

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

I N N O T R A N S

№ 3 (45)

сентябрь 2022



**Сооружение земляного полотна железных дорог
в сложных инженерно-геологических условиях
с использованием геоячеек «ПРУДОН-494»**

С. 38

**Екатеринбург —
главный сухой порт
России**

**Рельсовый каркас
как основа для развития
агломераций**

**Анализ работы устройств
компенсации натяжения
проводов контактной подвески**

СОДЕРЖАНИЕ

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Юницкий А. Э., Артюшевский С. В., Гончаров В. В., Цырлин М. И. Оптимизация аэродинамических характеристик высоко- скоростного юнимобиля струнного транспорта Юницкого	3
Богусhevич С. А., Самуйлов В. М., Гашкова Л. В., Тактаев В. С. Екатеринбург — главный сухой порт России	12
Тарасов П. И., Фурзиков В. В. Комплексный подход к развитию транспортных систем осваиваемых территорий РФ	17
Журавская М. А., Смородинцева Е. Е. Рельсовый каркас как основа для развития агломерационных проектов	23

Организация производства (транспорт)

Туркина Л. В. Начертательная геометрия и ее роль в истории технического образования в России	31
Зайцев А. А., Артюшенко И. А. Сооружение земляного полотна железных дорог в сложных инженерно-геологических условиях с использованием геоячеек «ПРУДОН-494»	38
Гилев Л. Б., Горда И. Г., Горелов Н. Г., Леонтьев М. А., Ткачева Т. Н., Трофимова О. А. Реконструкция зданий инфраструктуры ОАО «РЖД» в сфере среднего общего образования	42

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Ковалёв А. А., Максимов А. А. Анализ работы устройств компенсации натяжения проводов контактной подвески	48
Завадич А. В., Смольянинов А. В. Конструктивные изменения в четырехосных полувагонах с деревянной обшивкой кузова за период изготовления с 1948 по 1949 год	52
Чернышов А. Е., Юшкова И. А. Модель системы плавного бесконтактного (реакторного) регулирования напряжения в среде MATLAB Simulink	57

Эксплуатация автомобильного транспорта

Меженков А. В. Теоретические основы повышения безопасности в транспортной системе города развитием процесса светофорного регулирования	62
---	----

CONTENTS

Transport and transport-technology system of the country, its regions and cities, manufacture organization on transport

Anatoli E. Unitsky, Sergey V. Artyushevsky, Vladimir V. Goncharov, Michael I. Tsyrlin. Aerodynamic optimization of high-speed unimobile of string transport by Unitsky	3
Sergey A. Bogushevich, Valery M. Samuilov, Lyudmila V. Gashkova, Vladimir S. Taktayev. Yekaterinburg is the main dry port of Russia	12
Pyotr I. Tarasov, Vitaly V. Furzikov. An integrated approach to the development of transport systems of the RF areas being reclaimed	17
Marina A. Zhuravskaya, Elena E. Smorodintseva. Rail frame as a basis for the development of agglomeration projects	23

The organization of production (transport)

Larisa V. Turkina. Descriptive geometry and its role in the history of technical education in Russia	31
Andrey A. Zaitsev, Igor A. Artyushenko. Construction of the railway roadbed in complicated engineering and geological environment using «PRUDON-494» geocells	38
Leonid B. Gilev, Ilya G. Gorda, Nikolay G. Gorelov, Maxim A. Leontiev, Tatiana N. Tkacheva, Olga A. Trofimova. Reconstruction of infrastructure buildings of JSC «Russian Railways» in the field of secondary general education	42

Rolling stock, hauling operation and electrification

Alexey A. Kovalev, Andrey A. Maksimov. Analysis of operation of catenary system wire tension of compensation devices	48
Alexey V. Zavadich, Alexander V. Smolyaninov. Structural changes in four-axle gondola cars with wooden body covering manufactured from 1948 to 1949	52
Alexander E. Chernyshov, Irina A. Yushkova. Model of a smooth contactless (reactor) system for regulation of voltage in the MATLAB Simulink environment	57

Operation of motor transport

Artem V. Mezhenkov. Theoretical foundations for improving safety in the urban transport system by developing the process of traffic light regulation	62
---	----



**Анатолий Эдуардович
Юницкий**

Anatoli E. Unitsky



**Сергей Владимирович
Артюшевский**

Sergey V. Artyushevsky



**Владимир Васильевич
Гончаров**

Vladimir V Goncharov



**Михаил Иосифович
Цырлин**

Michael I. Tsyrlin

Оптимизация аэродинамических характеристик высокоскоростного юнимобиля струнного транспорта Юницкого

Aerodynamic optimization of high-speed unimobile of string transport by Unitsky

Аннотация

В работе описаны технические решения, направленные на улучшение аэродинамики транспортных средств; представлены конструктивные особенности высокоскоростных моделей транспортных средств в струнном транспорте Юницкого (ЮСТ), их преимущества по аэродинамике и эргономике; предложена конструкция юнимобиля (рельсового электромобиля на стальных колесах), обеспечивающего построение колесного транспортного средства ЮСТ с высокими аэродинамическими характеристиками и обладающего повышенной динамической устойчивостью; описаны подходы к оптимизации размеров основных элементов юнимобиля. Приведенные данные подтверждены результатами аэродинамических испытаний. Результаты исследований положены в основу создания высокоскоростного юнимобиля — унифлэша.

