

Раздел 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 625.541

Г. Н. Талашкин

Союз строителей железных дорог

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ МАГЛЕВ-ДОРОГ

Дата поступления 07.09.2016

Решение о публикации 30.11.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: Статья посвящена вопросам проектирования и строительства искусственных сооружений.

Введение: Представлен краткий анализ зарубежного опыта проектирования и строительства мостов и эстакад для дорог с использованием магнитолевитационной технологии (маглев-дорог). Рассмотрены основные параметры и конструктивно-технологические решения пролетных строений различных сечений и опор.

Анализ: Исходя из зарубежного опыта, рассмотрено применение различных материалов, возможных для использования при строительстве маглев-дорог, такие как железобетон и сталь, а также композитные материалы. Проанализирована работа пролетных строений различной длины и системы. Дана оценка искусственных сооружений неразрезной системы, которая позволяет уменьшить их материалоемкость за счет более выгодного распределения усилий, возникающих в балках.

Результаты: Описаны возможные способы строительства магнитолевитационных дорог, такие как применение подмостей, перемещающихся из пролета в пролет по мере бетонирования секций, а также метод циклической продольной надвигки, который сочетает в себе последовательное изготовление секций неразрезного пролетного строения на стапеле и продольную передвигку собранной плети из нескольких секций по оси моста.

Выводы: Сформулирована основная технологическая проблема, связанная со строительством искусственных сооружений.

Ключевые слова: Проектирование дорог с магнитным подвесом, искусственные сооружения, конструкции пролетных строений и опор, технология строительства.

Gennadiy N. Talashkin

Union of Builders of the Railroads

FEATURES DESIGN AND CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL
STRUCTURES FOR MAGLEV - ROADS

Abstract: The article is devoted to the design and construction of artificial structures.

Introduction: A brief analysis of foreign experience in the design and construction of bridges and overpasses for roads with magnetic levitation technology (maglev-roads). The basic parameters and design and technology solutions span structures of various sections and pillars.

Analysis: Based on international experience, discussed the use of different materials for possible use in the construction of roads, maglev, such as concrete and steel, as well as composite materials. The operation of superstructures of various lengths and systems. The estimation of man-made structures of a continuous system, which can reduce their material consumption due to a more favorable distribution of forces arising in the beams.

Results: The possible construction methods magnetic levitation roads, such as the use of scaffolding, moving from a flight to flight as the concreting sections, as well as the method of cyclical longitudinal sliding, which combines the serial production of sections of continuous superstructure on the stocks and longitudinal shifting collected whip of several sections on axis of the bridge.

Conclusions: Formulated the main technical problem related to the construction of artificial structures.

Keywords: Road Design with magnetic levitation, artificial structures, superstructure and supports the construction of technology.

Введение

Создание трассы под магнитолевитационный транспорт [1, 2], для пассажирских или грузовых перевозок – серьезная многофакторная задача, возможность реализации и цена которой определяется на этапе проектирования. Причем, такой проект применительно к грузовым перевозкам во многом имеет «пилотный», инновационный характер.

1 июня 2015 г. состоялось важное событие на пути создания грузового Маглева в России. На территории моторовагонного депо СПб Балтийский (ТЧ-15) был смонтирован стенд для проведения натурального эксперимента. Специалисты и гости смогли своими глазами увидеть и оценить возможности перевозки морских контейнеров с использованием магнитолевитационной технологии. Эксперимент полностью подтвердил достоверность теоретических разработок в области магнитной левитации.

В сборниках статей 2-й и 3-й Международных научных конференций «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии» и других источниках, посвященных этой тематике достаточно подробно были рассмотрены общие вопросы проектирования и строительства дорог с использованием магнитной левитации [3, 4, 5]. Данная статья является более детальным рассмотрением одного из важных элементов инфраструктуры магнитолевитационного транспорта – искусственных сооружений.

Но, очевидно, магнитная часть не может эксплуатироваться сама по себе, она должна опираться на так называемую «путевую структуру»

(подобную «верхнему строению пути» на обычных железных дорогах), которая, в свою очередь, тоже должна на «что-то» опираться: земляное полотно или искусственные сооружения. И этим «что-то» мы уже серьезно занимаемся. Естественно, начав с изучения мирового и отечественного опыта.

Определение возможных скоростных режимов и степени разрежения

Сравнительный анализ энергозатрат атмосферных систем «колесо-рельс», системы магнитной левитации и систем транспорта в разреженной среде показывает, что последние приобретают экономическую целесообразность только при скорости движения, не достижимой атмосферным транспортом, так как затраты энергии, объемы капитальных вложений, затраты на обслуживание данной системы будут значительно выше, чем в уже существующем традиционном атмосферном транспорте.

На сегодняшний день практическое применение имеет транспорт, движущийся со скоростью до 300 км/ч (железнодорожный) и свыше 900 км/ч (воздушный). Скоростной диапазон от 300 до 900 км/ч остается не освоенным, и является оптимальным для исследуемого вида транспорта.

Анализ данных, полученных при эксплуатации магнитолевитационного транспорта в Германии, Китае и Японии, позволил сделать обзор скоростных режимов движения (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Достижения скоростных режимов магнитолевитационного транспорта [5]

Германия		Китай		Япония	
Год	Достигнутая скорость, км/ч	Год	Достигнутая скорость, км/ч	Год	Достигнутая скорость, км/ч
1973	250	2004	350	1979	517
1974	401	2007	550	1987	400,8
1980	420	2009	394	1997	550
1984	400	-	-	2003	581
1993	450	-	-	2015	603
1999	500	-	-	-	-
2002	430	-	-	-	-
2003	501	-	-	-	-

На основании данных, приведенных в таблице 2.1, можно сделать вывод о том, что для получения явных преимуществ перед существующими видами транспорта исследуемый транспорт должен обладать скоростными характеристиками от 300 до 1 000 км/ч.

Основным фактором, влияющим на скоростной диапазон движения транспортных единиц в исследуемой системе, является аэродинамическое сопротивление, возникающее при движении.

Особенностью разрабатываемой системы является снижение аэродинамического сопротивления при движении транспортной единицы за счет создания на пути следования зоны низкого давления - разрежения.

Зависимость аэродинамической силы торможения от скорости и степени разрежения вычисляется по формуле:

$$F = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2, \quad (2.1)$$

где

C – аэродинамический коэффициент сопротивления;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S – фронтальная (лобовая) площадь поперечного сечения, м²;

v – скорость движения, м/с.

Плотность воздуха в зависимости от степени разрежения находится по формуле [8]:

$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{R \cdot T} = \frac{353 \cdot P_1}{(273 + t) \cdot P_{\text{бар}}}, \quad (2.2)$$

где

P – давление воздуха;

μ – молярная масса воздуха;

t – температура воздуха;

$P_{\text{бар}}$ – барометрическое давление воздуха.

Для расчетов принят наиболее «неблагоприятный» с точки зрения аэродинамики вариант формы носовой части транспортной единицы – торцевая стенка морского контейнера.

Результаты расчетов аэродинамической силы торможения в зависимости от скорости движения и степени разрежения при температуре воздуха +20 °С приведены на рис. 2.1.

