

Лесковец И.В.

ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Введение

В настоящее время проведение расчетов любой сложной динамической системы невозможно без использования ЭВМ. Программное обеспечение различных производителей предоставляет конструкторам целый ряд возможностей для проведения статических и динамических расчетов с целью получения оптимальных характеристик машин на стадии проектирования. Наиболее широкое распространение в этой области нашли программные продукты, основанные на использовании метода конечных элементов (МКЭ). За последние 10 лет этот метод успешно совершенствовался и нашел широчайшее применение в ряде областей науки и техники. Однако наряду с широкими возможностями МКЭ имеет ряд недостатков, из-за которых его использование при решении задач, где присутствует большое количество подвижных элементов невозможно либо требует затрат такого количества ресурсов и времени, что его применение крайне не эффективно. К таким задачам относятся задачи проектирования гусеничных движителей, систем управления с большим количеством подвижных элементов и другие. В ряде случаев конструкторы и ученые успешно применяют системы реализации математических моделей, основанные на современных математических методах моделирования. Такие системы также имеют ряд недостатков, к которым можно отнести необходимость разработки уникальных математических моделей в каждом конкретном случае, высокую квалификацию работников, невозможность визуализации поведения проектируемой системы, большое время, требуемое для расчета из-за работы таких систем в режиме "интерпретатора".

На наш взгляд, в области проектирования и расчета характеристик гусеничных движителей с целью оптимизации основных параметров необходима разработка имитационной модели гусеничного движителя в виде программного обеспечения, составленного на основе математической модели [1], которая отражает основные свойства и позволяет получить

основные характеристики движителя, необходимые для дальнейшей оптимизации его основных параметров. Для разработки программного обеспечения наиболее предпочтительным, на наш взгляд, является метод функциональных элементов (МФЭ), с дальнейшим применением структуры классов, доступной, практически в любом из известных языков программирования высокого уровня.

Структурные элементы гусеничного движителя

Анализируя структуру гусеничного движителя вполне естественно предположить, что каждый из его элементов является отдельным классом, который в свою очередь входит в другой элемент. В общем, предлагаемая структура движителя изображена на рис. 1.

В соответствии с приведенной структурной схемой траки входят непосредственно в гусеничный движитель, также в движитель входят подвеска опорных и поддерживающих колес, а колеса могут выполнять различную функцию, а именно: опорную, поддерживающую, ведущую, направляющую и в зависимости от назначения входят либо в движитель, либо в соответствующую подвеску.

Таким образом, необходимо разработать классы, соответствующие описанным элементам, обладающие определенными свойствами, универсальными по необходимости. При использовании для разработки программного обеспечения системы визуального программирования Borland Delphi, необходимо для каждого класса разработать поля с определением типа и методы, определив, является ли данный метод "процедурой" либо "функцией" в терминологии Borland Delphi.

Пояснения к табл. 1:

- string[10] – строковый тип данных с количеством позиции – 10;
- real – вещественный тип данных, в котором могут быть представлены числа с плавающей точкой от $-1 \cdot 10^{308}$ до $1 \cdot 10^{308}$, при применении процессоров Celeron 2000;

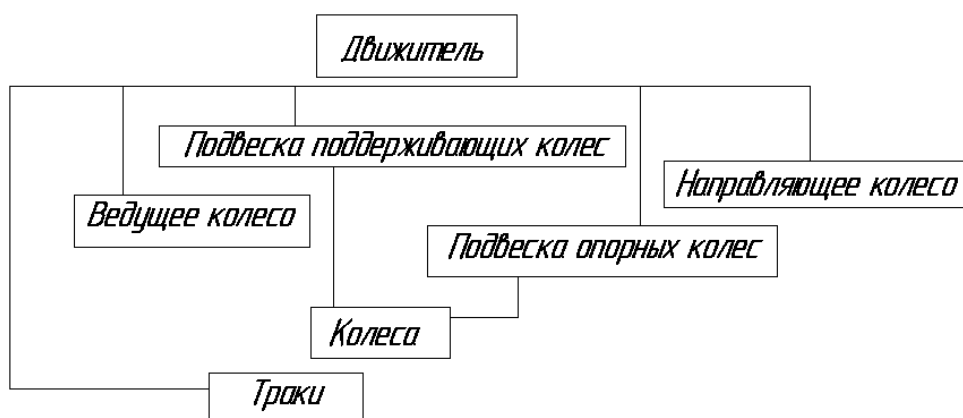


Рис. 1. Структурная схема гусеничного движителя.

