

**П.Н. Чередник**

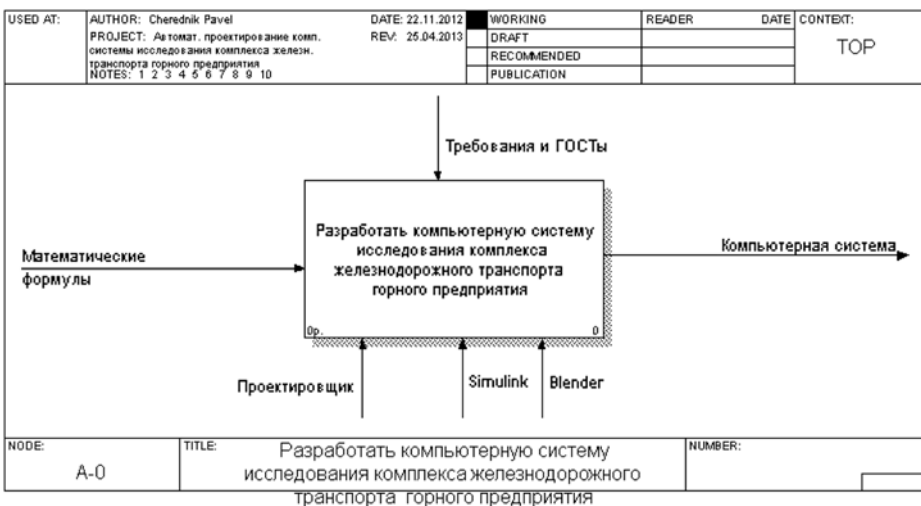
## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Рассмотрен процесс построения компьютерной системы для исследования вертикальных колебаний вагона подземного железнодорожного транспорта горного предприятия. Процесс проектирования ведется с помощью двух программных средств Matlab Simulink и Blender. Разработка состоит из следующих этапов: математическая модель, имитационная модель, и геометрическая модель. В конце работы проводятся исследования полученной модели.

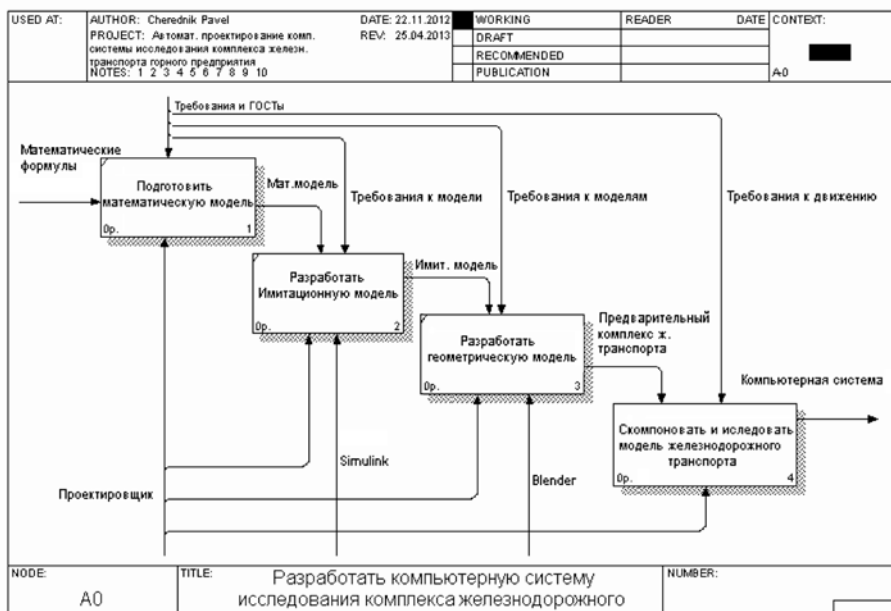
*Ключевые слова:* пассажирские вагоны горных предприятий, математическая модель колебаний вагонов горного транспорта, имитационная модель вагона поезда, геометрическая модель вагонетки ВПГ-12.

**Р**ассмотрим функциональную модель проектной деятельности с целью определения в ней разработки, проектирования компьютерной системы комплекса подземного железнодорожного транспорта. На рис. 1 показана контекстная диаграмма IDEF0. По ней видно, что проектная деятельность осуществляется на основе математических формул. Конечным продуктом деятельности является компьютерная система.

На первом уровне декомпозиции (рис. 2) более детально рассматривается проектная деятельность, которая включает в себя как подготовку математической модели, так и деятельность по подготовке моделей, для дальнейшего исследования и создания конечной компьютерной системы.

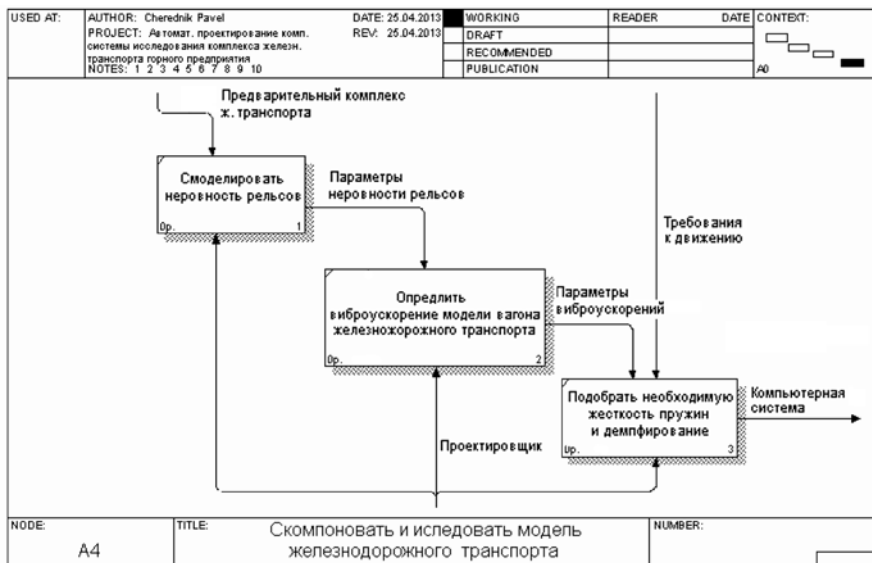


**Рис. 1. Контекстная диаграмма IDEF0**

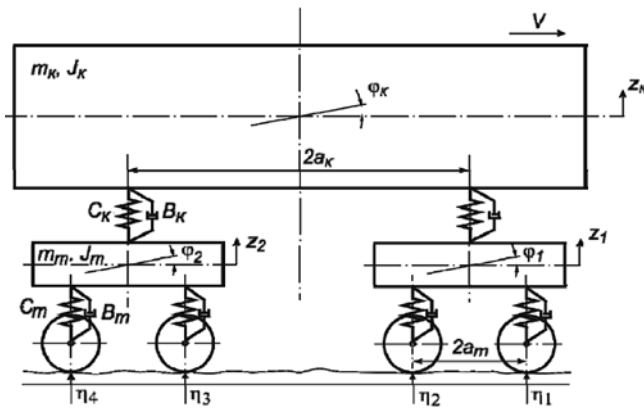


**Рис. 2. Первый уровень декомпозиции модели**

На рис. 3 показаны все этапы исследования модели подземного железнодорожного транспорта, а именно моделирование неровности рельсов, определение виброускорений вагона для перевозки людей, подборка необходимой жесткости и демпфирования. Рассмотренные модели позволяют определить порядок разработки компьютерной системы исследования подвижного состава подземного железнодорожного транспорта горного предприятия.