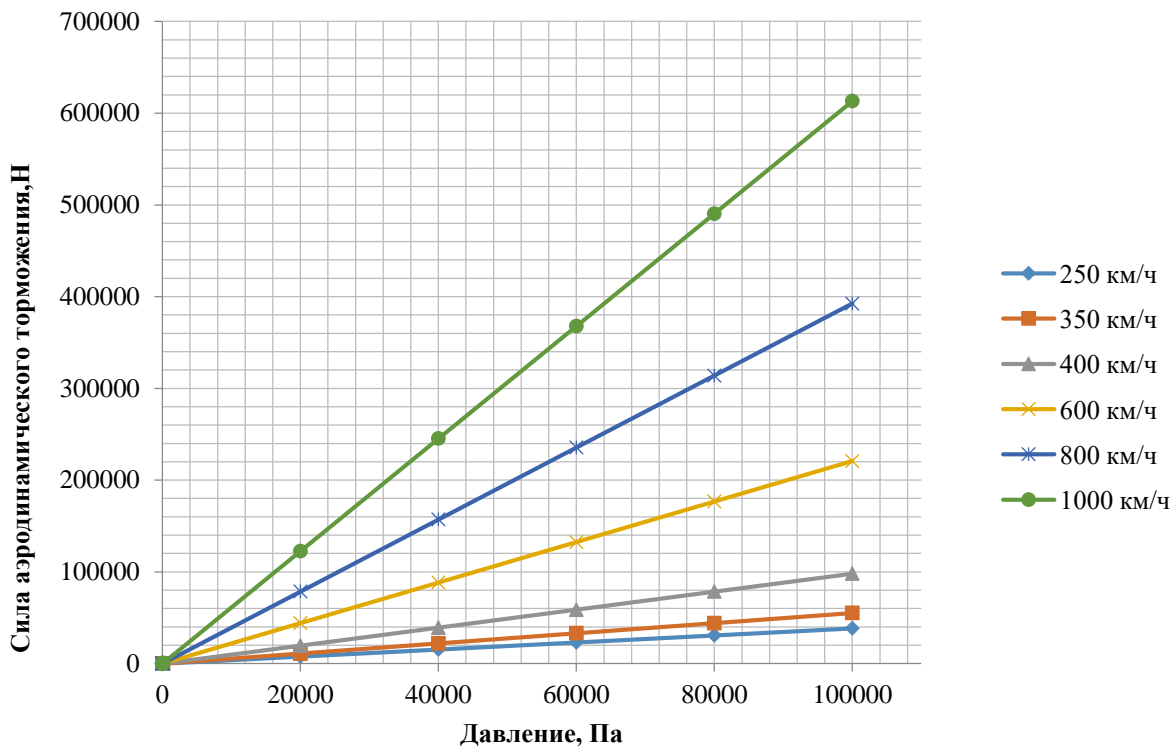


Рис. 2.1. Зависимость силы аэродинамического торможения от степени разрежения

Зависимость аэродинамической силы торможения от скорости движения при различном давлении показано на рис. 2.2.

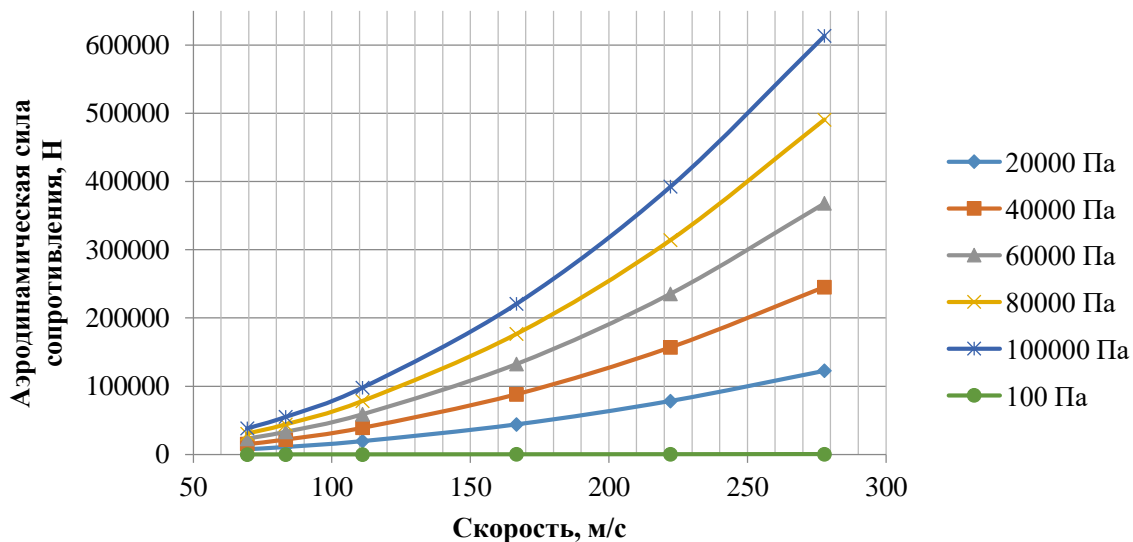


Рис. 2.2. Зависимость силы аэродинамического торможения от скорости движения

Эксплуатация исследуемого вида транспорта предполагается в широком диапазоне климатических условий, что требует проведения анализа влияния температуры воздуха в диапазоне от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ на

силу аэродинамического торможения. Результаты анализа приведены на рис. 2.3 и рис. 2.4.

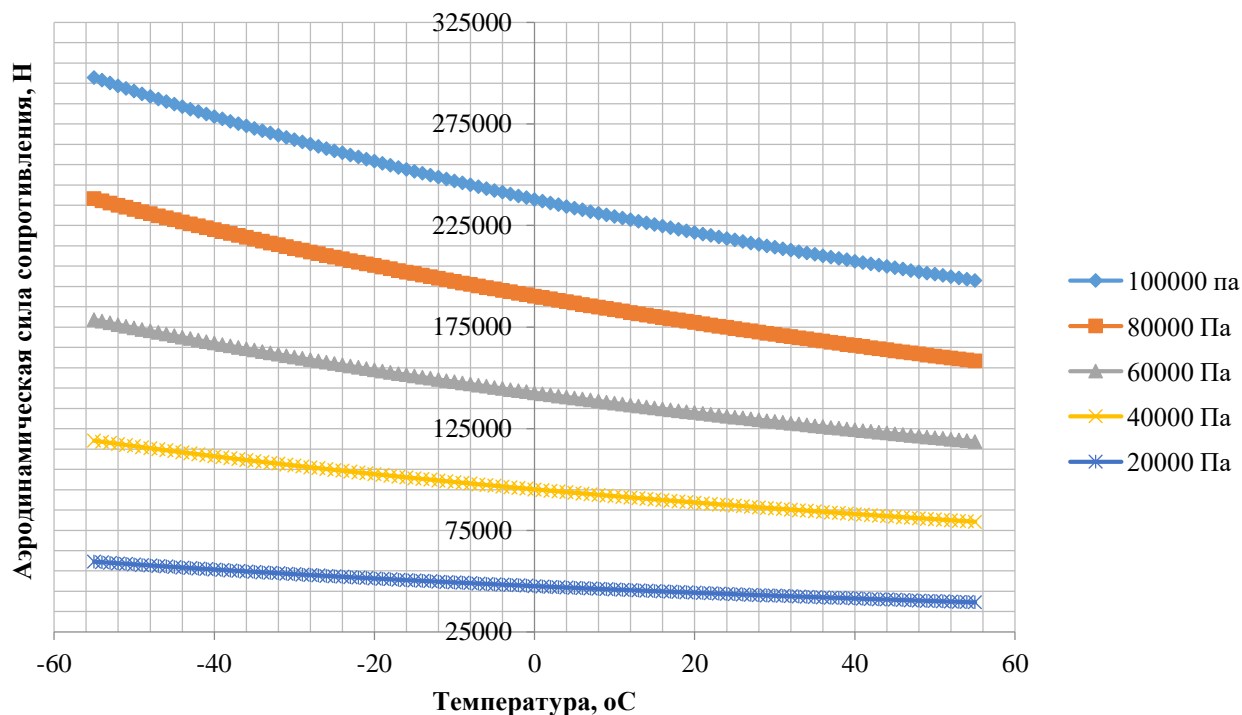


Рис. 2.3. Зависимость силы аэродинамического торможения от температуры среды (при скорости движения 600 км/ч)