Ключевые слова: струнный транспорт Юницкого, юнимобиль, аэродинамика, кузов, коэффициент аэродинамического сопротивления, динамическая устойчивость юнимобиля, унифлэш.

Abstract

The paper describes technical solutions aimed at improving the aerodynamics of vehicles; the engineering specifics of high-speed models of the vehicles of the string transport by Unitsky (uST), their advantages in aerodynamics and ergonomics are presented; the design of unimobile (steel wheeled electric rail car) is proposed, which ensures the configuration of the wheeled vehicle of uST with advanced aerodynamic characteristics and having improved dynamic stability; the methods of analysis of optimal dimensions of the main elements of the unimobile are indicated. The presented data were proven by the results of aerodynamic tests. The results of the research constitute the foundation for the elaboration of the high-speed unimobile — uniflash.

Keywords: string transport by Unitsky, unimobile, aerodynamics, body, drag coefficient, dynamic stability of unimobile, uniflash.

Авторы Authors

Анатолий Эдуардович Юницкий, председатель совета директоров и генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: a@unitsky.com | **Сергей Владимирович Артюшевский**, заместитель генерального конструктора по науке ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: s.artushevskiy@unitsky.com | **Владимир Васильевич Гончаров**, евразийский и белорусский патентный поверенный, начальник патентно-лицензионной службы ЗАО «Струнные технологии», Минск; e-mail: v.goncharov@unitsky.com | **Михаил Иосифович Цырлин**, канд. техн. наук, ведущий специалист научно-исследовательского отдела ЗАО «Струнные технологии», Минск, email: m.tsirlin@unitsky.com

Anatoli E. Unitsky, Chairman of the Board of Directors and General Designer, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: a@unitsky.com | **Sergey V. Artyushevsky**, Deputy General Designer for Science, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: s.artushevskiy@unitsky.com | **Vladimir V Goncharov**, Eurasian and Belorussian patent attorney, Head of Patent and License Division, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: v.goncharov@unitsky.com | **Michael I. Tsyrlin**, Candidate of Technical Sciences, Leading Specialist of Research Department, Unitsky String Technologies, Inc., Minsk; e-mail: m.tsirlin@unitsky.com

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Общеизвестно, что продуманная и оптимизированная аэродинамика колесного транспортного средства — важнейший аспект, требующий особого внимания при разработке геометрии его корпуса. В то же время аэродинамика — это целое научное направление, которое зародилось в начале XX века с появлением авиации. С повышением скоростей аэродинамика стала учитываться и в автомобилестроении [1]. Роль аэродинамики для автомобиля знают все. Чем плавнее линии обводов корпуса, тем ниже сопротивление движению и расход топлива. Такое транспортное средство не только экономит энергоресурсы, но и снижает выбросы в окружающую среду вредных веществ. Но это далеко не полный список, инженеры-аэродинамики решают также следующие задачи:

- расчет распределения подъемных сил (отрицательных и положительных) по осям;
- расчет геометрических параметров и места забор и выхода воздуха систем вентиляции и охлаждения;
- доступ внешнего воздуха к узлам и системам, требующим отвода тепла (двигатель, тормозные механизмы и пр.);
- понижение уровня аэродинамических шумов;
- оптимизация геометрии кузовных элементов для обеспечения самоочистки потоками воздуха, что значительно уменьшает загрязнения стекол, оптики и зеркал.

Сила лобового сопротивления направлена в противоположную сторону от направления движения, ее величина пропорциональна площади поперечного сечения S (мидель), плотности среды ρ , безразмерного коэффициента аэродинамического сопротивления C_x и квадрату скорости V :

$$F = \frac{\rho V^2 C_x S}{2}, \text{ Н.} \quad (1)$$

Мощность, требуемая для преодоления силы лобового сопротивления, пропорциональна кубу скорости:

$$W = V \cdot F = \frac{\rho V^3 C_x S}{2}, \text{ Вт.} \quad (2)$$

Уменьшить мидель транспортного средства менее контура сидящего человека невозможно, так как идея двигаться в положении лежа вряд ли будет разумной и не будет востребована рынком. В связи с этим основным направлением улучшения аэродинамики колесных транспортных средств стала оптимизация контуров корпуса, в первую очередь — уменьшение коэффициента C_x . У современных автомобилей он имеет значение 0,26–0,38.

Известны технические решения, направленные на улучшение аэродинамики корпуса транспортного средства, в которых оптимизированы аэродинамиче-

ские характеристики за счет приближения их формы к форме тела вращения с одновременным учетом стилистических и эргономических требований, предъявляемых к ним именно как к транспортным средствам. Современные инженеры-аэродинамики при проектировании обводов корпуса придерживаются классических правил: переднюю и боковые поверхности делают без резких переходов, для избегания срыва потоков, а основные силы сосредоточивают на кормовой части, совершенствуя ее формы и применяя разного вида направляющие дефлекторы.

