +88,00 м. Надземная часть конструкции так же представлена в виде арочно-вантовой многопролетной системы из арок пролетом $L=360$ м и $L=180$ м (в крайних пролетах) и высотой более 100 м, поэтому относится к категории высотных и большепролетных сооружений.

Для определения длин колонн магистрали, расположенных непосредственно в водах залива, использованы карты глубин Финского Залива, по которым построены продольные профили магистрали с учетом рельефа местности (Рис. 9).

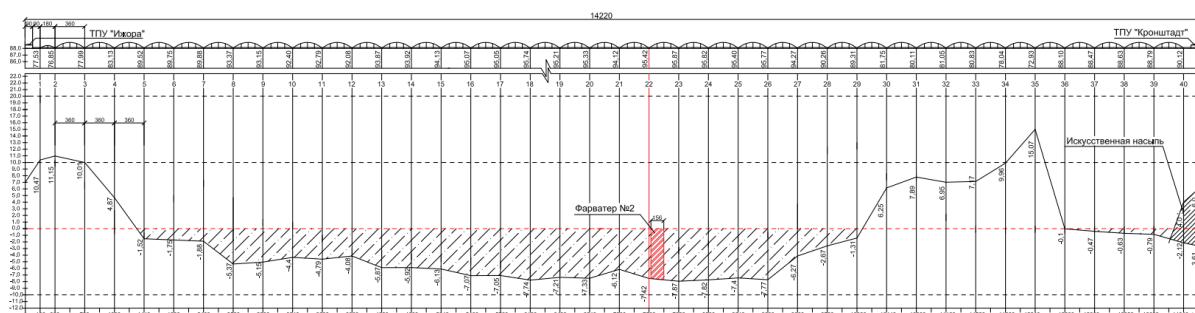


Рис. 9. Продольный профиль магистрали на участке
ТПУ Ижора – ТПУ Кронштадт

Например, колонна, расположенная вблизи прохождения фарватера, будет иметь максимальную длину 96,0 м, включая подводную часть (без учета глубины заложения свайных фундаментов). Для данного пролета с фарватером № 2 выполнен статический расчет и подбор сечений на действующие нагрузки с учётом предварительного натяжения оттяжек и подвесок, а также с учётом максимальных амплитуд резонансных колебаний систем от динамической составляющей ветровой нагрузки, включая учёт нелинейности, что предусмотрено программным пакетом SCAD.

По результатам расчета, были получены численные значения внутренних усилий и перемещений в элементах магистрали (Рис. 10), прежде всего в главной балке (Табл. 3).

Далее, по полученным значениям усилий и прогибов были подобраны сечения элементов конструкции. В результате в качестве основных несущих элементов были приняты стальные трубы большого диаметра из стали С345. Так главная транспортная балка составлена из четырех труб диаметром 3,0 м с толщиной стенки 16 мм. Колонна и ригели, образующие несущую раму выполнены из стальных труб наружным диаметром 3,8 м с толщиной стенки 25 мм, при этом вертикальные элементы выполнены трубобетонными. Элементы арки запроектированы из труб того же диаметра 3,8 м с толщиной стенки 40 мм. Пилоны запроектированы в виде рамной системы, стойки которой представлены трубобетонными элементами, являющимися продолжением свайной подземной части конструкции. Для сопряжения частей и секций применены болтовые соединения на высокопрочных болтах.

Таким образом, разработаны основные несущие строительные конструкции, обеспечивающие функционирование, требуемую надежность и безопасность ВСТМ.

