

Использование программных решений *MSC Software* для проектирования транспортной системы второго уровня *SkyWay*

С.А. Пронкевич, А.Е. Шашко (ЗАО “Струнные технологии”)

Со времен Римской Империи и до наших дней транспортные системы играли важную роль в развитии цивилизации. Однако существующие сегодня инфраструктурные решения стали источником множества проблем: ежегодно на автомобильных дорогах гибнет порядка 1.5 млн. человек, а более 10 млн. становятся инвалидами; “закатана” в асфальт и “похоронена” под шпалами территория, равная по площади пяти Великобританиям. Автомобильный, авиационный и железнодорожный транспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей среды.

Разрабатываемая инженерами ЗАО “Струнные технологии” транспортная система второго уровня – *струнный транспорт Юницкого (СТЮ)*, призвана решить перечисленные выше проблемы. Электромобиль на стальных колесах, получивший название **юнимобиль**, перемещается над землей по специальной предварительно напряженной, неразрезной и статически неопределимой, рельсострунной эстакаде (рис. 1). Это позволяет оптимизировать его аэродинамические характеристики, увеличить скорость движения и уменьшить мощность привода подвижного состава, минимизировать площадь земли под путевой структурой и, как следствие, свести до минимума наносимый транспортом вред окружающей среде. Кроме того, существенно снижаются стоимость строительства и эксплуатационные издержки в сравнении с существующими транспортными решениями. СТЮ обеспечивает высокоэффективные пассажирские и грузовые перевозки на любые расстояния в различных природно-климатических условиях.

Струнный рельс

В основу технологии СТЮ положен инновационный струнный рельс. Струнный рельс – это обычная неразрезная (по длине) стальная, железобетонная или сталежелезобетонная балка или ферма, оснащенная головкой рельса и дополнительно армированная предварительно напряженными (натянутыми) струнами. Струнный рельс сочетает в себе свойства гибкой нити (на большом пролете между опорами) и жесткой балки (на малом пролете – под колесом юнимобиля или над опорой).

Один из вариантов реализации струнного рельса схематично показан на рис. 2.



Рис. 1. Городской юнимобиль (18-местный юникар) на жесткой путевой структуре. Марьина Горка, Беларусь, 2018 г.

Подвижной состав представляет собой рельсовые электромобили-беспилотники на стальных колесах, снабженные противосходной системой и имеющие интеллектуальную систему безопасности, управления и связи. Модельный ряд включает в себя как пассажирские транспортные средства, так и грузовые решения. Пассажирские юнимобили имеют вместимость от двух (подвесной

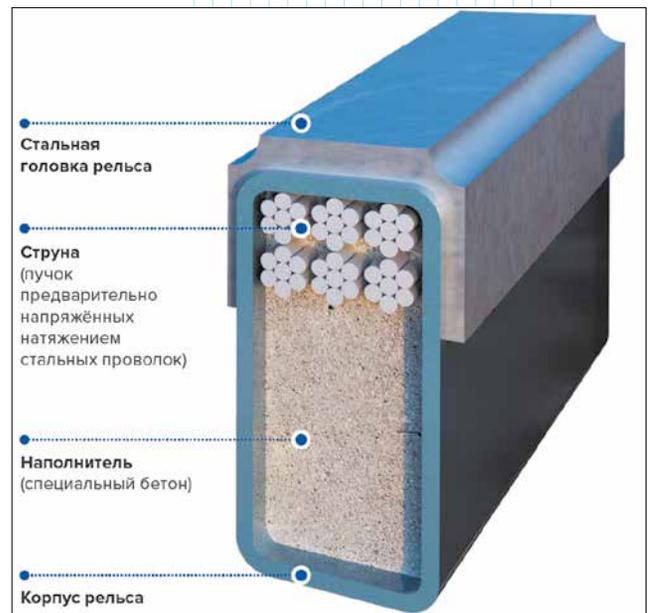


Рис. 2. Вариант конструкции полужесткого струнного рельса

бирельсовый юнибайк) до 18-ти (подвесной сочлененный бирельсовый юникар) и 48-ми (подвесной сочлененный квадирельсовый юнибус) пассажиров. Реализована возможность работы юникаров и юнибусов в сцепке – до семи машин.