Лесковец Игорь Вадимович, заведующий каф. "Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование"
Белорусско-Российского университета.
Беларусь, БРУ, 212005, г. Могилев, пр. Мира, 43.

Таблица 1. Поля для класса траков

Имя поля	Тип	Единицы измерения	Наименование
FName	string[10];	-	имя трака
Fl	real	метр	Длина
Fb	real	метр	Ширина
Fh	real	метр	Высота
Fm	real	кг	Масса
FDl	real	метр	длина не рабочей поверхности
FCl	real	н/м	коэффициент продольной жесткости
FCh	real	н/м	коэффициент вертикальной жесткости
FCr	real	н/м	коэффициент жесткости шарнира
FRl	real	$\frac{H \cdot c}{M}$	коэффициент продольного демпфирования
FRh	real	$\frac{H \cdot c}{M}$	коэффициент вертикального демпфирования
Frr	real	$\frac{H \cdot c}{M}$	коэффициент демпфирования шарнира
Fpos	string[2]	-	код, хранящий позицию трака в движителе
Xn	real	метр	абсцисса центра левого шарнира
Yn	real	метр	ордината центра левого шарнира
Xk	real	метр	абсцисса центра правого шарнира
Yk	real	метр	ордината центра правого шарнира
X	real	метр	абсцисса центра трака
X_	real	м/с	скорость центра трака по оси абсцисс
X__	real	м/с ²	ускорение центра трака по оси абсцисс
Y	real	метр	ордината центра трака
Y_	real	м/с	скорость центра трака по оси ординат
Y__	real	м/с ²	ускорение центра трака по оси ординат
XOld	real	метр	абсцисса центра трака на предыдущем шаге расчета
YOld	real	метр	ордината центра трака на предыдущем шаге расчета
Fi	real	рад	угол наклона трака
Fi_	real	рад/с	скорость изменения угла наклона трака
Fi__	real	рад/с ²	ускорение изменения угла наклона трака
FiOld	real	рад	угол наклона трака на предыдущем шаге расчета

- в связи с невозможностью использования в редакторе кода языков программирования, редактора формул приняты следующие обозначения:
- - один знак подчеркивания соответствует скорости, например X_ равно \dot{x} ;
- два знака подчеркивания соответствуют ускорению, например X__ равно \ddot{x} ;
- поля XOld и YOld используются для организации визуального отображения движения трака на экране компьютера. В данном случае возможно использование двух алгоритмов. В первом алгоритме применяется метод, в котором происходит рисование трака на экране с использованием геометрических размеров, координат центра трака и значения угла поворота трака вокруг собственной оси, расположенной перпендикулярно плоскости XOY, затем определяются значения полей, характеризующих новое положение трака на плоскости, происходит очистка поля для рисования, и производится рисование трака в новом положении. В этом случае поля XOld и YOld не нужны. Недостатком такого алгоритма является "моргание" экрана при очистке. Для обеспечения комфортной работы пользователя возможно применение алгоритма, где вместо очистки поля для рисования производится рисование трака в старой позиции цветом линий, соответствующих

цвету фона поля для рисования. В этом случае необходимо применение полей XOld и YOld.

- геометрические параметры представлены на рис. 2. Следует отметить, что поля Xn, Xk, Yn, Yk – являются достаточно условными по названию, т.к. они в процессе движения машины меняют свой геометрический смысл. Для расположения траков на опорной поверхности, в нижней части гусеничного обвода значение абсциссы центра левого шарнира трака меньше значения абсциссы центра правого шарнира трака. В процессе движения трак изменяет координаты на гусеничном обводе и на моделируемой плоскости, угол поворота трака вокруг собственной оси меняется на 180 градусов, в результате геометрические значения координат перестают соответствовать их формальному обозначению.

В данном случае усилия взаимодействия между соседними траками определяются по зависимостям:

$$F_x = C_{mpk} \cdot (x_n^{i+1} - x_k^i) - r \cdot \dot{x},$$

$$F_y = C_{mpk} \cdot (y_n^{i+1} - y_k^i) - r \cdot \dot{y},$$

где C_{mpk} – приведенный коэффициент жесткости шарниров соседних траков.