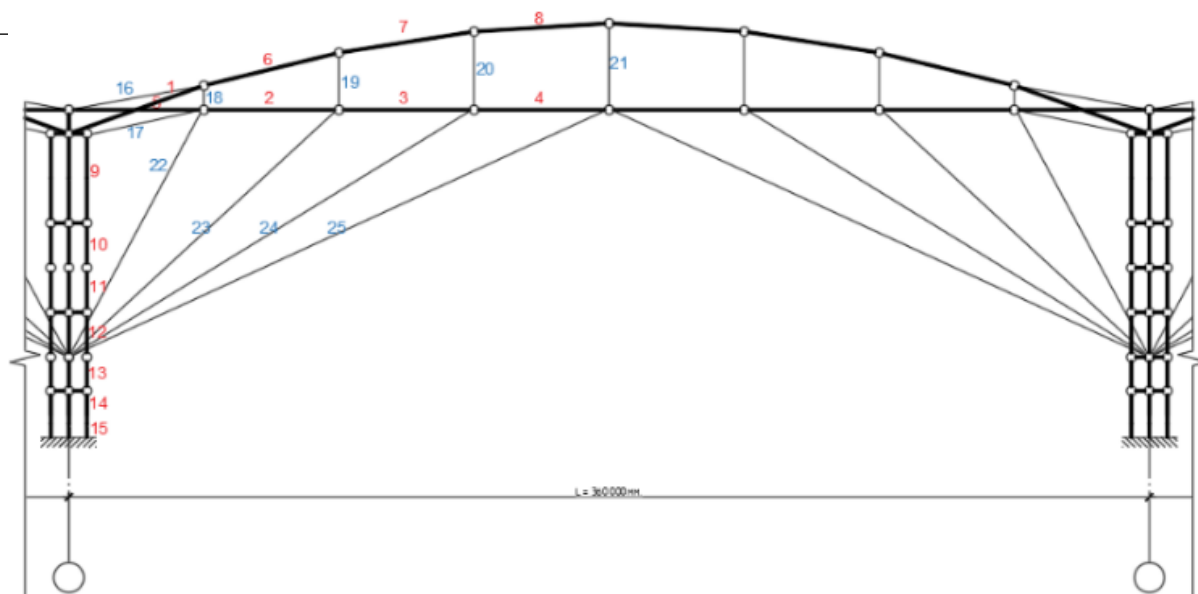


Рис. 10. Номера элементов расчетной схемы

Таблица 3. Расчетные усилия в элементах расчетной схемы

№ эл-та	N_i , кН	M_i , кНм
1	-46905,1	-48510,6
2	6950,118	-81629,2
3	7887,439	102999
4	9994,855	129767,3
5	6550,059	-127337
6	-45659,3	-48551,8
7	-44229,7	30715,04
8	-45821,3	31057,04
9	-20706,8	-9265,37
10	-20557,6	-3235,43
11	-22352,1	-3515,69
12	-22215,4	6652,97
13	-23667,6	-4357,59
14	-23969,2	12849,27
15	-20635,5	13097,92
16	1909,339	-
17	1372,681	-
18	5934,48	-
19	5008,292	-
20	5201,706	-
21	5172,264	-
22	1121,762	-
23	1082,73	-
24	1076,467	-
25	1088,211	-

В качестве вантовых конструкций приняты оцинкованные канаты маркировочный группы 1670 МПа, диаметром 120 мм, выполняющие роль подвесок и поддерживающих главную балку, канаты диаметром 70 мм, для связей и передачи усилий на балку, а также канаты диаметром 60 мм и площадью сечения, выполняющие роль ветровых оттяжек - вант.

Ориентировочный расход на все стальные элементы большого пролета 360 м, включая колонну-пилон, составил 7714,8 т или 21,43 т на пог. м длины магистрали.

На следующем этапе разработок по данной теме планируется выполнить технический проект по следующим участкам ВСТМ: ТПУ «Гатчина» - ТПУ «Рыбацкое» и ТПУ «Стрельна» - ТПУ «Ижора».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представлены результаты инициативных студенческих научных разработок СПбГАСУ по теме «Инновационные предложения по созданию высокоскоростной транспортной системы Санкт-Петербурга», а именно: модернизация схемы прокладки транспортной магистрали; архитектурная компоновка зданий транспортно-пересадочных узлов; исследование предварительно-напряжения затяжек и вант на снижение основных усилий и деформаций элементов; расчеты конструкций наиболее высокого и нагруженного морского участка. На данном этапе разработок предложена новая эффективная схема высокоскоростной транспортной магистрали в Санкт-Петербурге, отличающаяся формой в виде разомкнутого многоугольника с транспортно-пересадочными узлами в углах.

2. Данное предпроектное предложение высокоскоростной транспортной системы, устраиваемой на границах связи Санкт-Петербурга и Ленинградской области, позволит обеспечить эффективную транспортную связь мегаполиса с агломерациями Ленинградской области, обеспечивая для высокоскоростной магистрали расчетный объем пассажироперевозок в сутки, сопоставимым с данным показателем для линии метрополитена.