Грузовые юнимобили решают наиболее актуальные на сегодняшний день логистические задачи: перевозка тяжелых грузов, в частности морских контейнеров (юниконт). Кроме того, предлагаются непрерывные (бесконечные) грузовые решения для транспортировки сыпучих грузов – типа ленточного конвейера (юнитранс).

При проектировании транспортных средств в ЗАО “Струнные технологии” широко используется программное обеспечение корпорации *MSC Software: Adams, Easy5, Apex, ScFlow, Digimat* и т.д.

В качестве примера приведено моделирование работы двери транспортного средства при помощи *Adams* и *Easy5*.

Связка *Adams* + *Easy5*

Программное обеспечение *Adams* (*Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems* – автоматизированный динамический анализ механических систем) на сегодняшний день является оптимальным средством для виртуального моделирования работы сложных механизмов. Это решение позволяет моделировать сложные нелинейные механические системы с различными силовыми и кинематическими воздействиями, выполнять расчеты параметров изделий, определяющих их работоспособность (перемещения, скорости и ускорения компонентов изделия, действующие нагрузки и т.д.).

Easy5 – специализированный продукт для 1D-моделирования широкого круга сложных технических систем и устройств на схемном уровне. *Easy5* позволяет моделировать цифровые и аналоговые системы управления, гидроприводы, трансмиссии, пневматические и механические устройства, системы кондиционирования и многое другое.

Так как *Easy5* легко интегрируется с *Adams*, это позволяет создавать полноценные виртуальные прототипы механических систем (с учетом податливости как всего механизма, так и отдельных

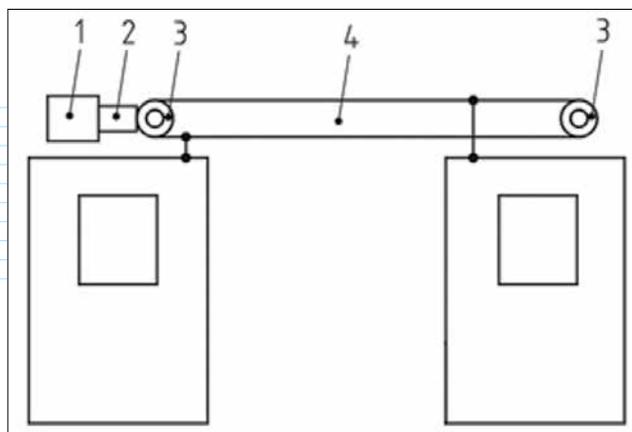


Рис. 3. Двустворчатая прислонно-сдвижная дверь: 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – шкив; 4 – ременная передача

его частей) с системой управления. В среде *Adams* моделируется механическая часть – механизмы, изделия в целом, а в среде *Easy5* – система управления.

Проектирование двери пассажирского юнимобиля

Рабочий процесс в ЗАО “Струнные технологии” организован так, что на первом этапе проектирования разрабатывается 1D-модель. После отладки этой модели сотрудники создают трехмерную модель и проверяют её работу средствами системы *Adams*.

В частности, таким образом проводилось проектирование двери пассажирского юнимобиля.

Упрощенная кинематическая схема двустворчатой прислонно-сдвижной двери показана на рис. 3, более детальная конструкция привода (вид сверху) – на рис. 4.

Синхронное перемещение дверей осуществляется благодаря поступательному движению зубчатой ременной передачи 4, жестко связанной с кронштейнами дверных створок; создается это движение путем передачи крутящего момента от

