

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Сибирский  
государственный индустриальный  
университет», доктор технических наук,  
профессор



А.В. Юрьев

**Экспертное заключение  
об инновационности и технологичности  
транспортно-инфраструктурных решений  
Unitsky String Technologies и их элементов**

Разработка и производство современных транспортных комплексов и систем требуют соответствующих инновационных решений.

Белорусская научно-инжиниринговая компания ЗАО «Струнные технологии», основным направлением деятельности которой является собственная разработка и внедрение комплексных транспортно-инфраструктурных решений в сфере грузопассажирских перевозок, а также логистической инфраструктуры «второго уровня», важное внимание уделяет вопросам в области материаловедения.

В результате проведённого анализа сделан вывод, что при проектировании и строительстве транспортных систем Unitsky String Technologies (uST) используются современные и инновационные материалы: клеи, компаунды, герметики, композиционные материалы и т. д., а также материалы на основе как органических, так и неорганических вяжущих. Ниже представлены соответствующие подтверждающие примеры использования различных материалов компанией-разработчиком в отношении наиболее значимых структурных элементов транспортно-инфраструктурных комплексов uST:

- рельсо-струнная эстакада (путевая структура);
- подвижной состав (юнимобили);
- инфраструктура второго уровня (решения в области проектирования и строительства).

**Рельсо-струнная эстакада (путевая структура) uST**

Для заполнения закрытых каналов длиннопролётных конструкций на длину до 3 000 м и шириной канала от 3-х мм компания-разработчик транспортных комплексов uST применяет для этих целей специальный наполнитель на основе цементного вяжущего (рис. 1). Разработанная для этих целей формула раствора обеспечивает омоноличивание конструкции, защищает от коррозии стальные элементы каналов и распределяет статические и динамические усилия (температурные, ветровые, от подвижного состава) на другие элементы сооружения.

Также в элементах путевых структур (конструкций), которые эксплуатируются на открытом воздухе, разработчик использует материалы, устойчивые к воздействию климатических факторов: смене температур, влажности, величины УФ-индекса, озона и т.д. Так, по информации ЗАО «Струнные технологии», в качестве герметизирующего слоя для сечения рельса в некоторых видах городских транспортных комплексов uST применяется гибридный полиуретан-силиконовый MS-полимер.

В случае, когда необходимо соединить поверхности разной природы, имеющие различные коэффициенты теплового расширения, применение сварки, заклёпок либо болтов может быть нецелесообразно. В данном случае разработчики технологии uST применяют конструкционные адгезивы (клеи).



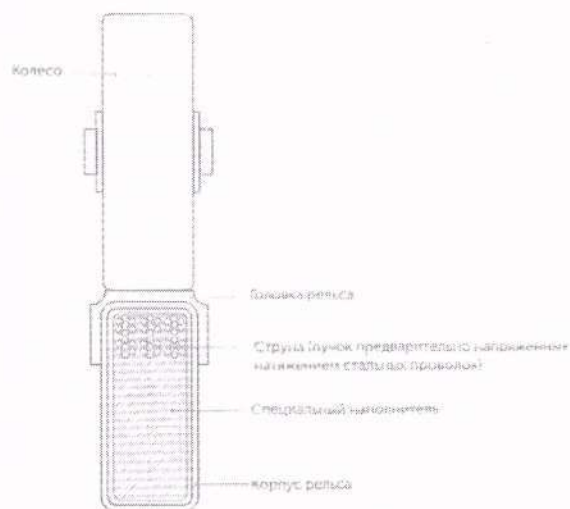


Рис. 1 – Применение специального наполнителя в струнном рельсе uST

Также одной из особенностей является то, что часть элементов анкерных узлов действующей трассы «Юнилайт» в г. Марьина Горка (Беларусь) изготовлена из уникального по своим свойствам материала — пористого алюминия (пеноалюминий). Это экологичный, безопасный, лёгкий, долговечный и негорючий материал для эффективного снижения шума. Такое решение позволило изолировать анкерные и промежуточные опоры от вибраций, возникающих в рельсах при проезде транспорта, тем самым снизив общий шумовой фон. Данное решение особенно востребовано в транспортных структурах, эксплуатируемых в городской среде.