Однако выполнение требований по улучшению аэродинамики корпуса часто вступает в противоречие с требованиями по его внутренней компоновке и эргономике, что в итоге не позволяет реализовать оптимальное использование внутреннего объема кузова.

Кроме того, известные решения не обеспечивают учет реальных условий эксплуатации, когда транспортное средство расположено в непосредственной близости от дорожного полотна. Это не позволяет добиться минимизации значений коэффициента аэродинамического сопротивления и обеспечить равномерное распределение сил на кузовные элементы из-за паразитного экранного эффекта, ухудшающего аэродинамику в 2–2,5 раза.

Как известно, во время движения транспорта воздушные потоки под его днищем идут по прямой, а сверху поток повторяет контур кузова, проходя таким образом значительно более длинный путь. А так как воздух считается неделимым — скорость верхних потоков выше, чем нижних. Согласно закону Бернулли, чем выше скорость среды, тем ниже давление, следовательно, в нижней части кузова создается область повышенного давления, а в верхней — пониженного. Это приводит к образованию подъемной силы. Ее отрицательное воздействие заключается в том, что она неравномерно распределена по осям, и в то время как передняя ось нагружена давящими на капот и лобовое стекло потоками воздуха, то задняя часть дополнительно разгружена зоной низкого давления, образующейся за транспортным средством. Это приводит к снижению устойчивости автомобиля с увеличением скорости и, как следствие, к склонности к заносам.

Из-за неразрывности связи «автомобиль — дорога» отдельных мер для устранения этого явления конструкторы серийных автомобилей не применяют, поскольку то, что приводит к улучшению C_x , увеличивает и прижимную силу. Например, уменьшение зоны разряжения за транспортным средством снижает подъемную силу, увеличение клиренса и выравнивание дна уменьшает сопротивление движению воздуха и снижает скорость потока, как результат — уменьшение разности давления под и над автомобилем.

Известен ряд патентов [2–8], содержащих описания транспортных модулей для струнного транспорта Юниц-

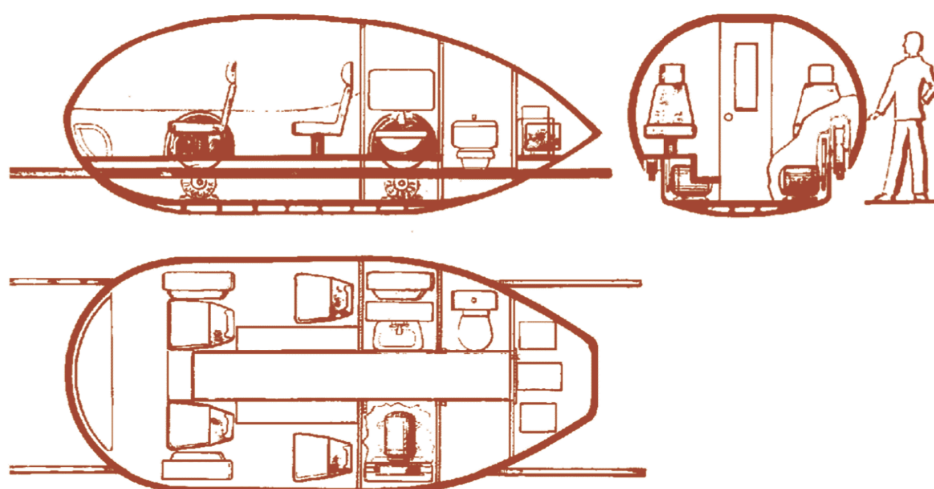


Рис. 1. Высокоскоростной транспортный модуль (вариант)

кого (ЮСТ) — рельсовых электромобилей на стальных колесах, получивших название юнимобиль, в которых рассмотрены и предложены инновационные решения, направленные на улучшение энергетических показателей благодаря снижению потерь, определяемых рядом конструктивных и аэродинамических улучшений. Представленные в данных документах высокоскоростные юнимобили имеют корпус с сопряженными сферообразной передней, каплеобразной средней и конусообразной задней частями. При этом задняя конусообразная часть корпуса выполнена S-образной формы — с образующими, имеющими знакопеременную кривизну для выравнивания верхних и нижних потоков в горизонтальном направлении, что позволяет уменьшить срывы воздуха и перепады давления (рис. 1).

В то же время высокоскоростные юнимобили по патентам [2, 8] содержат выполненные на верхней поверхности кузова два симметричных продольных участка

с отрицательной кривизной поверхности, сопряженных с боковыми и верхней поверхностями кузова (рис. 2), что значительно снизило мидель при сохранении большой вместимости и ширины корпуса. А юнимобили по патентам [3, 6] также содержат аналогичные участки с отрицательной кривизной поверхности, но выполненные в нижней части кузова (рис. 3). Это позволило обеспечить проход человека по центру пассажирского салона с минимизацией высоты основной части корпуса до высоты сидящего в кресле человека.