3. Указанная высокоскоростная транспортная магистраль является весьма актуальным транспортным объектом для Санкт-Петербурга и Ленинградской области; как ожидается, она должна обеспечить высокоскоростное окружное перемещение пассажиров как с севера на юг, так и с запада на восток и обратно, минуя основные транспортные пути мегаполиса, преодолевая естественные и искусственные преграды и проходя над высотной плотной застройкой. Так продолжительность проезда от ТПУ «Рыбацкое» до ТПУ «Кронштадт», расположенных на схеме диаметрально, составит всего полчаса.

Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга. «Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга». [Komitet po razvitiyu transportnoj infrastruktury Sankt-Peterburga. "Konceptsiya razvitiya transportnoj sistemy Sankt-Peterburga" (In Russ)]. Доступно по: <https://krti.gov.spb.ru/dorozhnyj-kompleks/konceptsiya-razvitiya-transportnoj-sistemy-sankt-peterburga/>. Ссылка активна на: 20.07.2019.
2. Город без автомобилей // Наука и жизнь. – 2019. – № 7. – С. 48–49. [Gorod bez avtomobilej. *Nauka i zhizn'*. 2019;(7):48-49. (In Russ.)].
3. Сенькин Н.А., Филимонов А.С., Харитонов К.Е. и др. К вопросу о создании высокоскоростной транспортной магистрали в Санкт-Петербурге // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 25–47. [Senkin NA, Filimonov AS, Kharitonov KE, et al. On the Creation of a High-Speed Transport Highway in St. Petersburg. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(4):73-95. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20195425-47.
4. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В.А. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с. [Antonov YuF, Zaitsev AA *Magnitolevitatsionnaja transportnaja tekhnologija*. Gapanovich VA, editor. Moscow: FIZMATLIT; 2014. 476 p. ISBN 978-5-9221-1540-7 (In Russ.)].
5. Зайцев А.А. Инновации как способ решения глобальных задач // РЖД-Партнер. – 2018. – № 13–14. – С. 35. [Zaitsev AA *Innovacii kak sposob reshenia globalnykh zadach* // RZD-PARTNER. 2018;13-14:35. (In Russ.)].
6. Федорова М.В. Скоростной городской транспорт для современной агломерации // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 26–36. [Fedorova MV. Speed urban transport for modern agglomeration. *Transportation Systems and Technology*. 2015;1(1):26-36. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst20151126-36.
7. Лаппо Г.М. Города России. Взгляд географа. – М.: Новый хронограф, 2012. – 504 с. [Lappo GM. *Goroda Rossii. Vzglyad geografa*. Moscow: Novyj hronograf; 2012. 504 p. (In Russ.)].
8. Меркулова М.В. Многофункциональный транспортно-пересадочный узел, включающий высоко- и сверхскоростные магистрали / Актуальные проблемы строительства. Материалы 70-й Всероссийской научно-практической конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербургского госуд. архитектурно-строительного ун-та. Ч.1. СПбГАСУ. – СПб, 2017. – С. 244–248. [Merkulova MV. *Mnogofunkcional'nyj transportno-peresadochnyj uzel, vkluchayushchij vysoko- i sverhskorostnye magistrali*. In "Aktual'nye problemy stroitel'stva" Materialy 70-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. St. Petersburg: GASU; 2017. pp. 244-248 (In Russ.)].
9. Медведев Н.Е. Варианты конструктивных решений надземных сооружений высоко- и сверхскоростной транспортной систем / Актуальные проблемы строительства. Материалы 70-й Всероссийской научно-практической конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербургского госуд.