Величины x_n^{i+1} , x_k^{i-1} , y_n^{i+1} , y_k^{i-1} определяются в соответствии с рис. 3.

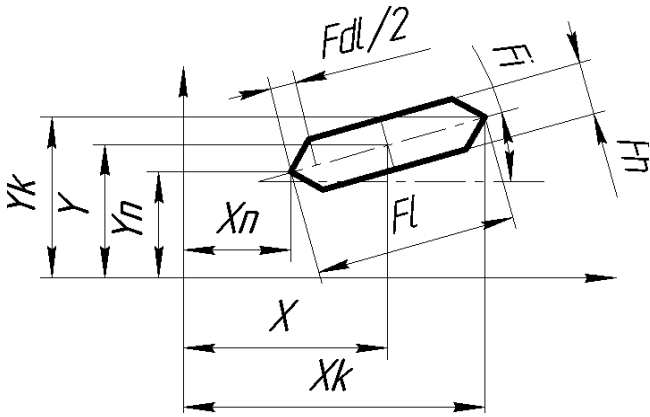


Рис. 2. Схема для определения размеров трака

- x_n^{i+1} – абсцисса левого шарнира последующего трака для траков, расположенных на опорной ветви,
- x_k^{i-1} – абсцисса правого шарнира предыдущего трака для траков, расположенных на опорной ветви,
- y_n^{i+1} – ордината левого шарнира последующего трака для траков, расположенных на опорной ветви,
- y_k^{i-1} – ордината правого шарнира предыдущего трака для траков, расположенных на опорной ветви,
- r – коэффициент диссипативных сил,
- \dot{x} , \dot{y} – соответственно скорости траков по оси X и Y.

Направление отсчета углов определим для каждого трака, с учетом расположения декартовой системы координат с началом отсчета в левом нижнем углу, нулевое направление отсчета углов с запада на восток, положительное направление отсчета углов – против часовой стрелки.

Поля для класса колес представлены в табл. 2.

Пояснения к табл. 2:

- String[20] – строковый тип данных с количеством позиций – 20;

- char – символьный тип данных. Поля для класса подвесок представлены в табл. 3. Пояснения к табл. 3:
- boolean – переменная логического типа;
- геометрические параметры подвески представлены на рис. 4.

В данном случае приведена геометрическая модель для учета свойств подвески свечного типа. Для подвесок других типов необходимо составлять соответствующие модели. Учитывая, что подвеска имеет механизм, который обеспечивает ограничение хода, необходимо алгоритмически предусмотреть возможные варианты работы данного механизма. В случае, когда пружина подвески имеет максимальную длину – усилие пружины равно нулю, в связи с тем, что механизм подвески ограничивает перемещение колеса и принимает на себя усилие предварительного сжатия пружины. В случае, когда пружина подвески находится в максимально сжатом состоянии (механизм подвески упирается в "отбойник") – усилие должно быть максимальным и значительно превышать усилие от сжатой пружины, этого можно достигнуть, изменяя коэффициент жесткости, принимая в данный момент коэффициент жесткости, равный коэффициенту жесткости рамы машины.