Такие конструктивные решения, учитывающие эргономику стоящего и сидящего пассажира, направлены на оптимизацию площади поперечного сечения и внутреннего пространства транспортного средства. Несмотря на незначительное ухудшение аэродинамических показателей (в среднем 3–5 %) и увеличение общей площади омываемой поверхности, суммарная сила сопротивления снижается на 20–25 % благодаря уменьшению миделя.

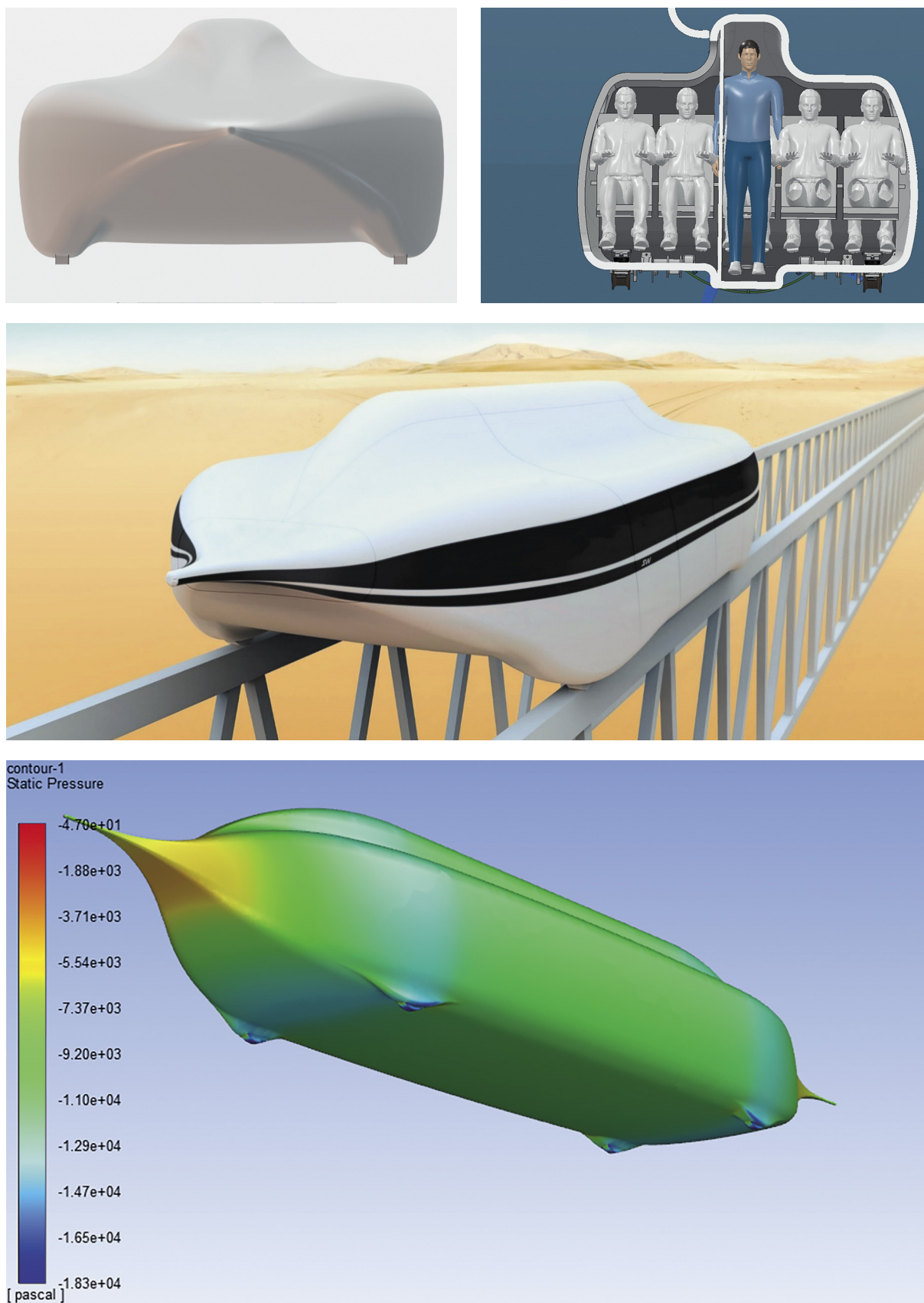


Рис. 2. Высокоскоростной юнимобиль (вариант)