**Рис. 3. Этапы компоновки и исследования модели подземного железнодорожного транспорта**



**Рис. 4. Расчетная схема колебаний экипажа типа (2о-2о)**

плоскости при прохождении неровностей пути рассмотрим расчетную схему колебаний в вертикальной продольной плоскости секций вагона типа ВПГ 12, имеющего осевую формулу 2о-2о (рис. 4).

Приняты следующие обозначения:  $m_k$  – масса кузова;  $J_k$  – момент инерции кузова;  $m_T$  – масса тележки;  $J_T$  – момент инерции тележки;  $a_k$  – половина базы кузова;  $a_T$  – половина базы тележки;  $c_T, b_T$  – жесткость и демпфирование в первом ярусе подвешивания;  $c_k, b_k$  – жесткость и демпфирование во втором ярусе подвешивания;  $z_i, \dot{z}_i, \ddot{z}_i, \varphi_i, \dot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_i$  – обобщенные координаты и их производные по времени;  $\eta_j(t)$  – возмущение со стороны пути под  $j$ -й колесной парой.

Кузов и тележки вагона представляют собой твердые тела, имеющие две степени свободы и связанные упругими и диссипативными связями. Колесные пары перемещаются без отрыва от рельсов. Возмущения от правого и левого рельсов примем одинаковыми, что позволяет рассмотреть плоские колебания. Такая постановка задачи вполне достаточна, чтобы рассмотреть основные динамические процессы в системе.

Модель имеет шесть степеней свободы. Для исследования колебаний в вертикальной продольной плоскости составим систему шести дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих колебания в вертикальной продольной плоскости.

Уравнения колебаний кузова:

$$m_k \cdot \ddot{z}_k + b_k \cdot (2 \cdot \dot{z}_k - \dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_k \cdot (2 \cdot z_k - z_1 - z_2) = 0; \quad (1)$$

$$J_k \cdot \ddot{\varphi}_k + a_k \cdot b_k \cdot (2 \cdot a_k \cdot \dot{\varphi}_k - \dot{z}_1 + \dot{z}_2) + a_k \cdot c_k \cdot (2 \cdot a_k \cdot \varphi_k - z_1 + z_2) = 0. \quad (2)$$

Уравнения колебаний первой тележки:

$$m_T \cdot \ddot{z}_1 - b_k \cdot (\dot{z}_k - \dot{z}_1 + a_k \cdot \dot{\varphi}_k) - c_k \cdot (z_k - z_1 + a_k \cdot \varphi_k) + 2 \cdot b_T \cdot \dot{z}_1 + 2 \cdot c_T \cdot z_1 = b_T \cdot (\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) + c_T \cdot (\eta_1 + \eta_2); \quad (3)$$

$$J_T \cdot \ddot{\varphi}_1 + 2 \cdot b_T \cdot a_T^2 \cdot \dot{\varphi}_1 + 2 \cdot c_T \cdot a_T^2 \cdot \varphi_1 = a_T \cdot [b_T \cdot (\dot{\eta}_1 - \dot{\eta}_2) + c_T \cdot (\eta_1 - \eta_2)]. \quad (4)$$

В качестве исходных формул для составления математической модели используем расчетную схему, разработанную Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» [1].

Для изучения колебаний вагона подземного железнодорожного транспорта горного предприятия в вертикальной продольной

Уравнения колебаний второй тележки:

$$m_T \cdot \ddot{z}_2 - b_K \cdot (\dot{z}_K - \dot{z}_2 - a_K \cdot \dot{\varphi}_K) - c_K \cdot (z_K - z_2 - a_K \cdot \varphi_K) + 2 \cdot b_T \cdot \dot{z}_2 + 2 \cdot c_T \cdot z_2 = b_T \cdot (\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) + c_T \cdot (\eta_3 + \eta_4); \quad (5)$$

$$J_T \cdot \ddot{\varphi}_2 + 2 \cdot b_T \cdot a_T^2 \cdot \dot{\varphi}_2 + 2 \cdot c_T \cdot a_T^2 \cdot \varphi_2 = a_T \cdot [b_T \cdot (\dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4) + c_T \cdot (\eta_3 - \eta_4)]. \quad (6)$$

Уравнения колебаний тележек (3) и (5) в правой части содержат выражения, описывающие возмущение со стороны пути.

Неровность пути – внешнее возмущение нашей системы. На входы модели возмущение подается со смещением – транспортным запаздыванием  $\tau = 2a_k/v$ , определяемым геометрическими размерами и скоростью движения:

$$\eta_i = \eta(t - \tau_i). \quad (7)$$

Выбор вида возмущающего воздействия от пути – неровности пути зависит от постановки задачи и точности, предъявляемой к математической модели.

Для анализа динамических нагрузок необходимо получить значения ускорений подвижных частей экипажа. Подпрограммы численного интегрирования, используемые в пакете Matlab Simulink, не позволяют напрямую вывести значения вторых производных. Для этого преобразуем уравнения к виду:

Уравнения колебаний кузова:

$$\begin{aligned} \ddot{z}_k &= \frac{1}{m_k} (-b_k (2 \cdot \dot{z}_k - \dot{z}_1 - \dot{z}_2) - c_k (2 \cdot z_k - z_1 - z_2)), \\ \ddot{\varphi}_k &= \frac{1}{J_k} (-a_k \cdot b_k \cdot (2 \cdot a_k \cdot \dot{\varphi}_k - \dot{z}_1 + \dot{z}_2) - \\ &- a_k \cdot c_k (2 \cdot a_k \cdot \varphi_k - z_1 + z_2)). \end{aligned} \quad (8)$$

Уравнения колебаний первой тележки:

$$\begin{aligned} \ddot{z}_1 &= \frac{1}{m_T} (b_k (\dot{z}_k - \dot{z}_1 + a_k \cdot \dot{\varphi}_k) + c_k (z_k - z_1 + a_k \cdot \varphi_k) - \\ &- 2b_T \cdot \dot{z}_1 - 2c_T \cdot z_1 + b_T (\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) + c_T (\eta_1 + \eta_2)), \\ \ddot{\varphi}_1 &= \frac{1}{J_T} (-2b_T \cdot a_T^2 \cdot \dot{\varphi}_1 - 2c_T \cdot a_T \cdot \varphi_1 + \\ &+ a_T \cdot [b_T (\dot{\eta}_1 - \dot{\eta}_2) + c_T (\eta_1 - \eta_2)]). \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнения колебаний второй тележки:

$$\begin{aligned} \ddot{z}_2 &= \frac{1}{m_T} (b_k (\dot{z}_k - \dot{z}_2 - a_k \cdot \dot{\varphi}_k) + c_k (z_k - z_2 + a_k \cdot \varphi_k) - \\ &- 2b_T \cdot \dot{z}_2 - 2c_T \cdot z_2 + b_T (\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) + c_T (\eta_3 + \eta_4)), \\ \ddot{\varphi}_2 &= \frac{1}{J_T} (-2b_T \cdot a_T^2 \cdot \dot{\varphi}_2 - 2c_T \cdot a_T \cdot \varphi_2 + \\ &+ a_T \cdot [b_T (\dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4) + c_T (\eta_3 - \eta_4)]). \end{aligned} \quad (10)$$

Подставляя в них параметры вагона и полученные значения переменных модели, получим необходимую математическую модель вагона железнодорожного транспорта горного предприятия.