Также необходимо отметить следующий факт, вывод о котором сделан на основе проведённого анализа. Для головки рельса, по которой происходит движение единиц подвижного состава uST, подходит сталь, используемая в железнодорожных рельсах. В этой связи головку можно прокатать на тех же прокатных станах со сменой оснастки на них на более простую, т. к. профиль головки проще, чем у железнодорожного рельса (её профиль близок к швеллеру и полосе, а погонная масса значительно ниже чем у рельса: 10...20 кг/м). Струна в путевых структурах разработчика представляет собой витой арматурный канат, набранный из высокопрочных стальных проволок диаметром 3...5 мм, или пучок параллельных проволок. Эта проволока, прочностью на разрыв 180...250 кгс/мм<sup>2</sup>, выпускается промышленностью для канатов, тросов, в том числе для висячих и вантовых мостов, предварительно напряжённых железобетонных конструкций, стального корда автомобильных шин и т. д.

### **Подвижной состав (юнимобили) uST**

В узлах разработанного подвижного состава, требующих повышенной прочности и минимальной массы, где необходимо обеспечить электроизоляцию и при этом сохранить конструкционную прочность, применяют современные конструкционные пластики. Примером такого пластика можно назвать полиэфирэфиркетон (PEEK), который нашёл широкое применение в качестве альтернативы лёгким металлам в аэрокосмической отрасли за счёт более низкого веса при схожих с металлами характеристиках и существенного снижения расходов топлива и выбросов углекислого газа в атмосферу. Кроме того, компания-разработчик, применяя комплексный подход, использует PEEK и в элементах анкерных узлов транспортной линии в ОАЭ – там, где помимо силовых свойств, необходима надёжная электроизоляция.

При разработке транспорта uST учитывают колоссальные нагрузки, которые приходятся на отдельные элементы транспортных комплексов в процессе эксплуатации. Зачастую для решения поставленных задач приходится прибегать к уникальным материалам. Примером такого материала является полиуретановый эластомер Vulkollan. Колёса юнимобилей, выполненные из данного материала, обладают повышенной износостойкостью, устойчивостью к



механическим и физическим нагрузкам, высокой прочностью на разрыв, пониженным разогревом в процессе эксплуатации и высоким коэффициентом сцепления с рельсом.

Особое внимание разработчики uST уделяют безопасности осуществляемых перевозок пассажиров и грузов, т.к. это является одним из ключевых условий и требований для подтверждения эффективности технологии и её дальнейшего широкомасштабного практического внедрения. В этой связи, на основе анализа представленных разработчиком материалов, при создании батарейного отсека некоторых единиц из линейки подвижного состава (юнимобилей) ими применены специальные окрасочные составы, которые создают защитный слой и предотвращают возможность возгорания и распространения пламени.

*Примечание: Огнезащитные свойства покрытия начинают проявляться, когда возникает источник открытого пламени. Под воздействием открытого огня, при достижении температуры +200 °С, компоненты, входящие в состав покрытия, активизируются, и на поверхности происходит образование трудносгораемой коксопены с низким коэффициентом теплопроводности.*

Также результаты проведённого анализа позволили сделать вывод о том, что рамные конструкции транспортных средств (юнимобилей) изготовлены из низколегированной стали 09Г2С, которая выбрана исходя из соответствия условиям эксплуатации (отсутствует необходимость в удорожании конструкции за счёт использования специальных сталей либо иных более дорогостоящих материалов). Детали подвески юнимобилей подвержены жёстким динамическим нагрузкам, в связи с чем изготовлены из высокопрочной износостойкой стали (Hardox). Благодаря этому достигается высокая прочность и надёжность при небольшом весе деталей.