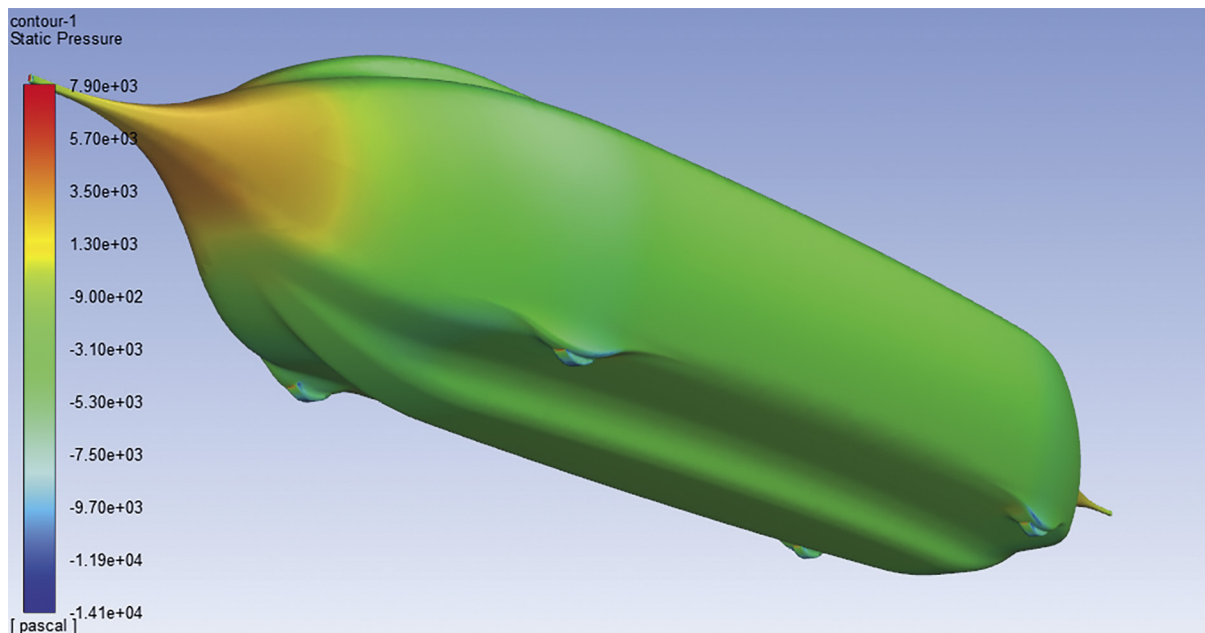


Рис. 3. Высокоскоростной юнимобиль (вариант)

Известные высокоскоростные юнимобили, представленные в патентах [4, 5, 7], характеризуются тем, что, помимо наличия обтекаемой формы, для снижения коэффициента аэродинамического сопротивления и повышения динамической устойчивости кузова этих модулей выполнены с учетом определенных соотношений геометрических параметров входящих в них элементов. Особенностью рельсовых электромобилей по патентам [5, 7] является то, что задняя конусообразная часть их корпуса выполнена по S-образной образующей, имеющей знакопеременную кривизну, а ее поверхность отрицательной кривизны имеет клиновидный профиль, ребро которого образует заднюю кромку кузова, расположенную горизонтально либо вертикально, обеспечивая различные варианты ее очертаний в зависимости от заданного направления усиления устойчивости кузова (рис. 4).

Комплексный подход к улучшению аэродинамических характеристик позволил оптимизировать энергетические показатели по патенту [4], более близкому по форме корпуса к современной модели высокоскоростного юнимобиля (юнифлэша).

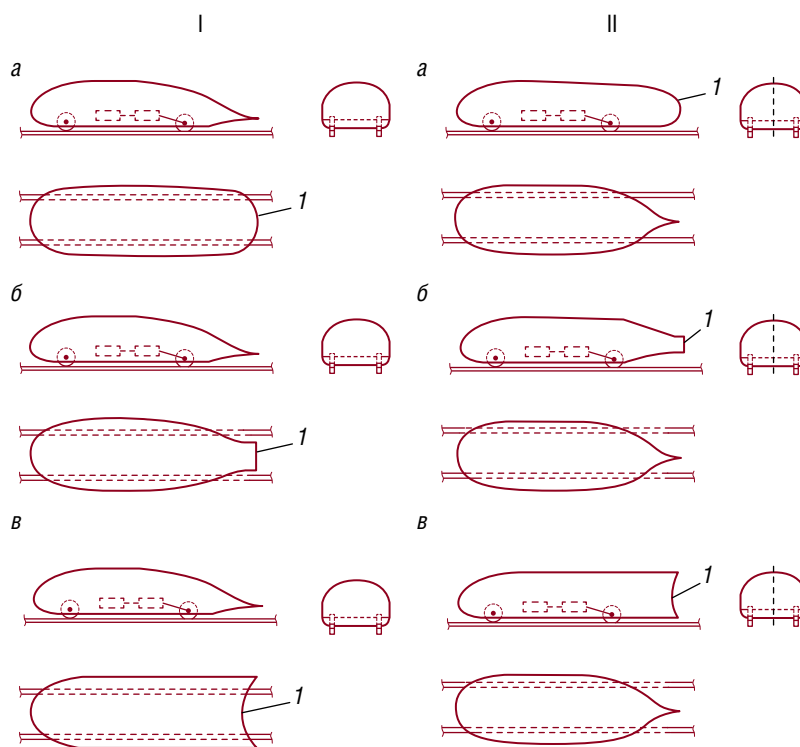


Рис. 4. Высокоскоростной юнимобиль при расположении задней кромки корпуса (1) горизонтально (I) и вертикально (II): 1 — задняя кромка кузова выпуклая (а), прямая (б) и вогнутая (в)

Юнимобиль по патенту [4], предназначенный для использования в ЮСТ в виде поезда, содержит протяженный кузов обтекаемой формы с сопряженными сферообраз-

ной передней, цилиндрической средней и конусообразной задней частями, в котором нижняя поверхность средней части выполнена уплощенной (рис. 5).