На основе полученной ранее математической модели создадим с помощью программы Matlab Simulink имитационную модель вагона подземного железнодорожного транспорта горного предприятия (рис. 5).

Пакет расширения Simulink системы MATLAB является ядром интерактивного программного комплекса, предназначенного для математического моделирования линейных и нелинейных динамических систем и устройств, представленных своей функциональной блок-схемой.

Для построения функциональной блок-схемы моделируемых устройств Simulink имеет обширную библиотеку блочных компонентов и редактор блок-схем. Он основан на графическом интерфейсе пользователя и по существу является средством визуально-ориентированного программирования. Используя палитры компонентов (наборы блоков), пользователь с помощью мыши переносит нужные блоки с палитр на рабочий стол пакета Simulink и соединяет линиями входы и выходы блоков. Таким образом, создается диаграмма (блок-схема) системы или устройства, то есть модель. Модель фактически является программой, которую можно просмотреть с помощью тестового редактора или с помощью редактора файлов системы MATLAB.

Файлы модели имеют расширение «.mdl»

На базе элементов Simulink соберем схему, реализующую математическую модель, описанную выше. При построении схемы на основе математической модели, простые арифметические операции реализуются на основе блоков Simulink (рис. 5).

Зададим следующие данные для нашей имитационной модели (табл. 1).

Для создания имитации неровности со стороны рельсового пути использовались следующие блоки и фильтры указанные в табл. 2.

Таблица 1.

**Значения параметров модели**

Переменная	Значение	Единица измерения
$m_k$	50	т
$J_k$	70	н
$m_T$	24	т
$J_T$	12	н
$a_k$	3,725	м
$a_T$	1,5	м
$c_T$	3100	н/м
$b_T$	28	–
$c_k$	787	н/м
$b_k$	30	–
Верхний предел генерации случ. чисел	0,2	м
Нижний предел генерации случ. чисел	-0,2	м

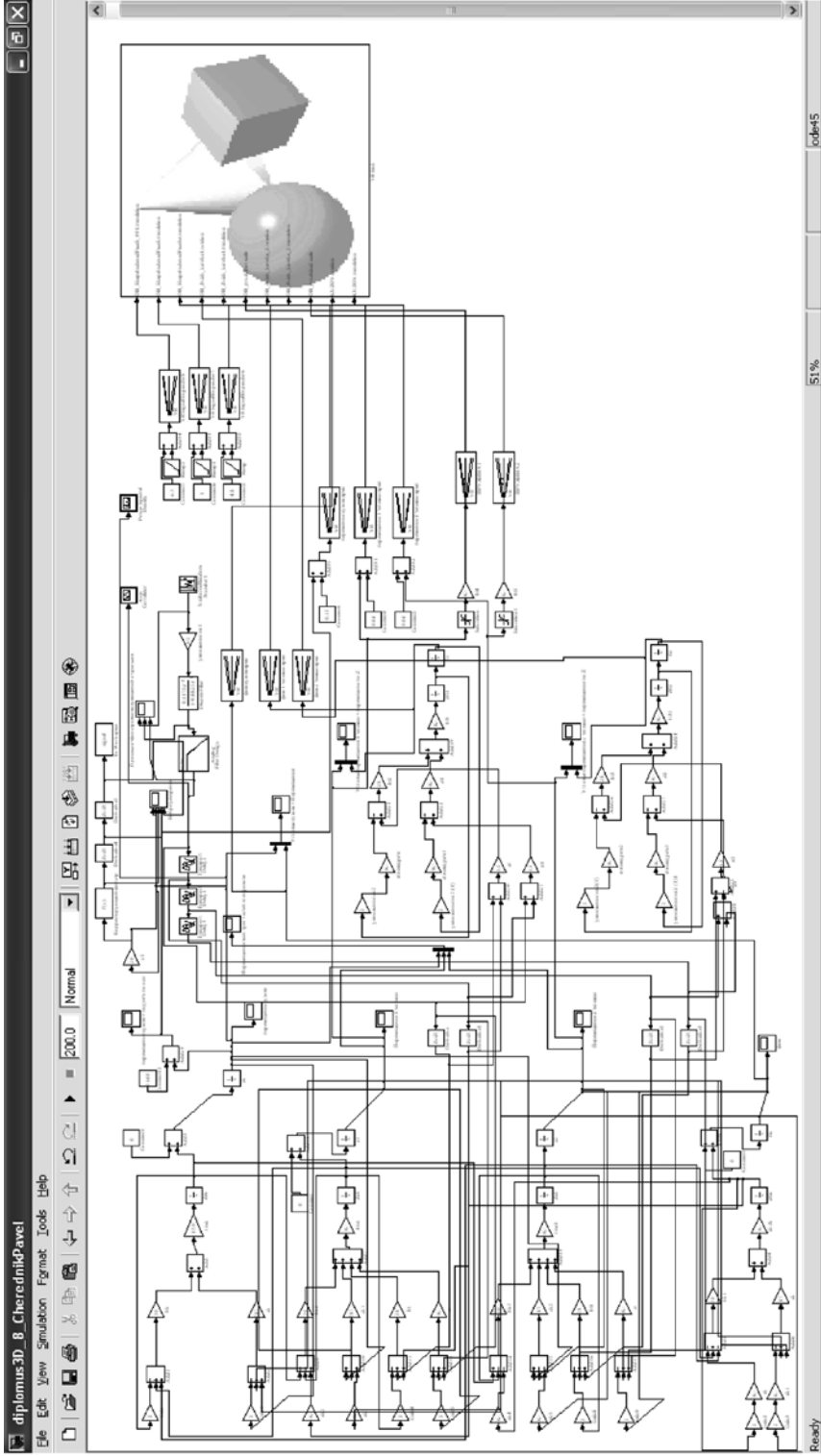


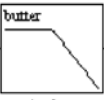
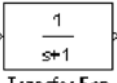


Рис. 5. Диаграмма имитационной модели вагона железнодорожного транспорта в Matlab Simulink