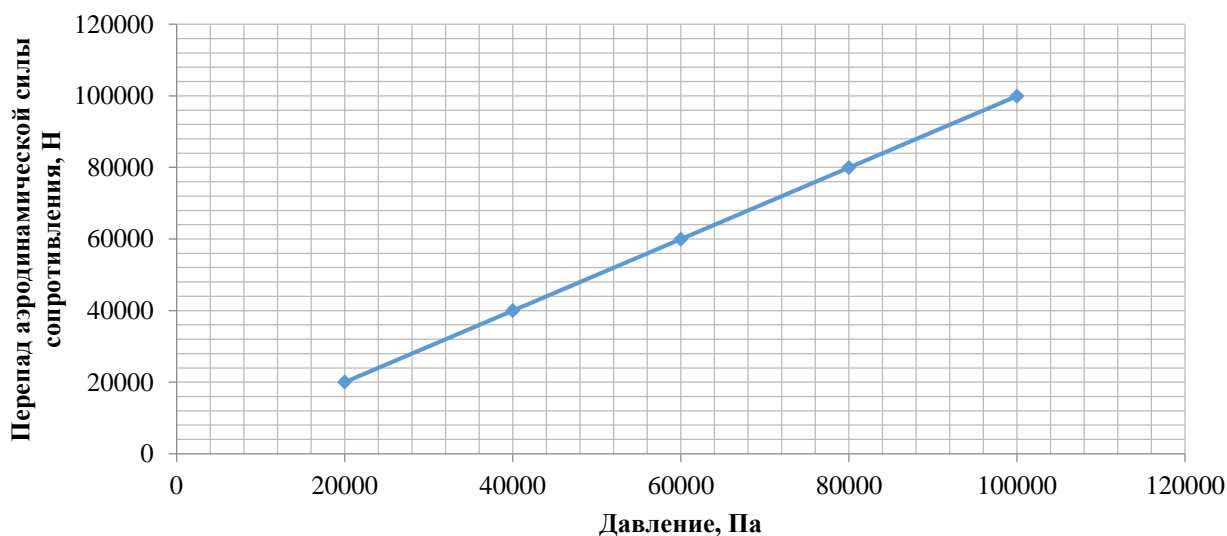


Рис. 2.4. Диапазон изменения силы аэродинамического торможения в температурных пределах от -55 °С до +55 °С в зависимости от давления

В исследуемой транспортной системе применяется три класса оборудования:

- 1) для создания разрежения (высокой производительности);
- 2) для поддержания разрежения (малой / средней производительности);
- 3) для обеспечения работы шлюзовых участков.

Предполагаемая схема установки оборудования приведена на рис. 2.5.

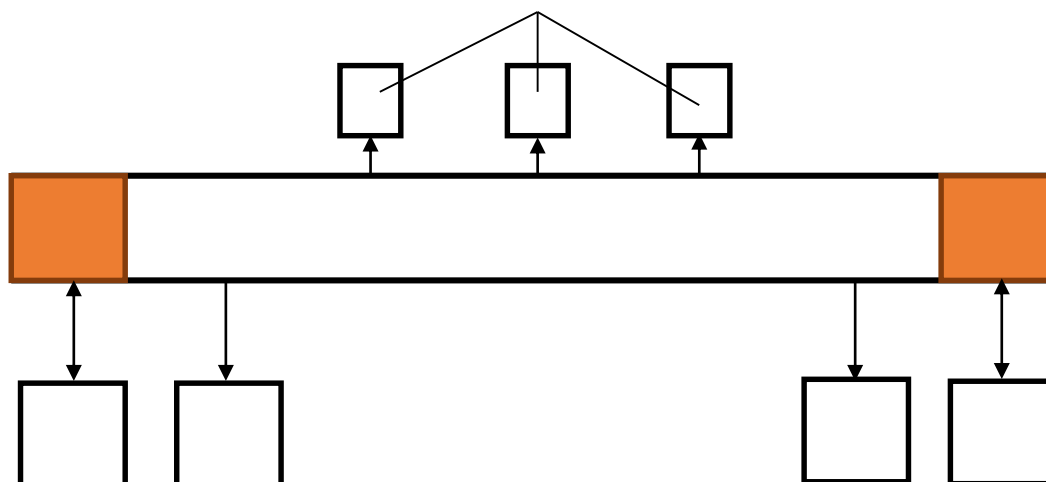


Рис. 2.5. Предполагаемая схема установки оборудования для создания разрежения:
1 – установка создания разрежения; 2 – установка для обеспечения работы шлюзовых камер; 3 – установка для поддержания разрежения

Установки (1) предназначены для создания разрежения в вакуумном трубопроводе. Время работы данных установок зависит от протяженности магистрали, диаметра и производительности вакуумных станций. При эксплуатации в штатном режиме, для поддержания требуемого давления в вакуумном трубопроводе используются установки (3) меньшей производительности, а установки высокой производительности (1) не задействованы. Для обеспечения работы шлюзовых камер используются установки (2). Так как разрабатываемая ТС предполагается в двухтрубном и более исполнении предлагается схема работы шлюзовых камер и вакуумных станций по схеме приведенной на рис. 2.6.

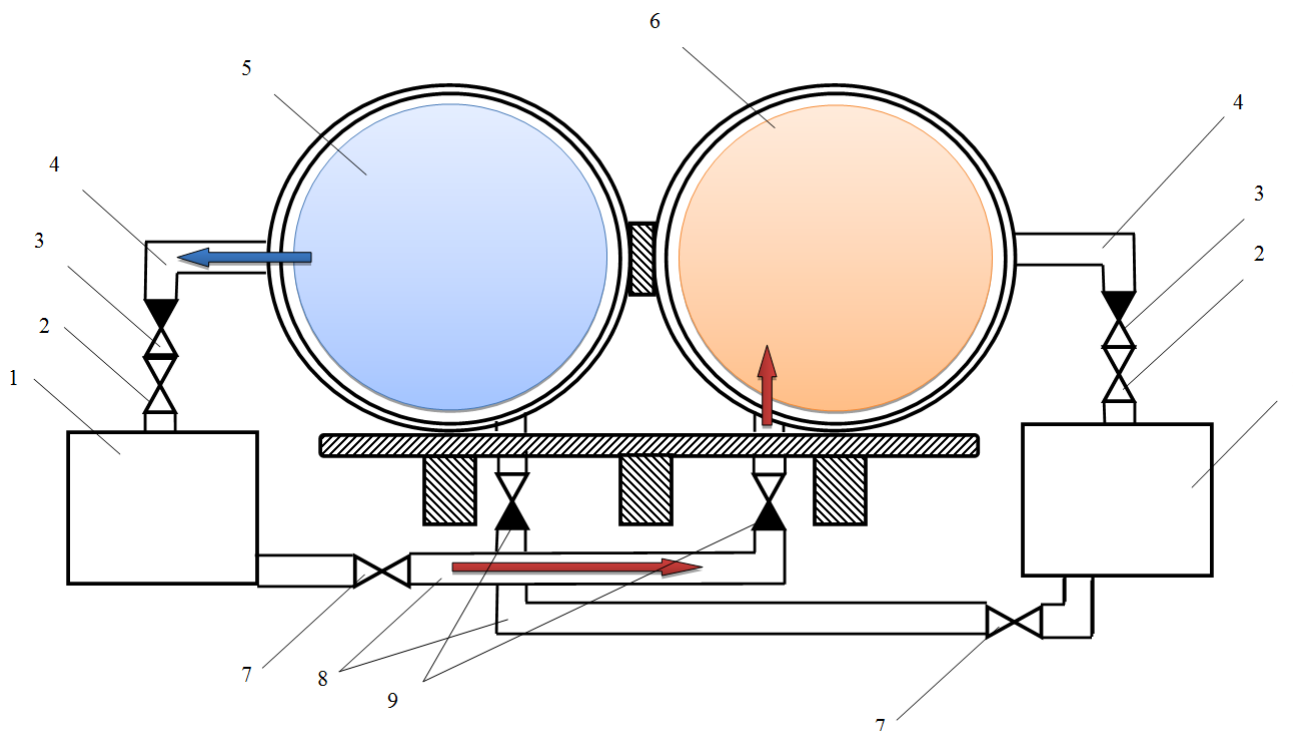


Рис. 2.6 - Принципиальная схема работы шлюзовых камер

1 - вакуумная станция; 2 - регулирующий клапан; 3 - обратный клапан всасывающего трубопровода; 4- всасывающий трубопровод; 5 - зона создаваемого разрежения; 6 - зона создания атмосферного давления; 7 - регулирующий клапан напорного трубопровода; 8 -напорный трубопровод; 9 - обратный клапан напорного трубопровода; 10 - регулируемая предохранительная линия.

Шлюзование прибывшей и отправляемой транспортных единиц осуществляется одновременно. Данная технология позволяет сократить время и затраты энергии на откачку воздуха из первой шлюзовой камеры и заполнение второй. Схема позволяет обеспечивать переключение шлюзовых камер как на откачку воздуха, так и на заполнение. Кроме того, такой способ шлюзования позволяет обеспечить плавность откачки и заполнения шлюзовых камер, что является не маловажным, поскольку резкие перепады давления могут оказать негативное воздействие на всю конструкцию в целом.