Рис. 5. Высокоскоростной юнимобиль с протяженным корпусом (вариант)

Необходимо отметить, что рельсо-струнная путевая структура не имеет сплошного полотна (она представляет собой два узких струнных рельса), поэтому не может создать эффект экрана. Но в этом случае экраном может стать близко расположенная поверхность земли (или воды). Только подъем путевой структуры на высоту, превышающую поперечные размеры транспортного средства, позволяет исключить паразитное влияние экранного эффекта и улучшить аэродинамику юнимобиля минимум вдвое.

Экспериментальная продувка в аэродинамической трубе описанных выше инновационных моделей высокоскоростных юнимобилей, проводимая в период с 1994 по 2009 г., показала снижение коэффициента аэродинамического сопротивления до значения $C_x = 0,075$. Для сравнения: одно из самых совершенных из альтернативных наземных колесных транспортных средств имеет минимальное значение $C_x = 0,2$.

Целью дальнейшей работы над совершенствованием высокоскоростных юнимобилей в период 2011–2020 гг. стало повышение их энергетической эффективности за счет снижения потерь, определяемых его аэродинамическими характеристиками, а также улучшения стабилизации движения и расширения модельного ряда подвижных средств в струнном транспорте Юницкого.

Существенные достижения были воплощены в разработке высокоскоростного юнимобиля [9], в котором инновационные признаки, отраженные в патентах [2–8], получили дальнейшее развитие.

Высокоскоростной юнимобиль [9] получил название «юнифлэш», состоит из корпуса обтекаемой формы с плавно переходящими между собой элементами передней и задней частей оболочки, в нижней части которых установлены два ряда колес. Существенное отличие — и носовая, и кормовая части выполнены симметричными относительно друг друга, с вытянутыми криволинейными формами со знакопеременной S-образной кривизной, при этом угол между осью кузова и касательной к образующей в продольном и поперечном сечении переднего и заднего обтекателя кузова должен быть меньше 30° (рис. 6). Эти решения позволили существенно оптимизировать обтекание кузова набегающим воздушным потоком с минимальными значениями сопротивления.

В корпусе юнифлэша осуществлен плавный переход криволинейной образующей передней части корпуса от отрицательного значения к положительному, т.е. от вогнутой формы к выпуклой, и плавный переход криволинейной образующей задней части корпуса в обратном направлении — от положительного к отри-