Таблица 2

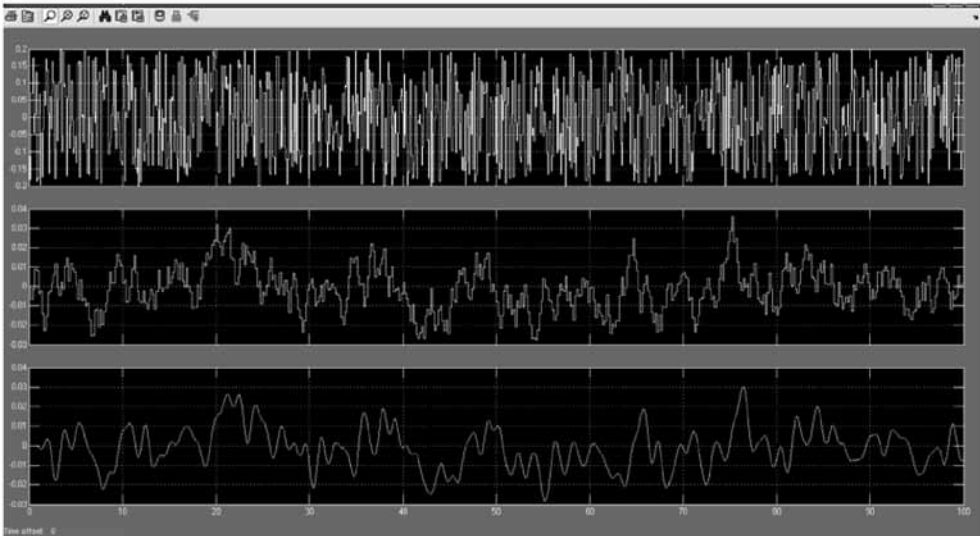
**Блоки Simulink для имитации неровности пути**

Блок	Описание
 Uniform Random Number	Источник случайного сигнала с равномерным распределением. Уровень сигнала ограничен сверху и снизу значениями Maximum и Minimum
 Transport Delay	Блок фиксированной задержки обеспечивает временную задержку входного сигнала на заданное время
 Analog Filter Design	Фильтр Баттерворта
 Transfer Fon	Блок передаточной характеристики создает передаточную функцию $H(s) = y(s)/u(s)$ в виде отношения полиномов заданной степени

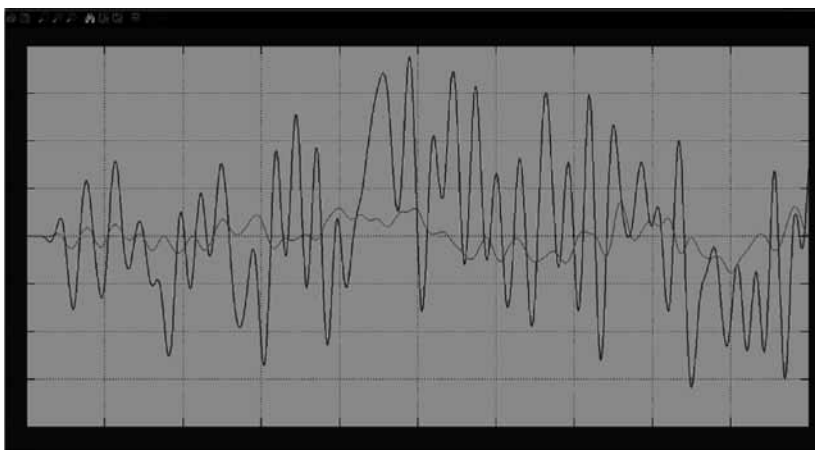
Блоки соединяются последовательно. В качестве исходного сигнала возьмем генератор случайного сигнала (Uniform Random Number). Фильтры необходимы для процесса фильтрации значений случайного сигнала под приемлемую модель неровности рельсов в шахте горного предприятия.

Получившийся график возмущения неровности пути показан на рис. 6.

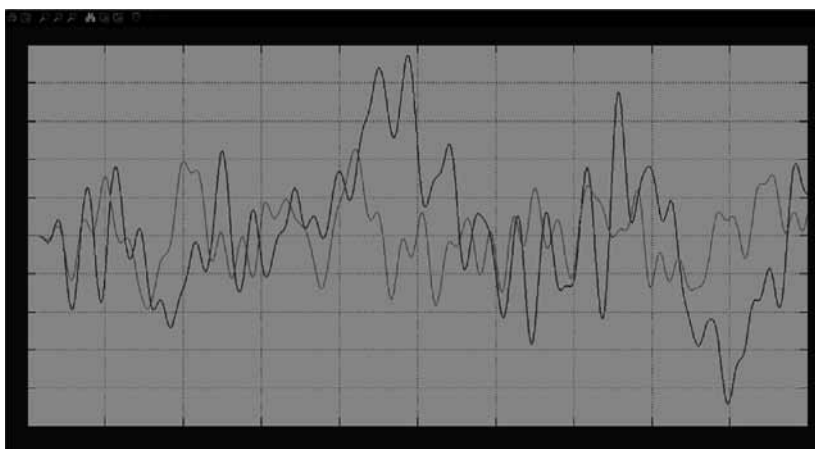
В результате подачи возмущения неровности пути на нашу модель вагона получим следующий график вертикальных и фазовых колебаний кузова и двух осевых тележек (рис. 7, рис. 8, рис. 9)



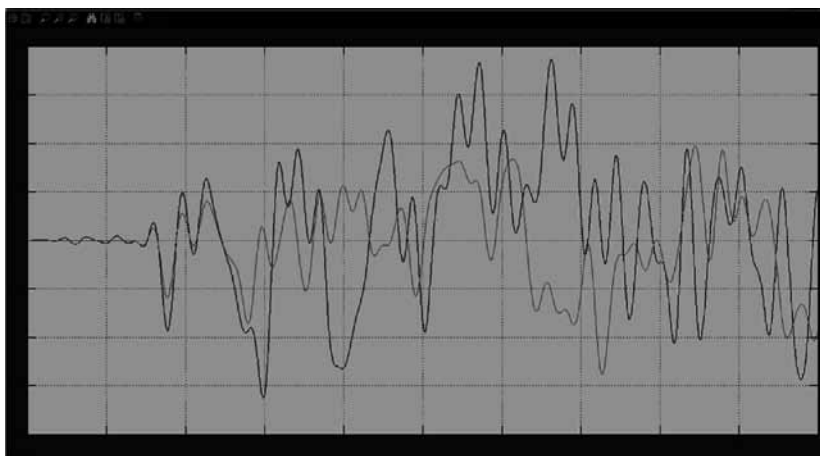
**Рис. 6. Процесс фильтрации возмущений неровности пути**