Контроль степени разрежения осуществляется с помощью датчиков разрежения, установленных на протяжении всей магистрали.

Откачка воздушной среды осуществляется через патрубки, оборудованные регулируемыми и предохранительными клапанами.

Степень вакуума определяется количеством вещества, оставшимся в системе. Вакуум, в первую очередь, определяется абсолютным давлением, а полная характеристика требует дополнительных параметров, таких как температура и химический состав. Одним из наиболее важных параметров является средняя длина свободного пробега остаточных газов, которая указывает среднее расстояние, которое частица пролетает за время

свободного пробега от одного столкновения до следующего. Свойства разреженного газа сильно изменяются, когда длина свободного пробега становится сравнима с размерами сосуда, в котором находится газ.

Вакуум подразделяется на диапазоны в соответствии с технологией, необходимой для его достижения или измерения. Эти диапазоны не имеют общепризнанных определений; типичное распределение представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Классификация вакуума

	Давление, мм рт. ст.	Давление, Па
Атмосферное давление	760	$1,03 \cdot 10^5$
Низкий вакуум	760...25	$1,03 \cdot 10^5 \dots 10$
Средний вакуум	$25 \dots 10^{-3}$	$10 \dots 10^{-3}$
Высокий вакуум	$10^{-3} \dots 10^{-9}$	$10^{-3} \dots 10^{-6}$
Сверхвысокий вакуум	$10^{-9} \dots 10^{-12}$	$10^{-6} \dots 10^{-10}$
Экстремальный вакуум	$< 10^{-12}$	$< 10^{-10}$
Космическое пространство	$10^{-6} \dots 3 \cdot 10^{-17}$	$10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-15}$
Абсолютный вакуум	0	0

В системе рассматривается применение низкого вакуума. Применение среднего, сверхвысокого и экстремального вакуума нецелесообразно с точки зрения сложности его получения и безопасности всей системы.

На основании произведенных оценочных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. При скорости движения свыше 300 км/ч целесообразно рассматривать движение в среде с давлением от 0,1 до 20 кПа (100 – 20000 Па).

2. При давлении 0,1 кПа (100 Па) среда, в которой движется транспортное средство, практически не влияет на скорость движения.

3. При понижении давления существенно снижается влияние температуры на величину аэродинамической силы сопротивления.

Так как наименьшее влияние аэродинамической силы сопротивления при скорости свыше 300 км/ч достигается при давлении среды менее 5 кПа (5000 Па), данную величину целесообразно рассматривать при проектировании нового вида транспорта.

Габариты

Одним из важных факторов при разработке транспорта, движущегося в разреженной среде, являются габариты транспортного средства. В частности, необходимо рассмотреть соотношение лобовой площади транспортной единицы к площади сечения трубы. Минимальный зазор между транспортной единицей и ограждающей конструкцией

трубопровода должен быть такой величины, которая согласуется с различными режимами эксплуатации транспортной единицы (равномерность, степень загрузки (порожняя и полная), движение транспортной единицы отдельно или в составе). Кроме того, необходим учет возможного загрязнения поверхностей.

В отсутствии аналогов разработок грузовых магнитолевитационных систем, целесообразно рассмотреть вариант создания транспортных единиц, предназначенных для контейнерных перевозок, что обеспечит конкурентоспособность нового вида транспорта по отношению к другим видам. Исходя из габаритов контейнеров и грузовой магнитолевитационной транспортной платформы, диаметр ограждающих конструкций разрабатываемой системы должен составлять не менее 3,7...4,0 м.

Данные параметры являются оптимальными на данном этапе работ, однако могут быть скорректированы на основании результатов, которые будут получены в ходе математического моделирования.

Диаметр и площадь сечения транспортной единицы зависят от компоновки пассажирского салона, компоновки грузового отсека транспортной единицы и расположения элементов систем левитации, стабилизации и линейного двигателя.

Грузоподъемность системы

При проектировании транспортной системы необходимо учитывать:

1) Разницу в массе порожней и загруженной магнитолевитационной транспортной единицы, влияющую на рабочий левитационный зазор между транспортной платформой и активной путевой структурой. При изменении зазора процессы взаимодействия магнитных полей существенно изменяются, резко ухудшая тяговые и левитационные характеристики;

2) Неравномерное распределение центра масс груза по площади магнитолевитационной платформы, вызывающее кренение в продольных и поперечных осях платформы. Вследствие кренения происходит изменение рабочего левитационного зазора, в результате могут возникать не расчетные характеристики взаимодействия магнитных полей, которые могут привести к нештатным ситуациям:

- Взаимное разрушение активной путевой структуры и платформы при контакте;
- Нарушение боковой стабилизации.

3) Изменение рабочего левитационного зазора при резком разгоне и аварийном торможении, приводящее к контакту платформы и активной путевой структуры;

4) Высокую стоимость магнитов или большие затраты энергии, необходимые для обеспечения достаточной жесткости магнитного поля при больших массах груза.

Все вышеперечисленные проблемы имеют приемлемые технические решения применительно к пассажирскому магнитолевитационному транспорту:

1) Масса состава с пассажирами и без не критична, разница не способна повлиять на процессы левитации и стабилизации;

2) Ускорения разгона и торможения в пассажирском составе жестко лимитированы, в связи с чем не возникает критических значений кренов;

3) Распределение массы в пассажирском составе равномерно;

4) Вагоны пассажирского магнитолевитационного транспорта изготавливаются из материалов, имеющих низкий удельный вес, так как нагрузка на конструкцию пассажирского состава мала.

На основании результатов проведенных исследований получена зависимость (рис. 2.7.) величины зазора левитации l от вертикального усилия P , создаваемого с помощью гидравлического пресса, моделирующего различные массы грузов.

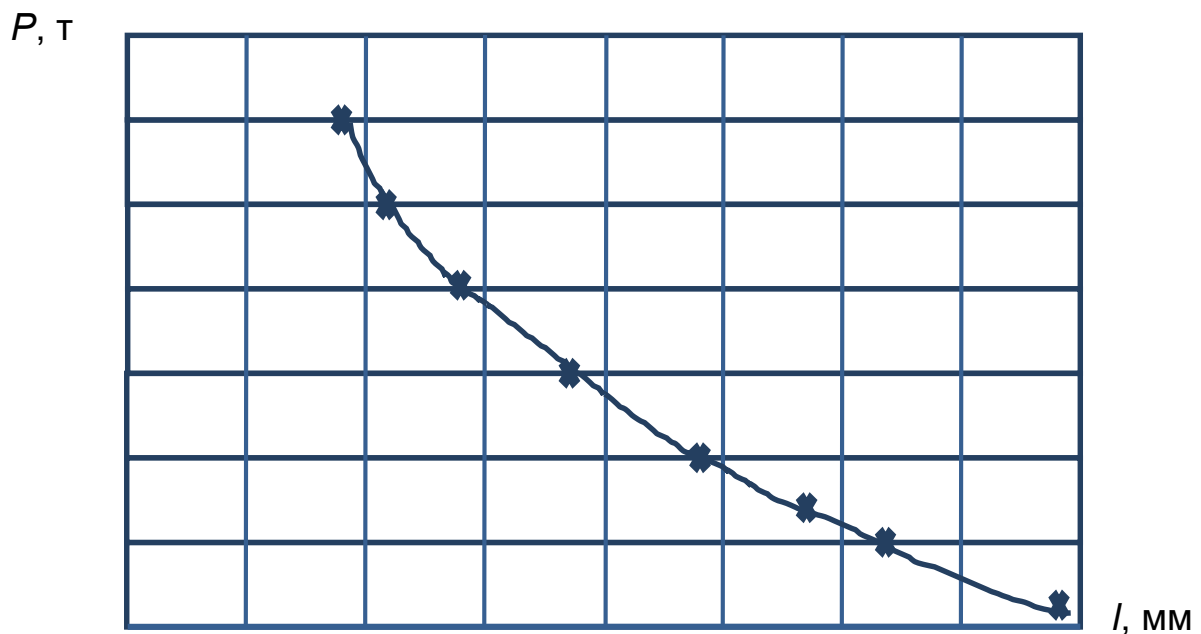


Рис. 2.7. График зависимости подъемной силы левитации P от левитационного зазора l магнитного модуля

Из графика видно, что величина левитационного зазора магнитных модулей зависит от массы, которая будет воздействовать на магниты в реальных условиях.