- архитектурно-строительного ун-та. Ч.1. СПбГАСУ. – СПб, 2017. – С. 240–244. [Medvedev NE. Varianty konstruktivnykh reshenij nadzemnykh sooruzhenij vysokoi sverhskorostnoj transportnoj system. In “Aktual'nye problemy stroitel'stva” Materialy 70-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh St-Petersburg: GASU, 2017. pp. 240-244 (In Russ.)].
10. Бондарева Е.О. Городской многофункциональный транспортно-пересадочный узел, включающий высокоскоростную магистраль / Актуальные проблемы строительства. Материалы 70-й Всероссийской научно-практической конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербургского госуд. архитектурно-строительного ун-та. Ч.1. СПбГАСУ. – СПб, 2017.– С. 207-211. [Bondareva EO. Gorodskoj mnogofunkcional'nyj transportno-peresadochnyj uzel, vkluychayushchij vysokoskorostnuyu magistral'. In “Aktual'nye problemy stroitel'stva” Materialy 70-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh. St.Petersburg: GASU; 2017. Pp. 207-211 (In Russ.)].
 11. Якуненкова М.С. Транспортный хаб как тип общественного комплекса. Функциональные элементы транспортного хаба / Архитектура – строительство – транспорт: материалы 72-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч.1. СПбГАСУ. – СПб, 2019. – С. 185–189. [Yakunenкова MS. Transportnyj hab kak tip obshchestvennogo kompleksa. Funkcional'nye elementy transportnogo haba. In “Aktual'nye problemy stroitel'stva” Materialy 72-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh. St. Petersburg: GASU; 2019. pp. 185-189 (In Russ.)].
 12. Талашкин Г.Н. Особенности проектирования и строительства Маглев-дорог для грузовых перевозок // Транспортные системы и технологии. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 53–56. [Talashkin GN. Features of design and construction Maglev-road to freight. *Transportation systems and technology*. 2016;2(2):53-56. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20162253-56
 13. Федеральные авиационные правила «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов». [Federal'nye aviacionnye pravila ot 25 avgusta 2015 goda N 262 “Trebovaniya, prediavljaemye k aerodromam, prednaznachennym dla vzleta, posadki, ruleniya i stoyanki grazdanskikh vozdyshnykh sudov”. (In Russ.)]. Доступно по: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293759144>. Ссылка активна на: 13.11.2020.
 14. Вакуленко С.П., Евреенова Н.Ю. Техническое оснащение и технология работы транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: Учебное пособие. – М.: МИИТ, 2015. – 195 с. [Vakulenko SP, Evreenova NYu. Tekhnicheskoe osnashchenie i tekhnologiya raboty transportno-peresadochnykh uzlov, formiruemykh s uchastiem zheleznodorozhnogo transporta: Uchebnoe posobie. Moscow: МИИТ; 2015. 195 p. (In Russ.)].
 15. Безверхая Е.П., Скопинцев А.В. Функционально-типологические модели в архитектуре интермодальных транспортно-пересадочных узлов // Architecture and Modern Information Technologies. – 2019. – №3(48). – С. 135–147. [Bezverkhaya EP, Skopintsev AV. Functional-typological models in the architecture of intermodal transport interchange Hubs. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019;3(48):135-147. (In Russ.)]. Доступно по: https://marhi.ru/АМИТ/2019/PDF/10_bezverkhaya.pdf. Ссылка активна на: 13.11.2020.
 16. Вейнберг Б.П. Движение без трения. [Veinberg BP. *Dvizhenie bez treniya*. (In Russ.)]. Доступно по: http://veinberg.o7.ru/pdf/no_friction_motion.pdf/. Ссылка

активна на 15.09.2019.