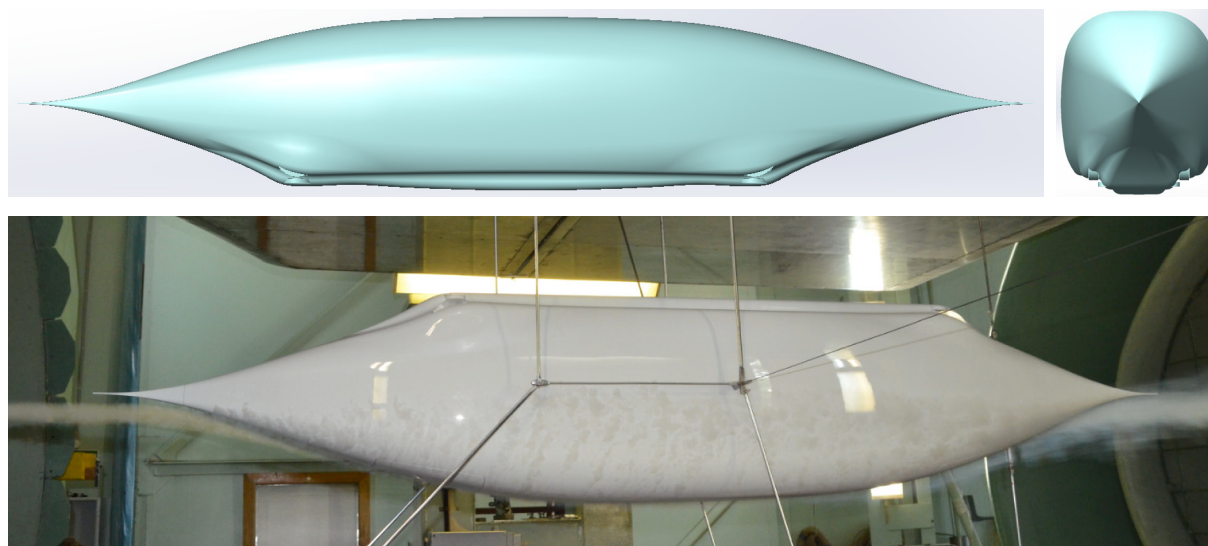


Рис. 6. Юнифлэш на продувке в аэродинамической трубе

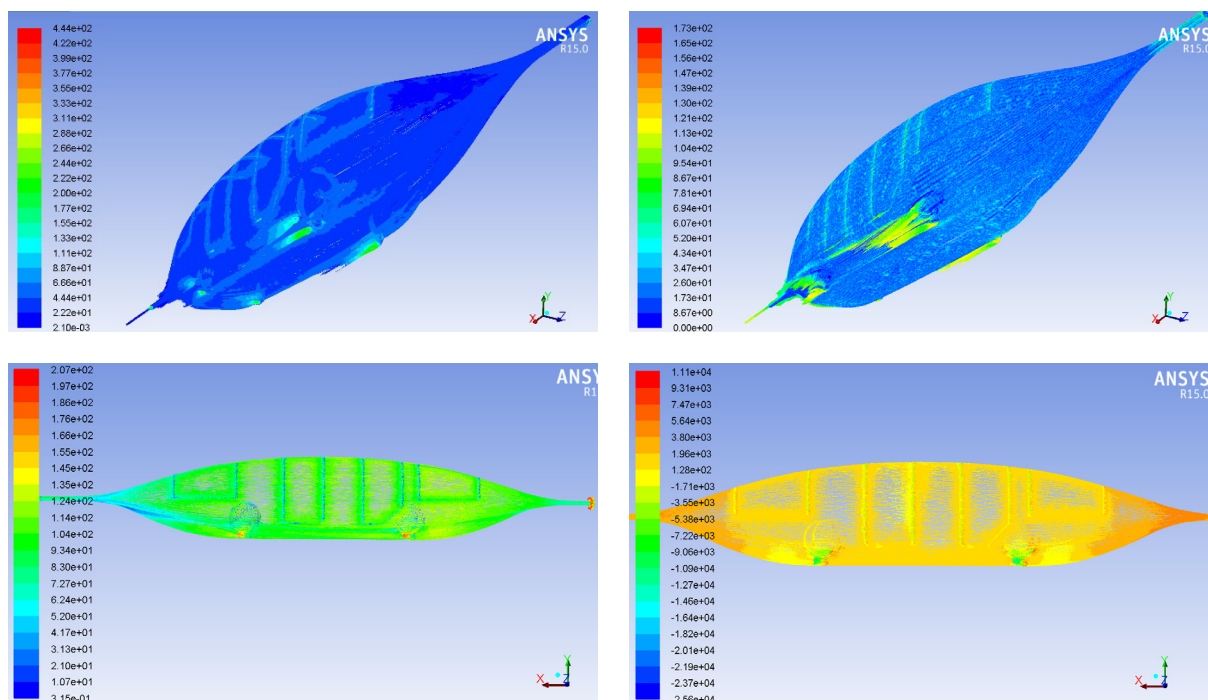


Рис. 7. Результаты оптимизации формы высокоскоростного юнифлэша

цательному. Как показали результаты аэродинамических испытаний, это позволило практически без увеличения габаритной длины корпуса, только за счет устранения скачков градиента давления воздушного потока значительно снизить коэффициент аэродинамического сопротивления.

Оптимизация формы юнифлэша выполнялась с использованием программно-вычислительного комплекса ANSYS Fluid Flow, реализующего метод конечных элементов (рис. 7).

Продувка высокоскоростного юнимобиля в аэродинамической трубе Центрального научно-исследовательского института им. Академика Крылова (г. Санкт-Петербург) в 2017 г. показала значение коэффициента аэродинамического сопротивления, равное 0,06 (рис. 8) [10]. Для сравнения: лучшая аэродинамика среди автомобилей достигалась моделью Volkswagen XL1 со значением коэффициента аэродинамического сопротивления 0,189, которое более чем в три раза хуже показателей высокоскоростного юнифлэша.

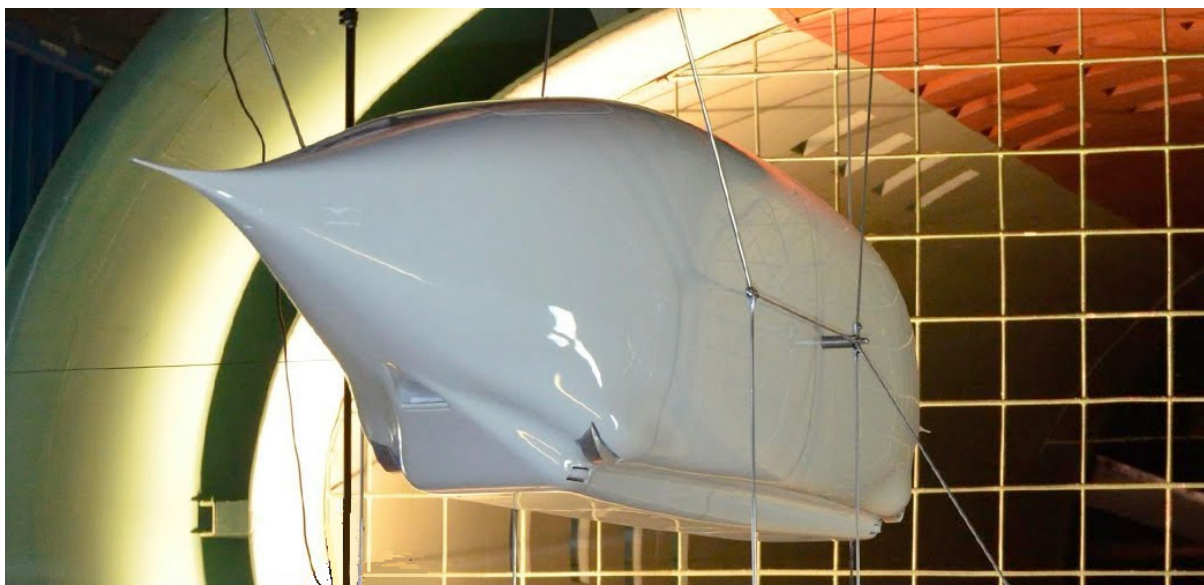


Рис. 8. Испытание юнифлэша в аэродинамической трубе (Санкт-Петербург, РФ, 2017 г.)