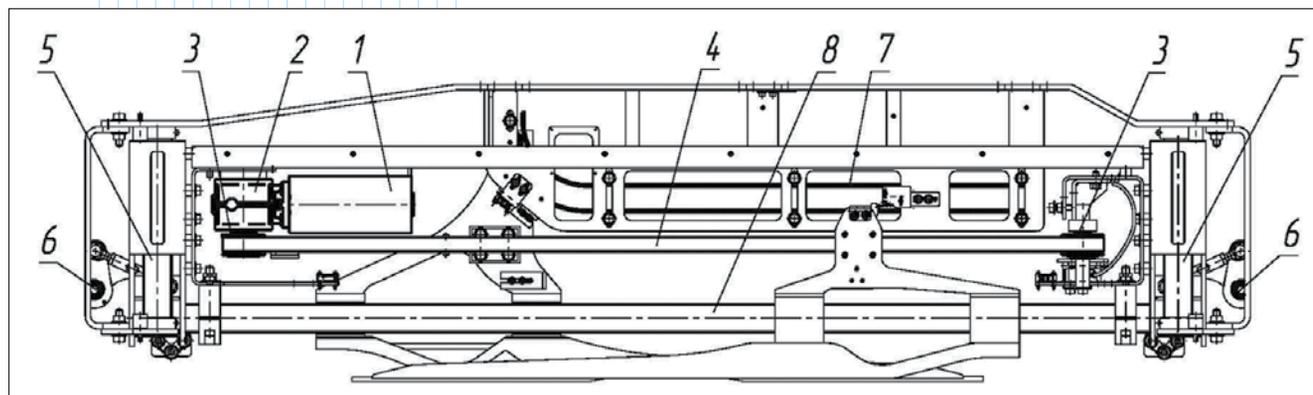


Рис. 4. Привод двери (вид сверху): 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – шкив; 4 – ременная передача; 5 – поперечная ось; 6 – поворотная стойка; 7 – следящий кронштейн; 8 – продольная ось

двигателя **1** через редуктор **2** и шкив **3**. Движение створок дверей в поперечном направлении (перпендикулярно направлению движения транспортного средства) обеспечивают поперечные оси **5**, а движение створок в продольном направлении (вдоль направления движения транспортного средства) – продольные оси **8**. Взаимосвязь движения в поперечном и продольном направлениях осуществляется с помощью следящего кронштейна **7**. Жесткую связь и синхронизацию верхних и нижних частей дверных створок обеспечивают поворотные стойки **6**.

Механизм фиксации двери должен обеспечивать одновременное, совместное блокирование каждой отдельной дверной створки. Каждая створка жестко связана с соответствующей поворотной осью, в основании которой имеется металлический болт (страйкер). При повороте стойки, соответствующем закрытому положению дверной панели, этот болт фиксируется механическим замком, жестко закрепленным на каркасе транспортного средства – тем самым блокируется любое перемещение. Дополнительную синхронизацию и фиксацию створок осуществляют дверные уловители, регулируемые по всем трем направлениям.

Формирование сигнала об открытом и закрытом положении дверей происходит на основании срабатывания соответствующих микровыключателей, выставленных таким образом, чтобы фиксировать крайние положения дверных створок.

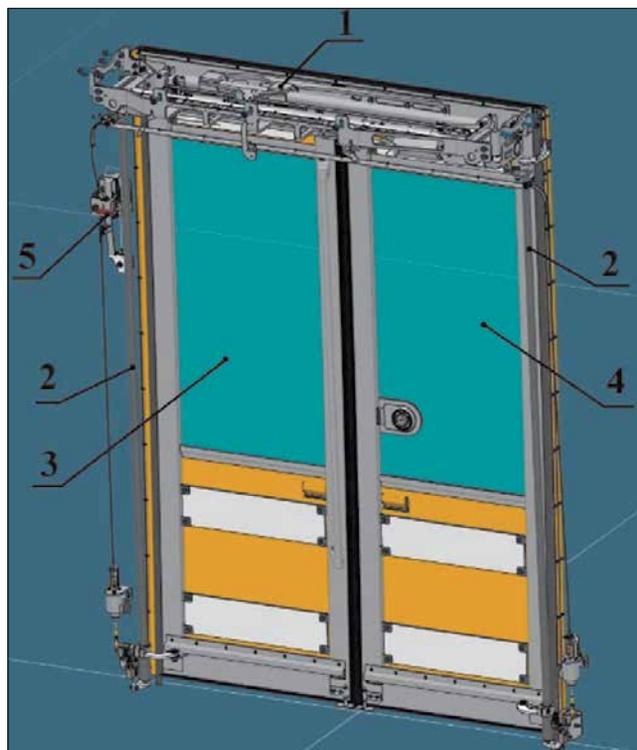


Рис. 5. Составные части дверного комплекта: 1 – механизм привода; 2 – поворотная стойка; 3 – панель двери левая; 4 – панель двери правая; 5 – механизм аварийного открытия

Два микровыключателя настроены на срабатывание в случае, когда створки дверей полностью открыты, два других – когда полностью закрыты; так контролируются положения дверей.