В ходе испытаний экспериментального полномасштабного макета грузовой магнитолевитационной транспортной платформы (Приложение Б) была продемонстрирована практическая осуществимость основных систем – левитации и линейной тяги. При нагрузке 28 т левитационный зазор составляет 15–20 мм при нулевой скорости и при перемещении на расстояние 60 см (рис. 2.8). Полученные параметры согласуются со значениями, которые установлены экспериментально при испытании на нагрузку четырех штатных магнитных модулей левитации.



Рис. 2.8. Полномасштабный макет грузовой магнитолевитационной транспортной платформы с 40-футовым морским контейнером серии ISO 1AAA

Оценка энергозатрат системы

Энергозатраты разрабатываемой транспортной системы можно разделить на несколько основных направлений:

- Затраты энергии на системы обеспечения разряжения;
- Затраты энергии на обеспечение движения и левитации транспортной единицы;
- Затраты энергии на обеспечение работы системы управления (системы автоматизации и диспетчеризации).

К основным затратам электроэнергии в разрабатываемой системе можно отнести затраты на системы создания и поддержание разряжения. При скорости свыше 300 км/ч аэродинамическое сопротивление достигает критических значений, тогда продольный профиль пути можно не принимать во внимание в расчетах энергетических затрат транспортной системы.

Принимая во внимание результаты анализа скоростных режимов и степени разрежения в разрабатываемой системе, создаваемое

разряжение должно лежать в пределах <5 кПа (50 мбар). В соответствии с таблицей, приведенной в Приложении А, установки, способные обеспечить данные параметры, имеют различную производительность. Затраты электроэнергии на создание разрежения в данном случае так же существенно зависят от производительности.

График производительности установок и мощности приведен на рисунке 2.10.

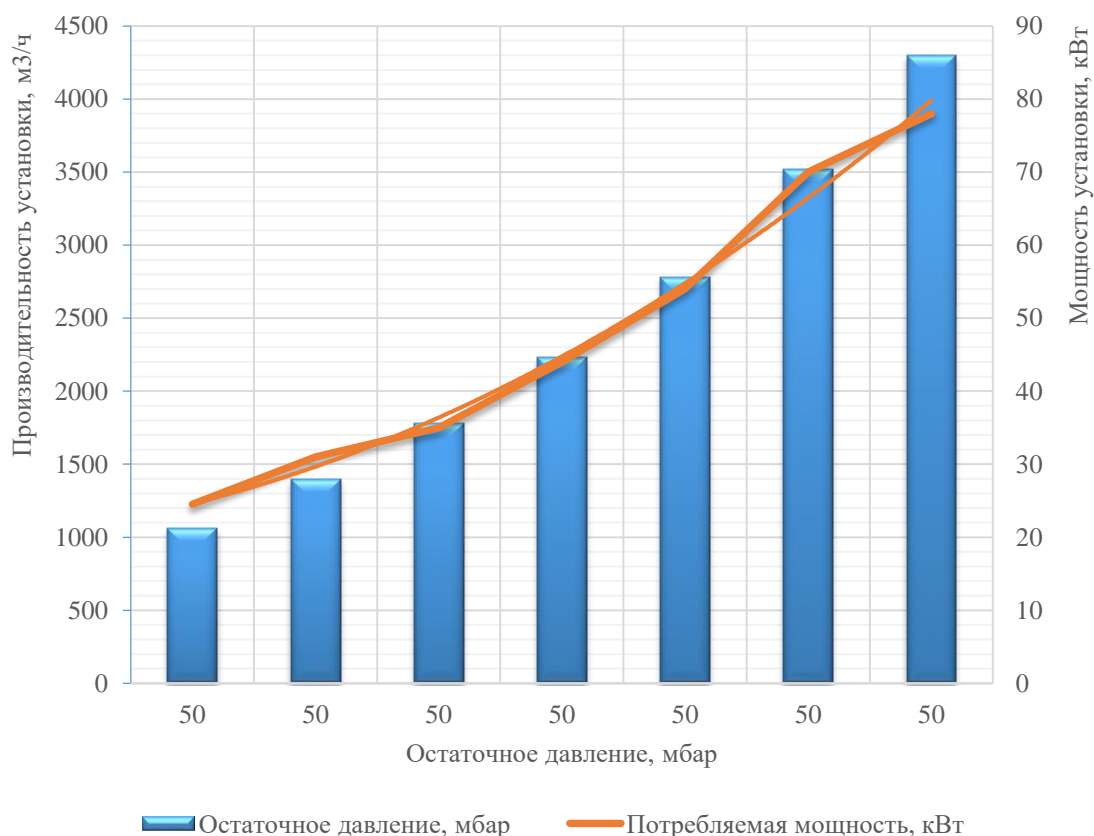


Рис. 2.10. Изменение производительности установки с учетом габаритов системы, приведенных в п. 2.3, определено изменение затрат электроэнергии в зависимости от времени откачки на 1 км разрабатываемой системы (табл. 2.3).

Таблица 2.3.

Производительность установки, м3/ч	Время создания разрежения, ч	Предполагаемые затраты электроэнергии, кВт·ч
50 мбар		
1060	12	290
1400	9	278
1780	7	247
2230	6	248
2780	5	244
3520	4	250
4300	3	228
25 мбар		
930	14	331
1250	10	311
1620	8	264
2060	6	262
2540	5	262
3250	4	263
3980	3	243

Количество запусков системы создания разрежения предусматривается 2 раза в год после проведения регламентных работ по окончанию зимнего и летнего периодов. Проведение регламентных работ предусматривает повышение давления в системе до атмосферного и осмотр технического состояния системы в целом.

Описание оборудования, предлагаемого к установке, приведено в Приложении В отчета.

При анализе принимались следующие исходные данные:

- рассматриваемая протяженность участка магистрали – 1000 км;
- скорость движения – 250 км/ч;
- рассматриваемый временной промежуток эксплуатации – 1 год;
- схема движения – в одном направлении (один вакуумный трубопровод).

Результаты сравнительного анализа показаны в табл. 2.4 и на рис. 2.11.

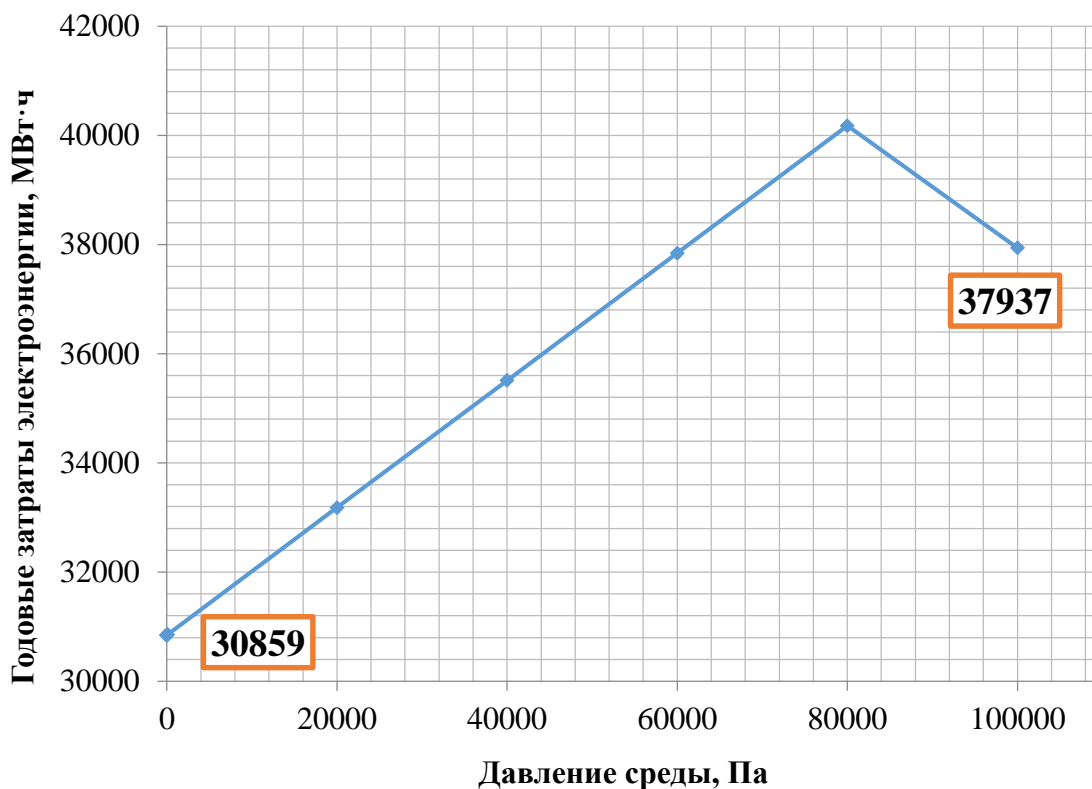


Рис. 2.11. Годовые затраты электроэнергии на обеспечение движения, создания и поддержания разрежения в зависимости от давления среды