*Примечание: Высокопрочная сталь обладает высоким сочетанием прочности и вязкости и является наиболее надёжным конструкционным материалом, важными свойствами которого являются высокое сопротивление развитию трещин, хорошая свариваемость, не требующая последующей термообработки.*

На основе анализа информации, полученной у разработчика, перечень материалов, применяемых для отделки салона пассажирского беспилотного рельсового электромобиля на стальных колёсах – Юнибуса U4-212-01 – включает:

- огнезащитный состав – вспенивающийся СГК-2;
- материал Sorberpoly 3D 25 A;
- материал Sorberpoly 3D 25 AGC A;
- материал Sorbermel AGC 60 A;
- материал виброакустический Quadzero dBX;
- материал виброакустический Decidamp SP500;
- сэндвич-панель Comprocel ALU-FR.

*Огнезащитный состав вспенивающийся СГК-2* предназначен для повышения предела огнестойкости несущих металлических конструкций, в том числе в условиях углеводородного горения, а также полимерных и композиционных материалов и покрытий. Материал обеспечивает атмосферостойкость и водостойкость при температурах от –60 °С до +60 °С и влажности до 100 %, стойкость к агрессивным средам (нефтепродуктам, кислотам, щелочам, морской атмосфере), высокую адгезию к металлическим и неметаллическим материалам.

*Материал Sorberpoly 3D 25 A* – лёгкий гидрофобный специализированный акустический материал, изготовленный из ультратонких полиэфирных волокон, обеспечивающих звукопоглощающие и теплоизоляционные свойства, эффективен для применения в средах с высокой влажностью. Устойчив к действию топлив, масел и смазочных материалов, к погодным условиям, воде и УФ-излучению в течение длительного периода времени. Отличный теплоизолятор. Нетоксичен и безопасен в обращении без защитной одежды или дыхательного аппарата, не раздражает кожу при монтаже. Не содержит смолистых связующих веществ, создающих неприятный запах или плесень.

*Материал Sorberpoly 3D 25 AGC A* – лёгкий специализированный акустический материал, изготовленный из ультратонких полиэфирных волокон, обеспечивающих звукопоглощающие и теплоизоляционные свойства с защитным слоем из стеклоткани и алюминиевой



фольги. Превосходные противопожарные и теплоизоляционные характеристики достигаются благодаря прочной, хорошо отражающей поверхности из стеклоткани с алюминиевым покрытием. Данный материал почти вдвое легче других поглощающих материалов, таких как пена, минеральная вата и стекловолокно, соответствует международным стандартам с высокими показателями пожарной безопасности и токсичности. Устойчив к погодным условиям, воде и УФ-излучению в течение длительного периода времени. Отличный теплоизолятор. Твёрдый, сжимающийся, гибкий. Нетоксичен и безопасен в обращении без защитной одежды или дыхательного аппарата, не раздражает кожу. Свето- и теплоотражающая непроницаемая поверхность. Не держит воду. Изготовлен из 100 % переработанного полиэстера. Устойчивость к плесени и запаху.

*Material Sorbermel AGC 60 A* – это лёгкий и гибкий пенопласт светло-серого цвета с открытыми порами, изготовленный из меламин, армированный прочным огнестойким покрытием из стеклоткани (AGC), покрытым алюминиевой фольгой. Гибкий, лёгкий, с открытыми ячейками. Перспективен для конструкций, требующих облегчение по массе. Он имеет трехмерную хрупкую сетевую структуру тонких нитей. Его открытая ячеистая структура улучшает звукопоглощение и улавливает энергию шума, чтобы предотвратить её отражение в виде эха. Идеален там, где требуется сопротивление влажности. Благодаря небольшому весу способствует повышению энергоэффективности транспортных средств. Лицевая поверхность из алюминиевой стеклоткани улучшает поглощение средних и низких частот и обеспечивает дополнительную защиту от механических нагрузок, грязи, масла и жидкостей, и увеличивает огнестойкие и термические изоляционные характеристики продукта. Sorbermel AGC 60A имеет одни из самых высоких классификаций огнестойкости, чтобы соответствовать национальным и международным стандартам.