Контроллеры каждой из дверей на основании показаний датчиков закрытия и запираения, открытия и отпираения формируют сигнал о готовности двери к движению юнимобиля. При отсутствии сигнала готовности хотя бы одной из дверей система контроля движения не позволит транспортному средству начать движение.

Геометрическая модель двери показана на рис. 5.

На основе полученной геометрической модели в среде *Adams* была разработана расчетная модель двери, которая включала в себя инерционные массы (собственные элементы), элементы привода и силовые элементы конструкции (рис. 6).

В частности, при решении поставленной задачи нам потребовались модули *Machinery Gear* и *Machinery Belt* – для симуляции работы червячного самотормозящегося редуктора и ременного привода соответственно. Кроме того, расчетная модель включает значительное количество контактных пар, что необходимо для анализа взаимодействия отдельных элементов конструкции с ранее определенными параметрами (в основном, для моделирования ограничителей).

Одной из целей расчета было определение мощностных параметров привода с учетом наличия червячного редуктора и податливости используемого ремня. Согласно техническим требованиям, на смену состояния с “Дверь открыта” на “Дверь закрыта и заперта” отводится не более 3 секунд. Переход из



Рис. 6. Расчетная модель двери в среде *Adams*

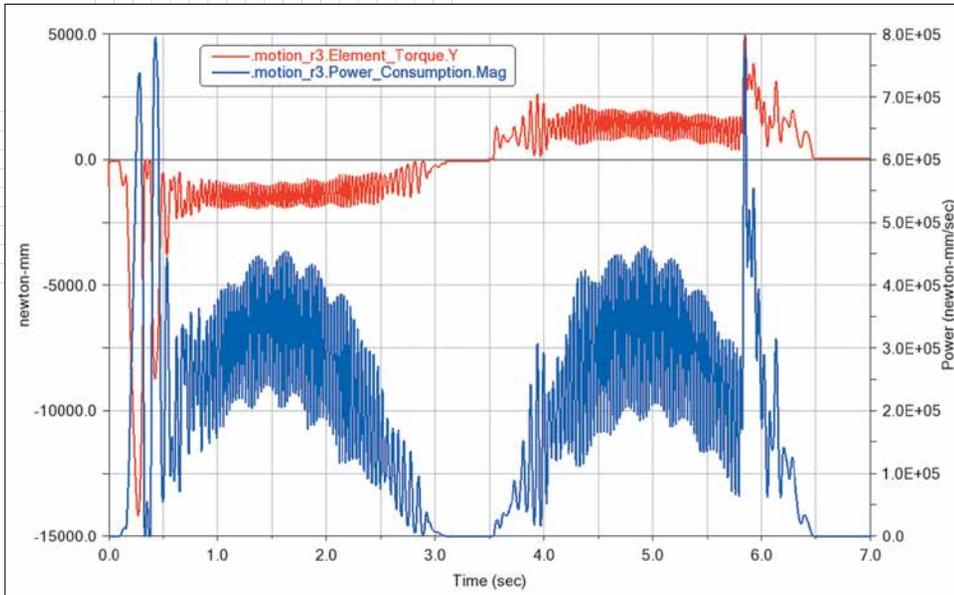


Рис. 7. Реактивный крутящий момент и развиваемая мощность

параметры составных частей привода.

Разработка системы управления дверями

При проектировании двери параллельно решалась задача разработки системы управления. В эту задачу, помимо отработки режима открытия/закрытия, входит еще и функция обеспечения безопасности пассажиров при посадке и высадке из юнимобиля. Для этого двери оснащены системой датчиков, и при возникновении нештатной ситуации механизм должен срабатывать соответствующим образом, чтобы избежать травмирования пассажира.

состояния “Дверь закрыта и заперта” в “Дверь открыта” также должен занимать не более 3 сек. Для обеспечения этого требования был подобран начальный закон движения. Из заданных кинематических граничных условий была определена величина реактивного крутящего момента на входе привода, а также результирующая мощность (рис. 7).