**Рис. 7. Вертикальные перемещения и фазовые колебания кузова**



**Рис. 8. Вертикальные перемещения и фазовые колебания 1 тележки**

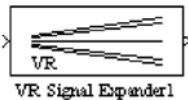

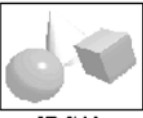



**Рис. 9. Вертикальные перемещения и фазовые колебания 2 тележки**



Таблица 3

**Элементы интеграции модели Simulink и виртуальной реальности**

Блок	Описание
 VR Signal Expander1	Выполняет функцию дополнения недостающих сигналов для виртуальной реальности до нужной размерности
 Ramp3	Источник линейно нарастающего воздействия вида $F(t) = \text{Slope} * t + \text{Initial value}$
 VR Shake1	Для обеспечения связи между Simulink и моделью VRML используется данный блок
 Saturation2	Блок представляет собой нелинейное устройство – идеальный ограничитель, сигнал, на выходе которого равен входному сигналу до тех пор, пока не достигает верхнего (Upper limit) или нижнего (Lower limit) порогов ограничения. После этого сигнал перестает изменяться

Для процесса построения геометрической модели понадобится специализированный пакет расширения возможностей MATLAB и SIMULINK – Virtual Reality Toolbox. Этот пакет решает задачи интеграции моделей виртуальной реальности с моделями динамических систем в режиме реального времени

Рассмотрим основные понятия, связанные с рассматриваемой технологией:

1. Виртуальный мир (Virtual World) – трехмерная сцена, созданная с помощью VRML (Virtual Reality Modeling Language) технологии.

2. Динамическая система (Dynamic sistem) – система, созданная с помощью MATLAB или SIMULINK, описывающая систему объектов созданных с помощью VRML.

3. Анимация (Animation) – изменяющаяся под воздействием сигналов из SIMULINK трехмерная сцена.

Для связи имитационной модели с геометрической используются элементы, приведенные в табл. 3.

Вместе с пакетом MATLAB поставляется удобный в использовании редактор V-Realm Builder, позволяющий строить виртуальные миры и сохранять в формате VRML. Редактор V-Realm Builder полностью отвечает спецификации ISO 14772 [4]. Недостатком указанного редактора является относительно неудобное создание геометрии сложных моделей, сводящееся к числовому описанию множества вершин и порядка их соединения. Поэтому создавать свой виртуальный мир целесообразно в специализированном графическом редакторе Blender, поддерживающем VRML, но обеспечивающем формирование сложной геометрии в графическом режиме.

В соответствии с чертежами вагонетки ВПГ-12, представленными кафедрой «Горной механики и транспорта» Московского государственного горного университета (рис. 10, рис. 11), была спроектирована модель вагона подземного железнодорожного транспорта горного предприятия.

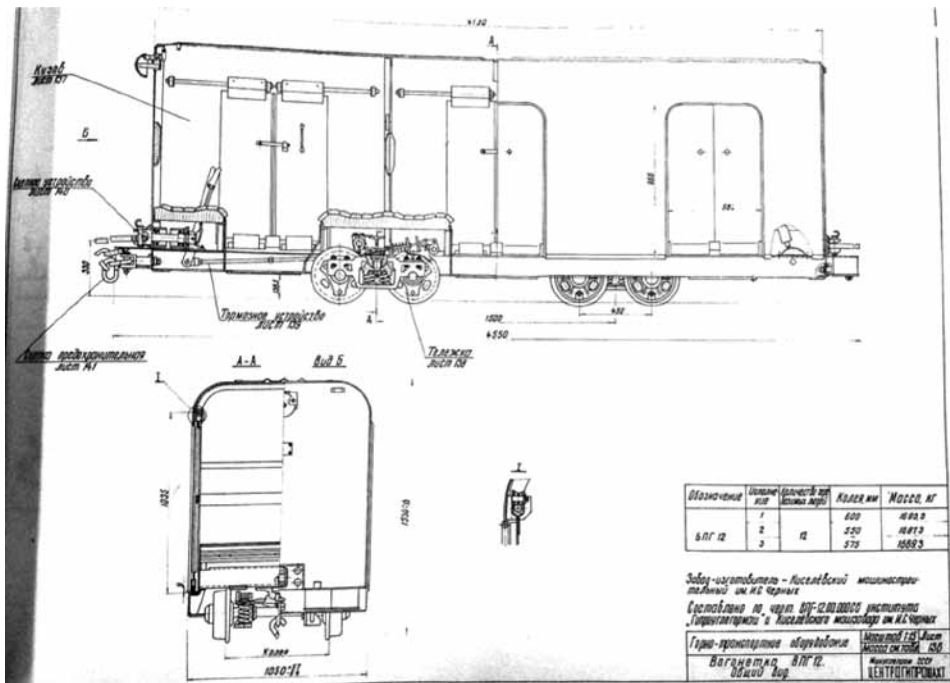


Рис. 10. Чертеж вагонетки ВПГ-12 (общий вид)

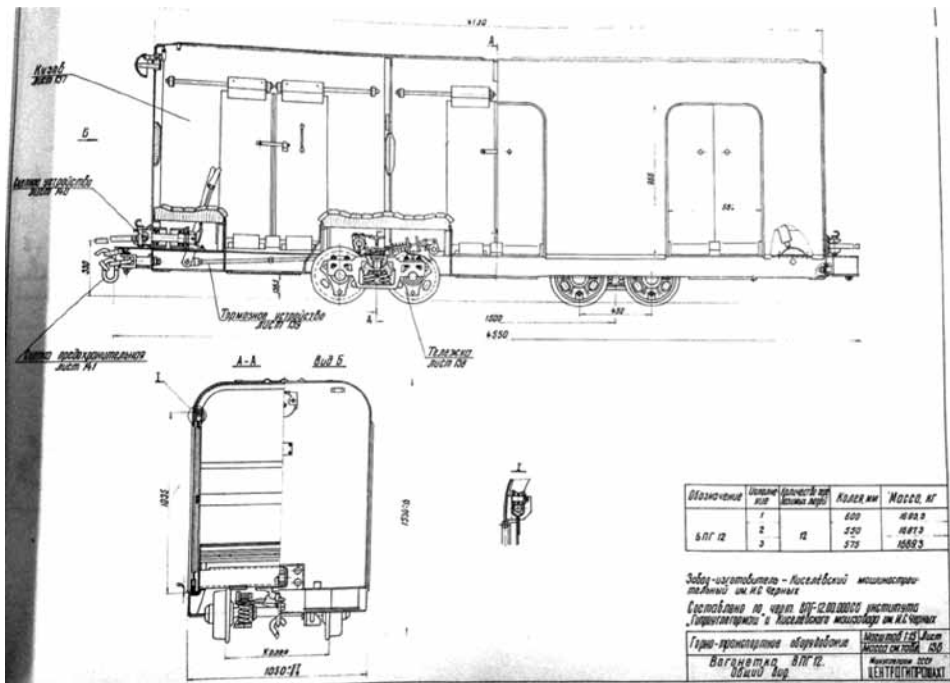
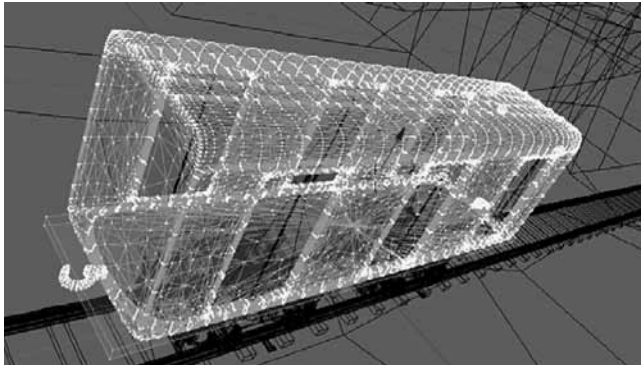