*Material виброакустический Quadzero dBX* – звуковой барьер, соответствует стандартам по пожарной безопасности EN 45545-2 «Испытание на огнестойкость компонента на железнодорожном транспорте».

*Material виброакустический Decidamp SP500* – быстросохнущая вязкоупругая мастика на водной основе, предназначенная для гашения вибраций и улучшения акустики в местах, подверженных вибрациям и ударным шумам. Звукопоглощающая мастика представляет собой легковесный, неопасный, структурный звукопоглощающий материал для использования внутри и снаружи помещений. Состав легко наносится путём распыления, нанесения роликом или затирания поверхности.

*Сэндвич-панель Comprocel ALU-FR* – сотовая панель, облицованная алюминиевыми листами, с наполнителем из алюминиевых сот (шестиугольных ячеек). Панель обладает высокими прочностными свойствами и хорошей огнестойкостью.

В целом, во внутренней отделке салона пассажирского транспортного средства Юнибус U4-212-01 применены высокоэффективные материалы, которые сводят к минимуму уровень шума, повышают огнестойкость, отводят конденсат и защищают интерьер от неблагоприятных климатических условий, способствуют минимизации веса транспортного средства и оптимизируют общую энергоэффективность.

Имеются основания утверждать, что применяемые материалы:

- соответствуют международным стандартам по огнестойкости и звукопоглощению, требованиям Федерального управления транзитных перевозок (FTA) и Федерального управления железных дорог (FRA) по дымообразованию и воспламеняемости, что подтверждено испытаниями в соответствии с ASTM E-662 и ASTM E-162;

- предназначены для использования в общественном транспорте, таком как метро, фуры, автобусы и поезда;

- используются в уже готовых решениях/элементах комплексов uST с учётом соблюдения технологических требований, регламентов и т.д.



## Инфраструктура второго уровня uST (решения в области проектирования и строительства)

Грузовая экспериментальная линия струнного транспорта «Юнилайт» является одной из первых, реализованных на территории «ЭкоТехноПарка» (ЭТП) в г. Марьино Горка. Исходя из полученной от разработчика информации, погрузочно-разгрузочный терминал грузовой линии заглублен в землю на 5 м. Территория ЭТП характеризуется высоким уровнем грунтовых вод, который в весенний период может достигать уровня поверхности земли. В связи с этим, для обеспечения надёжной гидроизоляции погрузочно-разгрузочного терминала грузовой линии применены современные сухие полимерцементные смеси. Также, что очень важно, эластичные гидроизоляционные составы отличаются способностью к перекрытию трещин, возникающих под воздействием динамических нагрузок. На данном объекте использовалась гидроизоляционная смесь эластичная "ГС Пронитрат Эласт" СТБ 1543-2005 – двухкомпонентный состав на основе сухой смеси модифицированного цемента, минеральных заполнителей и водной дисперсии полимера. Предполагается, что применение данной гидроизоляции в том числе позволило на протяжении 7 лет эксплуатации (с 2016 г. по настоящее время) избежать течей стен, обеспечить нормальные условия эксплуатации в условиях высокого уровня грунтовых вод.

Анкерные опоры uST с натяжением на них струн путевой структуры с суммарным усилием до 1800 тонн, представляют собой массивные железобетонные конструкции, бетонирование которых, а также уход за бетоном в процессе твердения, требуют строгого соблюдения технологий выполнения работ. При укладке бетона в жаркую погоду во избежание образования холодных швов, а также сохранения стабильной подвижности бетонной смеси без снижения прочности на всех сроках твердения, в ходе строительства анкерных опор применялась замедляющая твердение добавка к бетону «Парад Релакс Т», которая представляет собой водорастворимый порошок на основе натриевой соли глюконовой кислоты и поликарбоксилатного сополимера. Так как для бетона с замедлителем твердения необходим тщательный уход, включающий защиту от испарения влаги, разработчиком использовались плёнкообразующие составы «Парад СП 1».