17. Патент РФ на изобретение RU2327586C2 / 27.06.2008. Бюл. №11. Янсуфин Н.Р. Сверхзвуковая транспортная система Янсуфина. [Pat. RUS № 2327586C2 / 27.06.2008. Byul. № 11. Yansufin NR. *Supersonic overland transport system Yansufina*. (In Russ.)]. Доступно по: <http://allpatents.ru/patent/2327586.html>. Ссылка активна на: 15.09.2019.
18. Oster Daryl, inventor. *Evacuated tube transport*. United States patent US5950543 (A). 1999 Sept. 14. Available from: <https://patents.google.com/patent/US5950543A/en>.
19. Musk E. Huperloop Alpha. Texas: SpaceX [cited 2019 July 28]. Available at: https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf.
20. Terentyev YuA, Filimonov VV, Malinetskiy GG, et al. Russia Integrated Transit Transport System (ITTS) Basid on Vacuum Magnetic Levitation Transport (VMLT). *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3):57-84. doi: 10.17816/transsyst201843s157-84
21. Kim KK. The Russian Version of the Transport System “Hyperloop”. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(2):73-91. doi: 10.17816/transsyst20184273-91.
22. Беленя Е.И., Стрелецкий Н.Н., Ведеников Г.С. и др. Металлические конструкции: Спецкурс. Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1982. – 472 с. [Belenya EI, Streleckij NN, Vedenikov GS, et al. *Metallicheskie konstrukcii: Speckurs. Ucheb. posobie dlya vuzov*. Belenya EI, edd. Moscow: Strojizdat, 1982. 472 p. (In Russ.)].
23. Корнеев М.М. Стальные мосты. Теоретическое и практическое пособие по проектированию. – Киев: ВИПОЛ, 2003. – 547 с. [Korneev MM. *Stal'nye mosty. Teoreticheskoe i prakticheskoe posobie po proektirovaniyu*. Kiev: VIPOL, 2003. 547 p. (In Russ.)].
24. СП 35.13330.2012 Свод правил. Мосты и трубы. [SP 35.13330.2012 Svod pravil. Mosty i truby. (In Russ.)].
25. Сенькин Н.А., Филимонов А.С., Халимбеков И.М. О живучести строительных конструкций морского участка высокоскоростной транспортной магистрали от навала судна // Восточно Европейский научный журнал. – Том 11. – № 63. – 2020. – С. 40–46. [Senkin NA, Filimonov AS, Khalimbekov IM. *Survivability of building structures of naval part of a high-speed transport highway from ship strike East European Scientific Journal*. 2020;11(63):40-46. (In Russ.)]. Доступно по: https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_11_63_november_2020_part_3-1.pdf Ссылка активна на: 28.02.2019.

Сведения об авторах:

Сенькин Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент;

eLibrary SPIN: 1344-9412; ORCID: 0000-0002-7086-1960

E-mail: senkin1952@yandex.ru

Филимонов Александр Сергеевич, Бакалавр;

eLibrary SPIN: 8184-8545; ORCID: 0000-0002-4817-3184

E-mail: Sanya328kms@yandex.ru

Халимбеков Ислам Мурадович, Бакалавр;

eLibrary SPIN: 6231-2848; ORCID: 0000-0001-9448-906X

E-mail: iislamm@yandex.ru

Кравец Анжелика Игоревна, Бакалавр;

eLibrary SPIN: 8648-4778; ORCID: 0000-0001-6099-7779

E-mail: anzhelika.kravec.98@mail.ru

Митровска Дона, Бакалавр;
ORCID: 0000-0003-4748-2257

E-mail: d.mitrovska@hotmail.com

Большихшапок Иван Сергеевич, Бакалавр;
ORCID: 0000-0001-6868-4312

E-mail: i.bshapok@yandex.ru

Information about authors:

Nikolai A. Senkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 1344-9412; ORCID: 0000-0002-7086-1960
E-mail: senkin1952@yandex.ru

Aleksandr S. Filimonov, Bachelor of Science;
eLibrary SPIN: 8184-8545; ORCID: 0000-0002-4817-3184
E-mail: Sanya328kms@yandex.ru

Islam M. Khalimbekov, Bachelor of Science;
eLibrary SPIN: 6231-2848 ; ORCID: 0000-0001-9448-906X
E-mail: iislamm@yandex.ru

Angelica I. Kravets, Bachelor of Science;
eLibrary SPIN: 8648-4778; ORCID: 0000-0001-6099-7779
E-mail: anzhelika.kravec.98@mail.ru

Mitrovska Dona, Bachelor of Science;
ORCID: 0000-0003-4748-2257
E-mail: d.mitrovska@hotmail.com

Ivan S. Bolshikhshapok, Bachelor of Science;
ORCID: 0000-0001-6868-4312
E-mail: i.bshapok@yandex.ru

Цитировать:

Сенькин Н.А., Филимонов А.С., Халимбеков И.М. и др. Предложения по строительству эстакадных конструкций и транспортно-пересадочных узлов высокоскоростной магистрали в Санкт-Петербурге // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 99–123. doi 10.17816/transsyst20217199-123

To cite this article:

Senkin NA, Filimonov AS, Khalimbekov IM, et al. Proposals for the construction of overpass structures and transport hubs for the high-speed highway in St. Petersburg. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(1):99-123. doi 10.17816/transsyst20217199-123