Рис. 11. Чертеж кузова вагонетки ВПГ-12



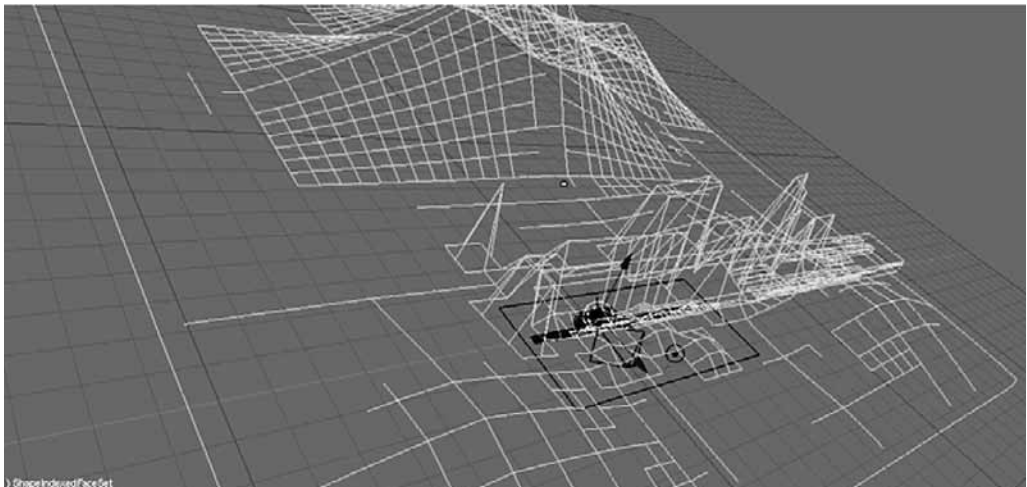
**Рис. 12. Работа с сеткой модели вагона**

Для создания модели железнодорожного транспорта необходимы: модель вагона железнодорожного транспорта горного предприятия; материалы для более реалистичной визуализации в VRML; камера, освещение.

3D модели создавались путем различных манипуляций с сеткой примитивов, по-другому этот метод называется полигональным моделированием [2].

Полигональное моделирование (polygonal modeling) – это самая первая разновидность трехмерного моделирования, которая появилась в те времена, когда для определения точек в трехмерном пространстве приходилось вводить вручную с клавиатуры координаты X, Y и Z [3]. Если три или более точек координат заданы в качестве вершин и соединены ребрами, то они формируют многоугольник. Частным случаем является выпуклый многоугольник – полигон. В случае полигонального моделирования, поверхность модели складывается из достаточного большого количества полигонов. Соединение группы таких полигонов позволяет смоделировать практически любой объект. Недостаток полигонального моделирования состоит в том, что все объекты должны состоять из крошечных плоских поверхностей, а полигоны должны иметь очень малый размер, иначе края объекта будут иметь огранный вид. Это означает, что если для объекта на сцене предполагается увеличение, его необходимо моделировать с большим количеством полигонов (плотностью) даже, несмотря на то, что большинство из них будут лишними при удалении от объекта.

Более углубленно рассмотрим приемы полигонального моделирования на примере кузова вагона.



**Рис. 13. Моделирование окружения**

В основном все объекты были сделаны из обычного куба, разбитого на множество полигонов. В процессе редактирования сеточной геометрии достигался нужный результат.

При создании механических дверей использовался метод Extrude (выдавливание) (рис. 12). Инструмент Extrude (выдавливание) позволяет изменять mesh-объекты в режиме редактирования (Edit Mode) за счет создания копий вершин, ребер и граней и их последующего перемещения, а также изменения размеров (если это ребра или грани).

В реальном мире практически нет ровных углов, поэтому большинство граней редактировались модификатором bevel (скос), который позволяет снимать фаску с граней.

Для создания самого окружающего мира (пространства шахты) была выбрана обычная плоскость, разбитая на полигоны при помощи модификатора subdivize, у которой выдавлены и изменены положения вершин (рис. 13).

Ко многим объектам был применен и модификатор Smooth (гладкий), который сглаживает объекты.

Представленными методами можно создать все остальные объекты, которые входят в сцены геометрической модели.

Для придания реалистичности созданным моделям, понадобятся качественные материалы. С их помощью можно добавлять цвет, делать объекты похожими на камень, ткань и т.д., то есть имитировать визуальные свойства реальных поверхностей. Стоит отметить, что материалы в трехмерной графике предполагают имитацию только внешнего вида реальным материалам, но не их механических свойств.

Первой составляющей материала является шейдер, который определяет такие особенности поверхности как отражение и рассеивание световых лучей. При настройке шейдеров стоит учитывать, что есть материалы, обладающие блеском, например, металлы; также есть материалы, которые практически не обладают блеском, например стены в комнате. Текстуры в данном случае мы не использовали, т.к. в VRML очень низкая прорисовка объекта и наложение текстур было бы излишним и перегружало бы нашу компьютерную систему.