Промежуточные металлические опоры uST на одном из тестовых участков представляют собой П-образную раму с системой связей между стойками. Соединение связей со стойками запроектировано фрикционным: усилия передаются через площадку трения между пластинами. По информации разработчика, при монтаже некоторых элементов связей зазоры между пластинами получились на пределе нормативных значений, в связи с чем для устранения нежелательных зазоров использован металлополимер ММ1018. Компьютерное моделирование узла с учётом заполнения зазоров указанным металлополимером, показало полное восстановление несущей способности узла.

Для защиты металлических конструкций опор uST на объектах транспортной структуры в ЗАО «Струнные технологии» принят технологический регламент по антикоррозионной защите металлоконструкций методом окрашивания (фрагмент приведён в табл. 1).

Таблица 1 – Требования по применению ЛКП для антикоррозионной защиты металлоконструкций uST методом окрашивания

Системы ЛКП	Описание слоя	Название	Толщина слоя, мкм	Общая толщина системы ЛКП, мкм
Наносится на чистый подготовленный металл	Цинкнакопленный эпоксидный грунт	Jotun Barrier 80	60–80	320–350
	Двухкомпонентный эпоксидный грунт	Jotun Penguard Universal	200	
	Двухкомпонентная полиуретановая эмаль	Jotun Hardtop XP	60–70	



При высокой коррозионной агрессивности по ISO 14713 – С4, для наружных поверхностей колонн, соприкасающихся с грунтом и до уровня на 150 мм выше поверхности грунта, разработчиком предусматривается дополнительная защита: эпоксидными лакокрасочными покрытиями в сочетании с мастиками на основе хлоропренового каучука (при толщине слоя не менее

2 мм) либо покрытиями на основе полимочевины (не менее 1,2 мм).

Соприкасающиеся поверхности фланцев, а также стыки пластин с контролируемым натяжением, монтажные зазоры узлов на строительной площадке после сборки соединений герметизируют по контуру UF-стойкой мастикой.

#### *Материалоёмкость транспортно-инфраструктурных решений uST*

Также вызывает интерес материалоёмкость изготовления транспортно-инфраструктурного комплекса. На основе данных, предоставленных специалистами ЗАО «Струнные технологии» в рамках строительства тестовых участков линий струнного транспорта в г. Шардже (ОАЭ), удельный расход материалов (для длины трассы общей протяжённостью в 10 км — см. таблицу 2) составляет:

Таблица 2 – Усреднённый расход материалов для строительства 1 км двухпутной трассы uST (натяжение струн 1700 т, масса юнимобиля 40 т)

№, конструктивный элемент	Материал	Расход материалов на 1 км трассы	
		масса, т	объём, м <sup>3</sup>
1. Рельс-струна, в т.ч.:			
1.1 дорожка качения	сталь нержавеющая	13	–
1.2 корпус	алюминий экструдированный	6	–
1.3 струна	стальная проволока	240	–
1.4 наполнитель	полимер		8
1.5 клеевая мастика	полимер		0,5
1.6 электроизоляция	композит	1	–
2. Промежуточные опоры (высота 15 м), в т.ч.:			
2.1 металлоконструкции	сталь	66	–
2.2 фундамент	железобетон	–	100
3. Анкерные опоры (высота 15 м), в т.ч.:			
3.1 наземная часть	железобетон	–	70
3.2 фундамент	железобетон	–	100
3.3 анкерное крепление	сталь	1,3	–

Исходя из представленной информации, при средней высоте опор 15 м расход железобетона на их сооружение на 1 км двухпутной трассы составит около 250 м<sup>3</sup>, или около 0,25 м<sup>3</sup> на 1 м. п.