Таблица 2.4. Результаты сравнительного анализа затрат электроэнергии

№ п/п	Параметр	Ед. изм	Величина	
1	Давление	Па	100000	<5000
2	Скорость движения	км/ч	250	250
3	Аэродинамическая сила торможения	Н	38326	38
4	Мощность на преодоление аэродинамического сопротивления	кВт	1331	1,3
5	Мощность необходимая для движения транспортной единицы	кВт	3000	3000
6	Суммарная мощность транспортной единицы	кВт	4331	3001
7	Длина магистрального участка	м	1000000	1000000
8	Длина участков шлюзования	м	-	4000
9	Диаметр вакуумного трубопровода	м	-	4
10	Объем магистрального участка	м ³	-	12560000
11	Объем участков шлюзования	м ³	-	50240
12	Предполагаемые притоки воздуха на магистральном	%	-	0,1
		м ³	-	12560

№ п/п	Параметр	Ед. изм	Величина	
	участке из-за возможных неплотностей конструкции и газопроницаемости материалов			
13	Мощность установок для создания разрежения	кВт	-	78
14	Мощность установок для поддержания разрежения	кВт	-	24,50
15	Мощность установок для шлюзовых камер	кВт	-	78
16	Производительность установок для создания разрежения	м ³ /ч	-	4500
17	Производительность установок для поддержания разрежения	м ³ /ч	-	1060
18	Производительность установок для шлюзовых камер	м ³ /ч	-	4500
19	Количество установок для создания разрежения	шт.	-	20
20	Количество установок для поддержания разрежения	шт.	-	12
21	Количество установок для шлюзовых камер	шт.	-	2
22	Время откачки воздуха	ч	-	140
23	Время откачки воздуха из шлюзовых камер	ч	-	1
24	Рассматриваемый период эксплуатации	год	1	1
		час	8760	8760
26	Количество предполагаемых запусков установок для создания разрежения	шт./год	-	2
27	Количество запусков шлюзовых камер / время их работы	раз/сут.	-	20
		раз/год	-	7300
		час	-	10187,56
28	Предполагаемое количество перемещаемых транспортных единиц	шт./сут.	20	20
		шт./год	7300	7300
29	Суммарные годовые затраты электроэнергии, в том числе:	МВт·ч	37937	30859
29.1	На движение	МВт·ч	37937	26292
29.2	На создание разрежения	МВт·ч	-	435
29.3	На поддержание разрежения	МВт·ч	-	2543
29.4	На шлюзовые камеры	МВт·ч	-	1589

Анализ

Накопленный мировой опыт создания трасс, Маглев ограничивается в основном пассажирскими перевозками. Экспериментальный участок «General Atomics», построенный в 1995 г. для перевозки морских контейнеров в Лос-Анджелесе (США), представляет интерес больше для конструкторов подвижного состава, нежели для проектировщиков и строителей инфраструктуры (длина участка 1,5 м невелика и не потребовала устройства протяженных эстакад).

Из многолетнего опыта компании Transrapid, построившей тестовый трек в Эмсланде (Германия) и уже 12 лет эксплуатирующей коммерческую пассажирскую линию Шанхай – аэропорт Пудонг (КНР), известно, что строительство инфраструктуры является самой дорогой частью проекта и может составлять до 60-80 % от общих затрат. Поэтому принятие верных проектных и, прежде всего, конструктивных, решений является основополагающим фактором в обеспечении экономического успеха проекта.

Самыми распространенными и дорогостоящими инфраструктурными объектами линий Маглев являются искусственные сооружения в виде эстакад и путепроводов, реже – мостов и виадуков. Их конструктивно-технологические решения отличаются большим разнообразием, определяемым особенностями использования той или иной конструкции, технологии возведения, местными условиями и технико-экономическими показателями.

Ключевыми моментами в принятии конструктивно-технологических решений являются выбор наиболее эффективного материала для пролетных строений, а также определение оптимальной величины перекрываемых пролетов.

Изучение опыта компании Transrapid, показало, что в своей практике она использует различные материалы и типы пролетных строений. Самым эффективным материалом признан железобетон с предварительным натяжением арматурных канатов. Стальные и комбинированные (сталь и железобетон) пролетные строения, как и следовало ожидать, оказались более трудоёмкими при изготовлении и менее экономичными. Их применение оправдано только при необходимости перекрытия пролетов более 40 м на мостах через широкие и глубокие водотоки и на путепроводах в местах пересечений с автомобильными и железными дорогами.

Пролетные строения из композитных материалов пока не рассматривались. В то же время мы узнаем из СМИ, что японские компании Toho Tenax и Kawasaki Heavy Industries работают с 2013 г. над созданием листовых рессор вагонных тележек из композиционного материала, на основе специализированного углеродного волокна и

пластика, причем собираются запустить их в серийное производство [6, 7]. А характер напряженно-деформированного состояния рессор ничем не «лучше», чем, к примеру, у пролетных строений мостов. То есть зарубежный опыт подсказывает нам, что возможности композитов настолько велики, что надо смелее их изучать и внедрять.

Длина перекрываемых пролетов в большинстве случаев составляет 23-25 м, что обусловлено достижением минимальной стоимости сооружения одного километра эстакады. При таких пролетах очевидно преимущество балочных пролетных строений, особенно неразрезной системы, которая позволяет уменьшить их материалоёмкость (в конечном итоге – стоимость) за счет более выгодного распределения усилий, возникающих в балках. При увеличении длины пролетов свыше 25 м стоимость эстакады начинает нелинейно возрастать, даже несмотря на некоторое сокращение количества устраиваемых опор.

Несколько удивляет, почему компания Transrapid остановилась на двухпролетных неразрезных пролетных строениях. В нашем понимании, это не обеспечивает в полной мере высокую эффективность расхода материала. Трех- или даже четырехпролетные балки более эффективны по сравнению с двухпролетными.

Форма поперечного сечения балок пролетных строений во многом зависит от перекрываемого пролета и может быть Т- или П-образной, либо коробчатого типа. Для пролетов длиной до 23 м возможно применение плитных пролетных строений, в том числе с продольными или поперечными пустотами для уменьшения собственного веса. При пролетах 16-27 м – ребристых и плитно-ребристых пролетных строений. Коробчатое сечение целесообразно применять для пролетов 33-55 м.

Немаловажный вопрос – пролетные строения принимать однопутными (как на линии Шанхай – аэропорт Пудонг) или двухпутными? В отечественной практике проектирования эстакад под железную дорогу предпочтение чаще всего отдается двухпутному варианту, как более экономичному с учетом стоимости строительства опор.

Результаты

При разработке конструктивных решений железобетонных пролетных строений должны учитываться особенности технологии их изготовления (в монолитном варианте, с бетонированием на месте, или в сборном варианте, с изготовлением на специализированном заводе железобетонных конструкций, с последующей транспортировкой на объект и монтажом в пролете) [8, 9]. Для сооружения монолитных балочных железобетонных пролетных строений целесообразно

применение подмостей, перемещающихся из пролета в пролет по мере бетонирования секций [10].

В практике отечественного мостостроения хорошо освоен метод циклической продольной надвигки пролетных строений [11]. Этот метод сочетает в себе последовательное изготовление секций неразрезного пролетного строения на стапеле (в одном из начальных пролетов) и продольную передвижку собранной плети из нескольких секций по оси моста.