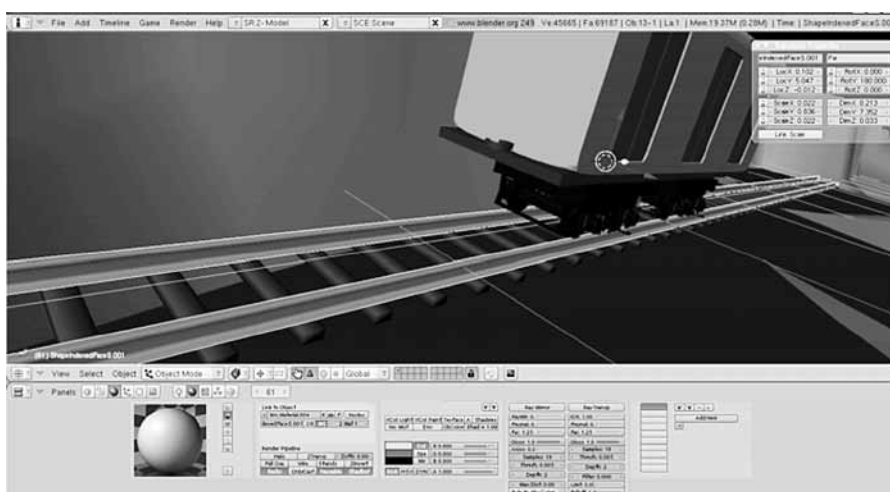
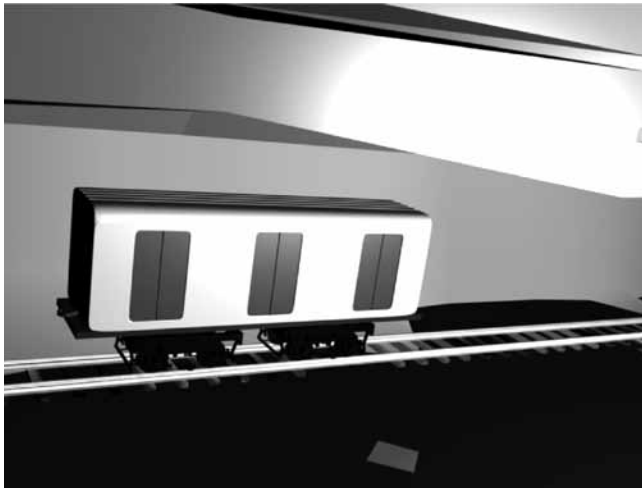
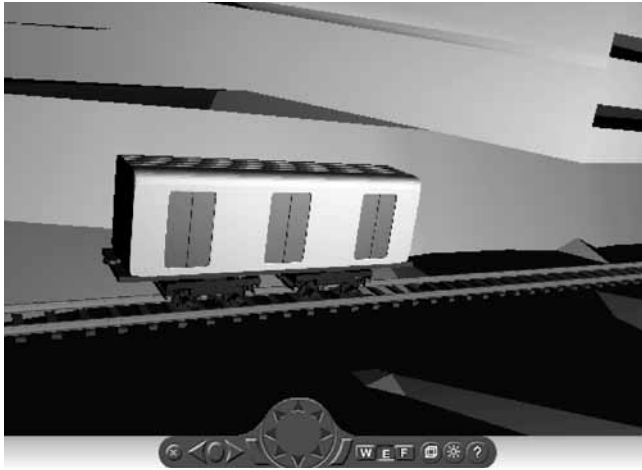


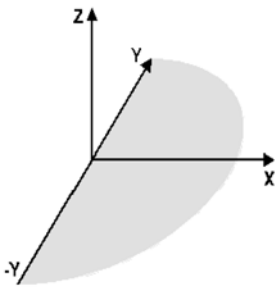
Рис. 14. Наложение материалов на рельсы



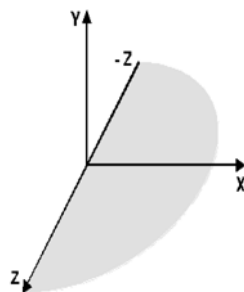
**Рис. 15. Модель вагона ВПГ-12 в Blender**



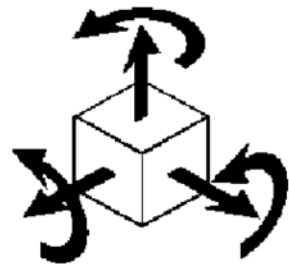
**Рис. 16. Модель вагона ВПГ-12 в Визуализаторе Simulink**



**Рис. 17. Система координат MATLAB Simulink**



**Рис. 18. Система координат визуализатора VRML**



**Рис. 19. Преобразование поворота в VRML**

В результате описанных выше приемов в программе Blender получена геометрическая модель:

Данную модель сохраним в формате VRML с расширением «.wrl», для дальнейшего ее применения в Matlab Simulink. Полученная модель для проверки открыта в Cosmo Player (рис. 16), используемый для отображения виртуальных моделей при работе с Matlab Simulink.

Также необходимо учесть тот момент, что в визуализаторе VRML используется правосторонняя декартова система координат. Это важный момент для нашей компьютерной системы.

Система координат визуализатора отличается от той, которая в MATLAB Simulink. Эта разница легко видна из рис. 17 и 18. Различать системы координат необходимо в ситуациях, когда приходится делать преобразования из одной из этих систем в другую.

Поворот в VRML происходит по правилу «правого винта» (рис. 19).

Дочерние объекты – объекты в визуализаторе имеют иерархическую структуру. Позиция и ориентация дочернего объекта определяется в локальной системе координат, связанной с родителем, т.е. определяемой позицией и ориентацией родителя. Движение родителя вызывает вместе с тем и движение дочернего объекта. В визуализаторе все длины и дистанции измеряются в метрах, а все углы в радианах. [4]

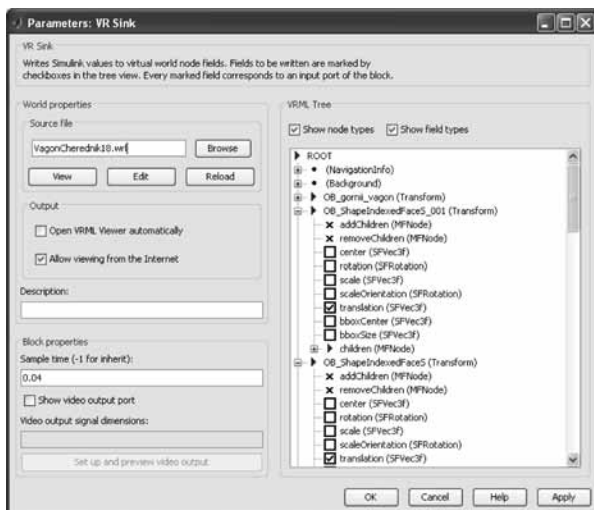


Рис. 20. Блок VR Sink пакета Virtual Reality Toolbox

Для анимации в Simulink-модели должен присутствовать блок VR Sink пакета Virtual Reality Toolbox, входными параметрами которого выступают обобщенные координаты объекта (рис. 20). В окне данного блока, раскрываемом при двойном щелчке по блоку VR Sink, необходимо указать имя файла с расширением \*.wrl, который описывает пространственный объект, анимацию которого необходимо осуществить, и сцену анимации.

Компьютерная система исследования комплекса железнодорожного транспорта готова к работе.

Согласно отраслевому стандарту ОСТ 24.050.16–85 «Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода» – плавность хода пассажирских вагонов измеряется в условных единицах показателя плавности хода, являющегося характеристикой ходовых качеств вагона и зависящего от интенсивности и спектрального состава колебаний вагона [5].

Показатель плавности хода может быть определен через среднее квадратическое значение виброускорений кузова вагона откорректированных специальным фильтром. Аналитическая формула корректирующего фильтра [5]:

$$q_H(f) = 1,15 \sqrt{\frac{(1 + 0,1f^2)}{(1 + 4,04f^2)[(1 - 0,0364f^2)^2 + 0,045f^2]}} \quad (11)$$

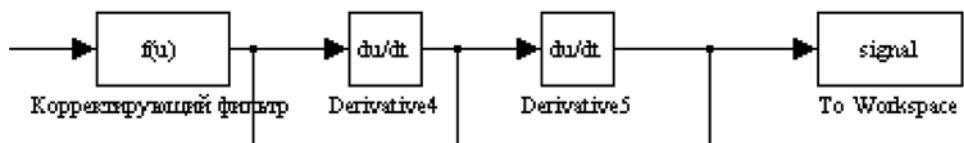
Вычисление показателя плавности хода производится по формуле [5]:

$$W = \alpha \cdot \tilde{a}^{0,3}, \quad (12)$$

где  $W$  – показатель плавности хода;  $\alpha = 4,346$  для вибрации, действующей в вертикальном направлении;  $\tilde{a}$  – среднее квадратическое значение виброускорения на выходе корректирующего фильтра,  $m \cdot c^{-2}$ .