Для сравнения: расход железобетона на 2-х-стороннее ограждение высокоскоростной железнодорожной магистрали в среднем составляет 750 м<sup>3</sup>/км). Нормированный объём бетона (железобетона) на 1 км длины моста (шириной 12 м), расположенного на автомобильных дорогах общего пользования, составляет 7800 м<sup>3</sup>, или 7,8 м<sup>3</sup> на 1 м. п. Средний расход железобетона для строительства железнодорожного полотна (рельсошпальной решётки с железобетонными шпалами) составляет около 400 м<sup>3</sup>/км для двухпутной дороги, или около 0,4 м<sup>3</sup> на 1 м. п. – только на шпалы.

Совокупность перечисленных примеров, а также представленная в таблице 2 информация дают основания считать материалоёмкость транспортной системы uST низкой по сравнению с традиционными решениями (на примере железных дорог, мостов, монорельсовых дорог и традиционных транспортных эстакад). Это снижает объём строительного-монтажных работ и



стоимость строительства транспортно-инфраструктурных комплексов uST, но и, главным образом, – существенно снижает экологическую нагрузку на стадии строительства и последующей эксплуатации рельсо-струнных транспортных коммуникаций в эстакадном исполнении.

### **Выводы и рекомендации**

1. Немаловажным фактором является общедоступность строительных и конструкционных материалов, необходимых для производства транспортно-инфраструктурных комплексов uST в целом: в подавляющем большинстве они выпускаются белорусскими (и российскими) промышленными предприятиями. Например, для изготовления струны uST подходят десятки марок стали, выпуск которых в целом уже давно освоен в крупносерийном производстве, в том числе отечественной промышленностью. Аналогичный вывод можно сделать об остальных элементах рельса-струны, путевой структуры, опор и транспортного модуля uST: данные составляющие и материалы (сырьё), необходимые для их изготовления, выпускаются промышленными предприятиями Союзного государства в значительных объёмах, что подтверждает технологичность, эффективность и целесообразность выбора тех или иных материалов и решений uST в целом.

2. Необходимо также отметить следующий важный аспект. Россия, как страна с наибольшей в мире среди всех государств территорией и разнообразием климата, имеет высокий потенциал в туристической, транспортной и аграрной областях, которые требуют в современных условиях нестандартных, технологичных, комплексно проработанных и экономически оправданных решений. В этой связи технологии uST (в том числе в их комплексном понимании: в транспортной, энергетической и аграрной областях), реализовываемые ЗАО «Струнные технологии» под научным и инженерным руководством А.Э. Юницкого, видятся здесь как решения:

а) необходимые и готовые для внедрения с различных точек зрения (технической, экономической, маркетинговой и т.д.) в Российской Федерации;

б) в полной мере соответствующие повестке научно-технологического и инновационного развития России на средне- и долгосрочную перспективу.

Главным образом, технологии uST способствуют не только снижению издержек на транспортировку сырья и материалов, но и развитию глубины их переработки, оказывая влияние на инновационный рост страны в целом. В частности, внедрение транспортно-инфраструктурных решений компании ЗАО «Струнные технологии» (струнный транспорт uST) в регионах России будет способствовать гибкости их экономик, влияя тем самым на устойчивость перед мировыми вызовами.

Технологии uST, апробированные на примере уже реализованных проектов и готовые к внедрению в различных странах (в том числе и в России), способны стать отражением положительного примера не только взаимовыгодного сотрудничества России и Беларуси, но и бережного отношения к природе, что несомненно положительно окажет влияние на имидж двух Союзных стран перед мировым сообществом.

«25» «апреля» 2024 г.



Проректор по научной и инновационной деятельности, доктор технических наук, профессор  
Коновалов С.В.