На основе полученных данных производился подбор электродвигателя и корректировались

Для моделирования работы дверей с учетом системы управления использовалась связка *Adams* и *Easy5*. С её помощью была проверена реакция системы на различные нештатные состояния, такие как активация контактных и емкостных датчиков в створках дверей (реализация контактных и емкостных датчиков в *Adams* моделировалась при помощи функций пространственных измерений расстояний и применением

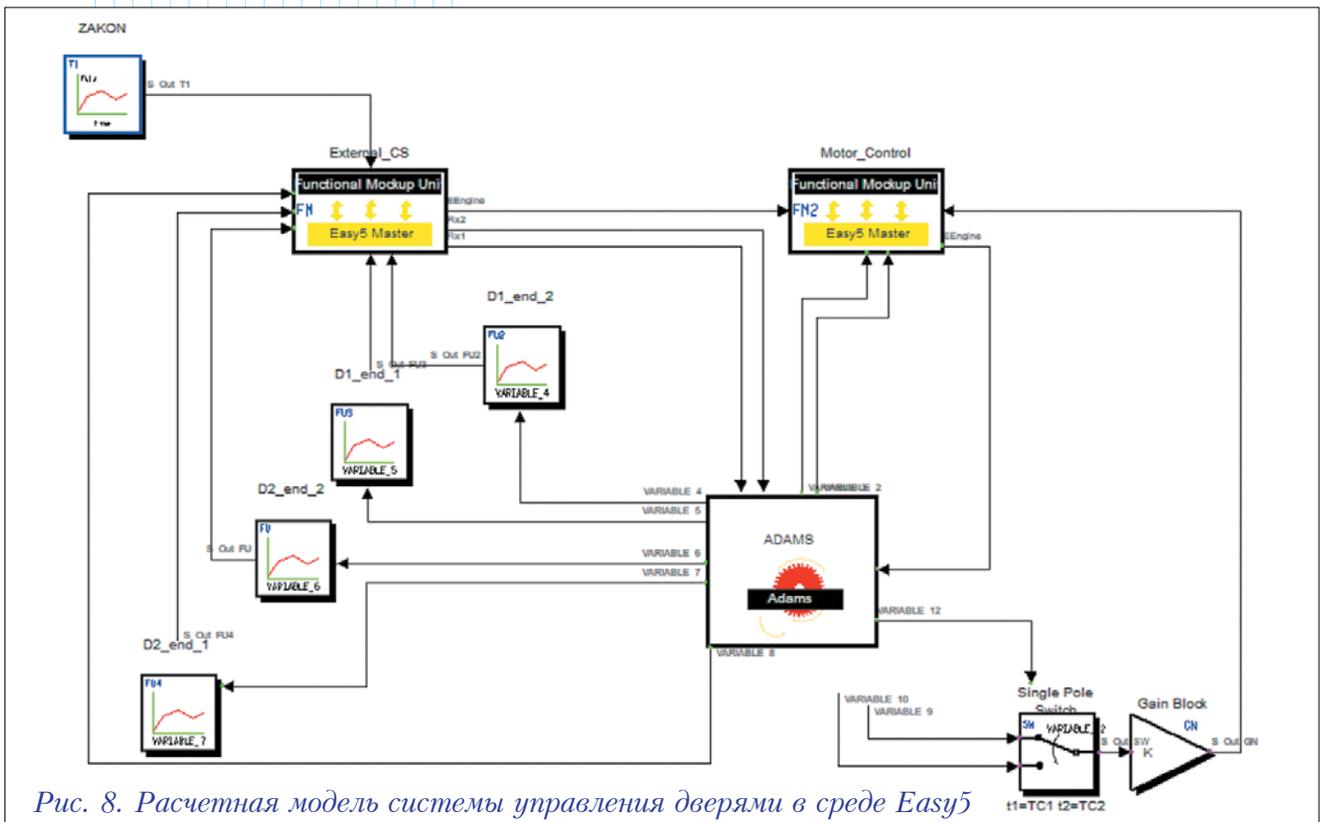


Рис. 8. Расчетная модель системы управления дверями в среде Easy5