Средний в данной точке вагона для вертикального направления колебаний показатель плавности хода должен быть не более 3,25 – для пассажирских вагонов локомотивной тяги, вагонов электро- и дизельпоездов, автомотрис, груженых вагонов метрополитена [5].

Для вычисления данного показателя плавности хода в имитационной модели используется следующий алгоритм (рис. 21):



**Рис. 21. Алгоритм вычисления виброускорения**

1. При помощи корректирующего фильтра корректируем перемещение кузова вагона.

2. Затем находим вторую производную при помощи двух блоков Derivative.

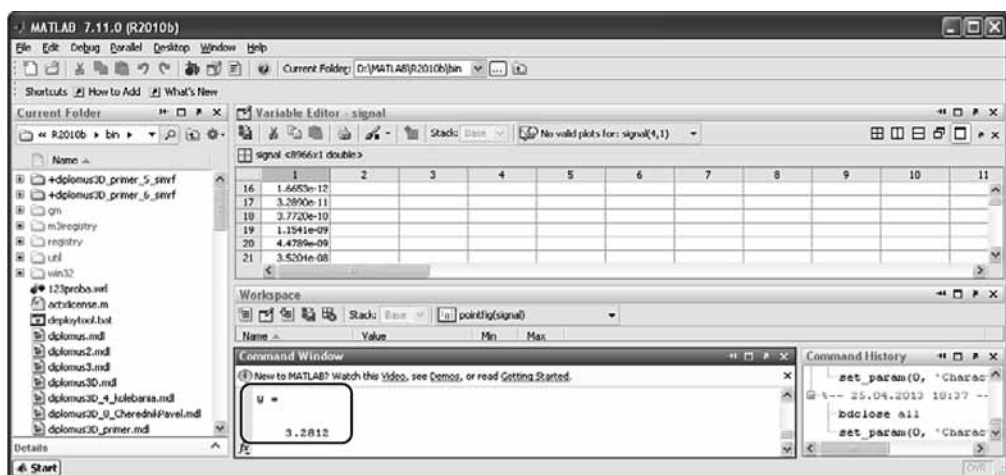
3. На выходе получаем виброускорения, которые записываем в массив с именем «signal» при помощи блока To Workspace.

Затем данный массив мы выгружаем из Simulink в сам Matlab, в файл с расширением «.m» для дальнейшей обработки и вычисления показателя плавности хода согласно приведенной формуле (12).

При исследовании с исходными данными вагона заданными ранее, на протяжении 200 с, показатель плавности хода получился равным 3,2812 (рис. 22), что не соответствует установленным стандартам. Для того, чтобы при данном возмущении неровности рельсов, наш вагон удовлетворял стандартам, увеличим демпфирование или жесткость пружины. Тем самым получим необходимое значение показателя плавности хода. Отследить правильность движения вагона поезда можно с помощью анимации колебаний в визуализаторе.

Экспериментально установлено, что продольные колебания подвижного состава могут быть весьма интенсивными. Вертикальные колебания (подпрыгивания), описываемые обобщенной координатой  $Z$ , и угловые колебания вокруг поперечной оси (галопирование), описываемые обобщенной координатой  $\varphi$ . Эти колебания вызваны в основном неровностями продольного и нагруженного профиля, увеличенными прогибами на стыках, разной высоты рельсов на стыках [6].

В результате выполненной работы были получены материалы, позволяющие исследовать вертикальные колебания пассажирских вагонов горного предприя-



**Рис. 22. Вычисление виброускорения**

тия. Представленные материалы могут быть использованы при проектировании новых пассажирских вагонеток, а так же для изучения колебаний уже существующих.

Данная компьютерная система помогает быстро подобрать необходимую жесткость пружины и демпфирование для заданных параметров вагона, и параметров возмущения со стороны рельсового пути, что необходимо для комфортного состояния пассажиров при движении вагона.

Демонстрация полученных материалов дает проектировщику полное представление о будущих характеристиках вагона поезда. Это позволит в будущем сэкономить время и деньги при проектировании и испытании.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубан В.Г., Матва А.М. Решение задач динамики железнодорожных экипажей в пакете MathCad. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 99 с.
2. URL: <http://artnotes.ru/poligonalnoe-modelirovanie-personazhej-v-blender/>
3. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E2%84%80%E2%84%85>
4. Спецификация VRML ISO/IEC 14772
5. ОСТ 24.050.16–85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода.
6. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортируемых машин. – М.: Машиностроение, 1983.– 256 с. **МЛБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

---

Чередник Павел Николаевич – студент, e-mail: [xbox10@yandex.ru](mailto:xbox10@yandex.ru), МГИ НИТУ «МИСиС».

---

UDC 62–97/–98

## DESIGN OF COMPUTER SYSTEMS RESEARCH DESIGNED TO ROLLING UNDERGROUND RAILWAY MINING ENTERPRISE

Cherednik P.N., Student, e-mail: [xbox10@yandex.ru](mailto:xbox10@yandex.ru), Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS».

---

*This paper describes the process of building a computer system for the study of vertical oscillations of the car underground railway mining enterprise. The design process is carried out with the help of two software tools Matlab Simulink and Blender. The development consists of the following stages: a mathematical model, simulation model, and the geometric model. At the end of the work, studies of the resulting model.*

*Key words: passenger cars mining enterprises, a mathematical model of vibrations of mountain transport wagons, simulation model car of a train, the geometric model of trolley WPG-12.*

## REFERENCES

1. Ruban V.G., Matva A.M. *Reshenie zadach dinamiki zheleznodorozhnykh ekipazhei v pakete MathCad* (Solving dynamic problems on railway crews in MathCad), Rostov-na-Donu: Rost. gos. un-t putei soobshcheniya, 2009, 99 p.
2. URL: <http://artnotes.ru/poligonalnoe-modelirovanie-personazhej-v-blender/>
3. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E2%84%80%E2%84%85>
4. *Spetsifikatsiya VRML ISO/IEC 14772* (Specification VRML ISO/IEC 14772)
5. *Vagony passazhirskie. Metodika opredeleniya pлавnosti khoda. OST 24.050.16–85* (Passenger cars. Assessment procedure for riding comfort of a car. OST 24.050.16–85).
6. Shakhmeister L.G., Dmitriev V.G. *Veroyatnostnye metody rascheta transportiruyushchikh mashin* (Methods of probabilistic calculation for transport vehicles), Moscow, Mashinostroenie, 1983, 256 p.