Достоинство указанных методов заключается в возможности сооружения эстакады последовательным методом «с головы» (то есть из одной исходной точки и в одном направлении), который позволяет избежать значительного занятия земельных участков, прилегающих к трассе, характерного для использования другого метода работы – «на широком фронте» (на нескольких участках-«захватках», в одном или в разных направлениях). Хотя, очевидно, когда будет иметься возможность организации работы именно «на широком фронте», одновременно на нескольких участках, то его применение позволит сократить сроки строительства.

Для опор мостов, эстакад и других ИССО применяется в основном железобетон. Конфигурация опор может быть любой, в зависимости от высоты и длины пролета [9, 12]. Многообразие конструктивных форм опор для строительства эстакад под высокоскоростное и, в том числе, магнитолевитационное движение, показано в табл. 3.

Таблица 3.

Конструктивный элемент	Т и п	
Фундаменты (или опора в целом)	На естественном основании	
	Свайные (на забивных, буронабивных сваях и сваях-столбах)	С ростверком Безростверковые
Надфундаментная часть («тело» опор)	Массивные (сборные, монолитные, сборно-монолитные)	
	Облегченные (стоечные, рамные, пустотелые)	
	Комбинированные (нижняя часть – массивная, верхняя – облегченная)	

Наиболее надежными и распространенными являются свайные фундаменты. В тех случаях, когда погружение свай связано с какими-либо трудностями и грунты основания имеют высокую прочность (например,

скальные или полускальные грунты), применяются фундаменты на естественном основании. Их иногда называют «с поверхностным опиранием».

Технология сооружения опор, имеющих свайные фундаменты, как правило, включает погружение или изготовление свай, отрывку котлована, устройство свайного ростверка под защитой ограждения или без него, а также сооружение надфундаментной части («тела») опор в сборном, сборно-монолитном или монолитном исполнении.

В последние десятилетия широкое распространение в России и за рубежом получили безростверковые опоры. Отличие этих опор от традиционных состоит в отсутствии свайного ростверка, устраиваемого ниже уровня дневной поверхности земли или уровня водотока. Конструкции такой опоры состоит из одного-двух рядов вертикальных или наклонных свай, верхние концы которых объединены железобетонной насадкой с подферменными площадками для опирания пролетных строений. Отсутствие дорогих и трудоемких котлованных работ по устройству свайного ростверка позволяет существенно снизить стоимость сооружения опоры по сравнению с традиционными конструкциями.

Выводы

В целом этапы проектирования и технологии строительства опор и монтажа пролетных строений в России в той или иной степени отработаны [8, 13]. Но есть одно «но». Практически все они связаны с использованием импортного оборудования. Отечественные аналоги по отдельным позициям есть, но в целом они пока мало известны. И это обстоятельство может самым негативным образом повлиять на стоимость искусственных сооружений и, в конечном итоге, всей инфраструктуры линий Маглев.

Чтобы добиваться высокой экономической эффективности строительства линий Маглев, надо уже сегодня думать о создании отечественного комплекса мостостроительной техники, который должен включать [14, 15]:

- Оборудование для погружения свай, бурения скважин и изготовления буронабивных свай (рис. 1);
- Различные краны, в том числе консольно-шлюзовые (рис. 2);
- Устройства передвижных подмостей для бетонирования пролетных строений (рис. 3) и т. п.

Надо полагать, создатели будущего российского грузового Маглева хорошо понимают особенности проектирования и строительства искусственных сооружений, как основного элемента инфраструктуры, и приложат максимум усилий для решения всех возникающих вопросов.

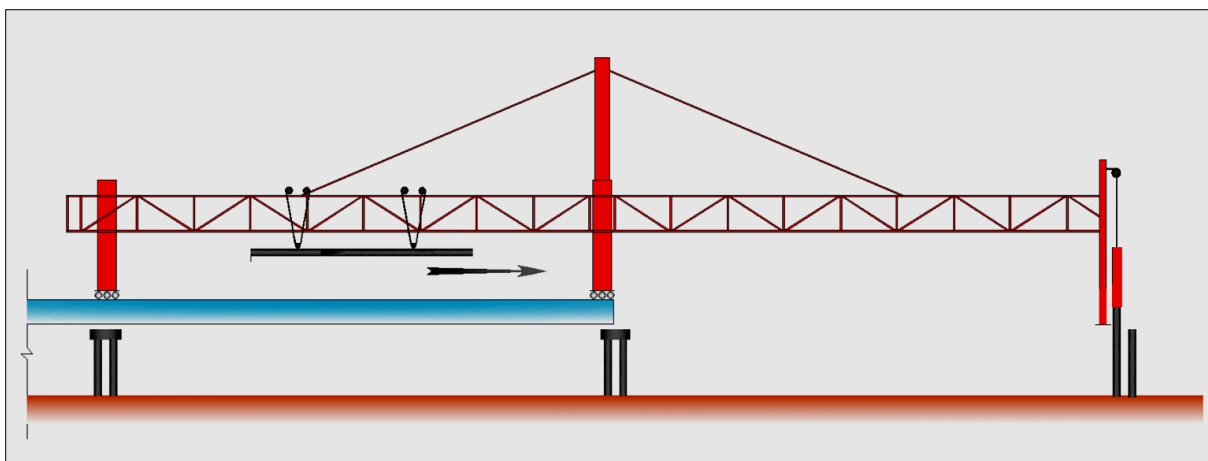


Рис. 1. Строительство эстакады способом «с головы».
Сооружение опор

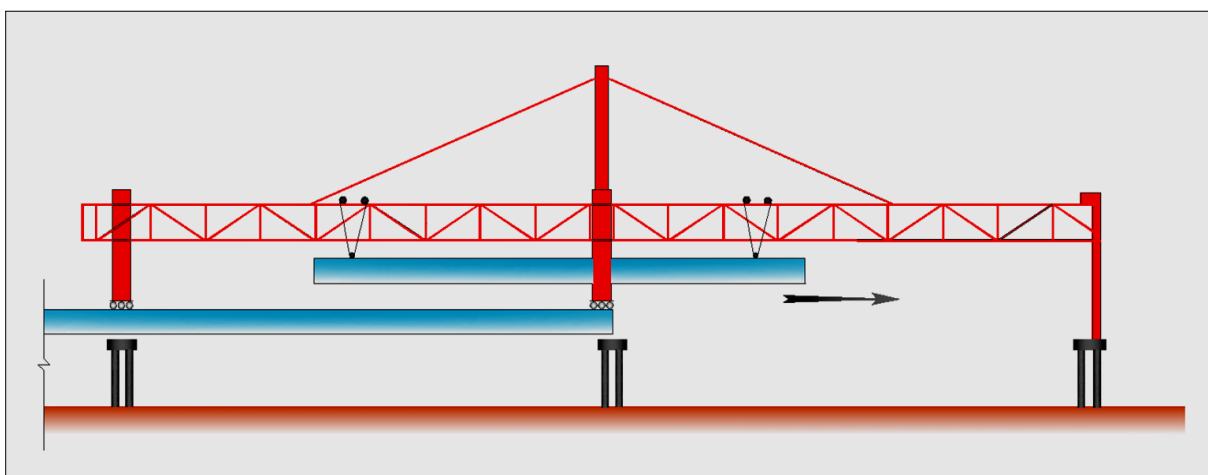


Рис. 2. Строительство эстакады способом «с головы».
Монтаж пролетного строения из сборного железобетона

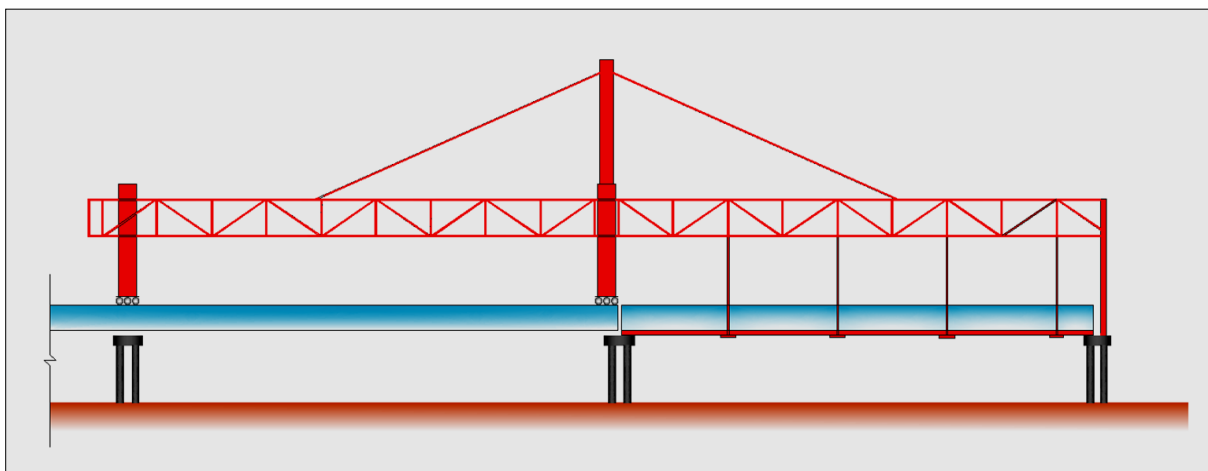


Рис. 3. Строительство эстакады способом «с головы».
Бетонирование пролетного строения из монолитного железобетона

Библиографический список

1. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2015. – № 2(2). – С. 5-15. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer2.html.html> (дата обращения 16.11.2016).

2. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.

3. Талашкин Г. Н. Проектирование, строительство и эксплуатация дорог с использованием магнитной левитации. С чего начинать? / Г. Н. Талашкин, В. Е. Красковский, В. Н. Смирнов, И. О. Потапова // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2016. – № 1(3). – С. 112-125. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html> (дата обращения 16.11.2016).

4. Красковский В. Е. Общие вопросы проектирования искусственных сооружений на дорогах с использованием магнитолевитационной технологии // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 2-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 17–20 июня 2014. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 72-78. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 16.11.2016).

5. Зайцев А. А. Особенности магнитолевитационной технологии, применяемой на общественном транспорте / А. А. Зайцев, Ю. Ф. Антонов // Известия петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2012. – №3. – С. 11-18.

6. Компании TohoTenaxc и KawasakiHeavyIndustries организуют серийное производство углепластиковых рессор для тележек железнодорожных вагонов / Пресс-релиз ООО «ТЕЙДЖИН РУС». – URL: <http://www.teijin-russia.ru/page/news/0107> (дата обращения 16.11.2016).

7. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении // Интернет-журнал «Наукоедение» – 2016. – № 3. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf> (дата обращения 16.11.2016).

8. Смирнов В. Н. Современные технологии мостостроения // Инновации на железнодорожном транспорте: труды юбилейной науч. техн. конф., Санкт-Петербург, 28–29 сентября, 2009. – СПб.: ПГУПС, 2009. – С. 47-54.

9. Смирнов В. Н. Строительство мостов и труб. – СПб.: Изд-во ДНК, 2007. – 288 с.
10. Пименов С. А. Строительство мостов методом навесного бетонирования // Транспортное строительство. – 1964. – № 9. – С. 53-54.
11. Каньшин Е. Строительство мостов по технологии циклической продольной надвижки (ЦПН) // Наука и прогресс транспорта: Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2010. – № 33. – С. 106-110.
12. Смирнов В. Н. Особенности работы опор мостов скоростных железнодорожных магистралей // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2014. – №2. – С. 168-171.
13. Якунин В. И., Тони О. В., Ивашкин А. Г. Строительство уникальных объектов транспортной системы олимпийского Сочи / под общ. редакцией проф. П. Г. Грабового. Часть III. Инновационно-технологические решения при проектировании и строительстве тоннелей и мостов олимпийской трассы: теория и практика. – М.: ОАО «РЖД», 2013. – 535 с.
14. Бобриков В. Б. Строительные работы и машины в мосто- и тоннелестроении: в двух частях. Часть 1. Основные положения технологии и механизации процессов строительного производства. – М: «ИД «Транспортная книга», 2008. – 630 с.
15. Вейнблат Б. М. Краны для строительства мостов: справочник. – М.: Транспорт, 1988. – 240 с.

References

1. Zaitsev A. A. *Transportnye sistemy i Tekhnologii - Transport Systems and Technologies*, 2015, no. 2 (2), pp. 5–15. URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer2.html.html>.
2. Antonov Yu. F. & Zaytsev A. A. *Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya [Magnetic levitation transport technology]*. Moscow, 2014. 476 p.
3. Talashkin G. N., Kraskovskiy V. E., Smirnov V. N. & Potapova I. O. *Transportnye sistemy i Tekhnologii - Transport Systems and Technologies*, 2016, no. 1(3), pp. 112–125. URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html>.
4. Kraskovskiy V. E. *Obschie voprosy i proektirovaniya iskusstvennyih sooruzheniy na dorogah s ispolzovaniem magnitolevitatsionnoy tehnologii [The General Questions of Design of Artificial Constructions on Roads with use of Magnetic Levitation Technology]*. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii” MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference “Magnetocavitation

transport systems and technologies” MTST’14). Kirov, 2014. pp. 72–78. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

5. Zaitcev A. A. & Antonov Y. F. *Izvestiya peterburgskogo universiteta putey soobscheniya – News of the St. Petersburg Transport University*, 2012, vol. 3, pp. 11–18.

6. TohoTenax & KawasakiHeavy Industries Company organize mass Production of Carbon Fiber Springs for Bogies of Railway Carriages [Press-release of “Teijin RUS”]. URL: <http://www.teijin-russia.ru/page/news/0107>.

7. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V. & Mihaldyikin E. S. *Internet zhurnal "Naukovedenie" – Online magazine "Naukovedeniye"*, 2016, vol. 3.

URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf> (16/11/2016).

8. Smirnov V. N. *Sovremennyye tehnologii mostostroeniya [Modern technologies of a bridge building]. Innovatsii na zheleznodorozhnom transporte – 2009: trudy yubileynoy nauch. tehn. konf. (Innovations on Railway Transport - 2009: Works of an Anniversary Scientific and Technical Conference)*. St. Petersburg, 2009, pp. 47–54.

9. Smirnov V. N. *Stroitelstvo mostov i trub [Construction of Bridges and Pipes]*. St. Petersburg, 2007, 288 p.

10. Pimenov S. A. *Transportnoe stroitelstvo – Transport construction*, 1964, vol. 9, pp. 53–54.

11. Kanshin E. *Nauka i progress transporta: Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta – Science and Progress of Transport: Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2010, vol. 33, pp. 106–110.

12. Smirnov V. N. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobscheniya – News of the St. Petersburg Transport University*, 2014, vol. 2, pp. 168–171.

13. Yakunin V. I., Toni O. V. & Ivashkin A. G. *Stroitelstvo unikalnykh ob'ektov transportnoy sistemy olimpiyskogo Sochi. Chast III. Innovatsionno-tehnologicheskie resheniya pri proektirovanii i stroitelstve tonneley i mostov olimpiyskoy trassy: teoriya i praktika [Construction of Unique Objects of Transport System of the Olympic Sochi. Part III. Innovative Technology Solutions at Design and Construction of Tunnels and Bridges of the Olympic Route: Theory and Practice]*. Moscow, 2013, 535 p.

14. Bobrikov V. B. *Stroitelnyie raboty i mashiny v mosto- i tonnelestroenii: v dvuh chastyakh. Chast 1. Osnovnyie polozheniya tehnologii i mehanizatsii protsessov stroitel'nogo proizvodstva [Construction Works and Cars in Bridge and Tunneling: in two parts. Part 1. Basic Provisions of Technology and Mechanization of Processes of Construction Production]*. Moscow, 2008, 630 p.

15. Veynblat B. M. *Kranyi dlya stroitelstva mostov: spravochnik [Cranes for Construction of Bridges: Reference Book]*. Moscow, 1988, 240 p.

Сведения об авторе:

ТАЛАШКИН Геннадий Николаевич, кандидат экономических наук, Президент Союза Строителей Железных Дорог, заведующий научно-исследовательской лабораторией "Инфраструктура магнитолевитационного транспорта" НОЦ ПП ПГУПС
E-mail: talkomsk@gmail.com

Information about author:

Gennadiy N. TALASHKIN, Candidate of Economic Sciences, President of the Union of Builders of the Railroads, manager of scientifically research laboratory "Infrastructure of Magnetolevitation Transport" Scientific and Educational Center of Passenger Traffic Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
E-mail: talkomsk@gmail.com