Рис. 9. Юнифлэш U4-362 (Innotrans, г. Берлин, Германия, 2018 г.)

В 2018 г. на крупнейшей международной транспортной выставке Innotrans в Берлине был впервые представлен высокоскоростной 6-местный юнифлэш модели U4-362 (рис. 9) [10].

Летом 2019 г. в «ЭкоТехноПарке» (Марьина Горка, Республика Беларусь) начались первые испытания высокоскоростного юнифлэша. Были протестированы тяговая, тормозная, гидравлическая и пневматическая системы, системы управления и токосъема и многие другие системы и подсистемы (рис. 10).

Для полноценного испытания такого высокоскоростного рельсового электромобиля необходимо строительство тестовой высокоскоростной трассы длиной не менее 20 км, так как для разгона до 500 км/ч нужен путь

длиной около 10 км и такой же длины — для торможения (при штатных ускорениях разгона и торможения). Сейчас руководство компании-разработчика uST Inc. (г. Минск, Республика Беларусь) рассматривает возможность строительства тестовой высокоскоростной трассы в Беларуси и в Объединенных Арабских Эмиратах.

Таким образом, был проведен поиск оптимальных конструктивных решений для снижения аэродинамического сопротивления и минимизации энергозатрат при высокоскоростном перемещении. Пошаговое устранение элементов, существенно влияющих на увеличение силы сопротивления движению, реализовано в запатентованной конструкции высокоскоростного юнимобиля с уникальными аэродинамическими характеристиками — юнифлэша. **ИТ**



Рис. 10. Юнифлэш на испытаниях в «ЭкоТехноПарке» (г. Марьина Горка, Республика Беларусь, 2019 г.)

Список литературы

1. Хуго В. Г. Аэродинамика автомобиля. М. : Машиностроение, 1987. 424 с.
2. Патент RU 2201368 C1, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль транспортной системы Юницкого / Юницкий А. Э. Заявл. 03.08.2001; опубл. 27.04.2003.
3. Патент RU 2201369, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль транспортной системы Юницкого / Юницкий А. Э. Заявл. 03.08.2001; опубл. 27.04.2003.
4. Патент RU 2203194, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль транспортной системы Юницкого / Юницкий А. Э. Заявл. 03.08.2001; опубл. 27.04.2003.
5. Патент RU 2203195, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль транспортной системы Юницкого / Юницкий А. Э. Заявл. 03.08.2001; опубл. 27.04.2003.
6. Патент EA 003490, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль / Юницкий А. Э. Заявл. 3.08.2001; опубл. 26.06.2003.
7. Патент EA 003533, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль / Юницкий А. Э. Заявл. 3.08.2001; опубл. 26.06.2003.
8. Патент EA 003535, МПК B62D 35/00. Высокоскоростной транспортный модуль / Юницкий А. Э. Заявл. 3.08.2001; опубл. 26.06.2003.
9. Патент EA 031675. Высокоскоростной транспортный модуль (варианты) / Юницкий А. Э. № 201700220; заявл. 23.03.2017; опубл. 28.02.2019.
10. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. Силакрогс : ПНБ принт, 2019. 576 с.

References

1. Hugo V. G. Aerodynamics of a road vehicle. M. : Mechanical Engineering, 1987. 424 p.
2. Patent RU 2201368 C1, IPC B62D 35/00. High-speed transport module of the Yunitskiy transport system / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 27.04.2003.
3. Patent RU 2201369, IPC B62D 35/00. High-speed transport module of the Yunitskiy transport system / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 27.04.2003.
4. Patent RU 2203194, IPC B62D 35/00. High-speed transport module of the Yunitskiy transport system / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 27.04.2003.
5. Patent RU 2203195, IPC B62D 35/00. High-speed transport module of the Yunitskiy transport system / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 27.04.2003.
6. Patent EA 003490, IPC B62D 35/00. High-speed transport module / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 26.06.2003.
7. Patent EA 003533, IPC B62D 35/00. High-speed transport module / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 26.06.2003.
8. Patent EA 003535, IPC B62D 35/00. High-speed transport module / Yunitskiy A. E. Application. 03.08.2001; publ. 26.06.2003.
9. Patent EA 031675. High-speed transport module (variants) / Yunitskiy A. E. No. 201700220; application 23.03.2017; publ. 28.02.2019.
10. Yunitskiy A. E. String transport systems: on Earth and in Space / A. E. Yunitskiy. Silacrogs : PNB print, 2019. 576 p.