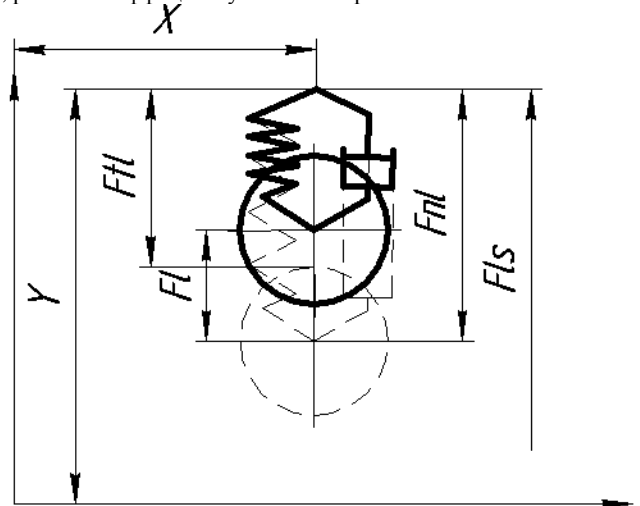


Рис. 4. Размеры подвески

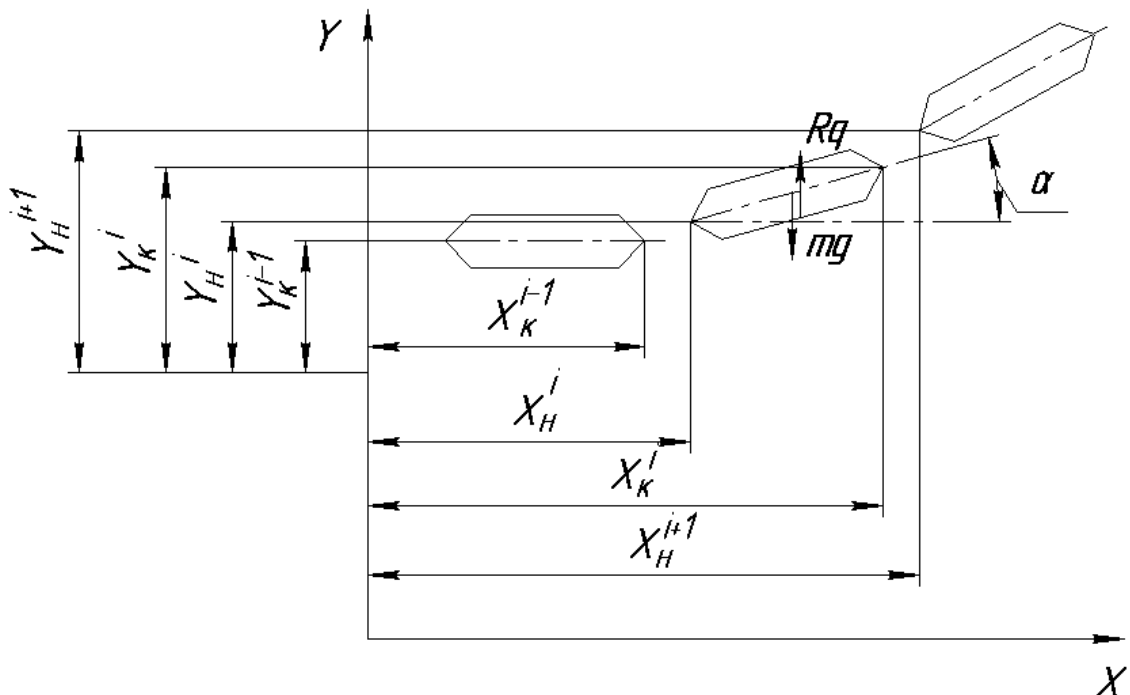


Рис. 3. Схема для определения расстояний между центрами шарниров соседних траков по горизонтальной и вертикальной осям

Таблица 2. Поля для класса колес

Имя поля	Тип	Единицы измерения	Наименование
FName	string[20]	-	имя колеса
FTr	char	-	тип колеса
Fd	real	м	Диаметр
Fb	real	м	Ширина
FCr	real	Н/м	коэффициент радиальной жесткости
FDr	real	$\frac{H \cdot c}{M}$	коэффициент радиального демпфирования
FCt	real	Н/м	коэффициент тангенциальной жесткости
FDt	real	$\frac{H \cdot c}{M}$	коэффициент тангенциального демпфирования
Fm	real	кг	Масса
X__	real	м/с ²	ускорение колеса по оси абсцисс
X_	real	м/с	скорость колеса по оси абсцисс
X	real	м	положение центра колеса по оси абсцисс
Y__	real	м/с ²	ускорение колеса по оси ординат
Y_	real	м/с	скорость колеса по оси ординат
Y	real	м	положение центра колеса по оси ординат
Fi__	real	Рад/с ²	ускорение угла поворота колеса
Fi_	real	Рад/с	скорость угла поворота колеса
Fi	real	рад	угол поворота колеса
XOld,	real	м	абсцисса центра колеса на предыдущем шаге расчета
YOld,	real	м	ордината центра колеса на предыдущем шаге расчета
FiOld	real	рад	угол поворота колеса на предыдущем шаге расчета

Таблица 3. Поля для класса подвесок

Имя поля	Тип	Единицы измерения	Наименование
FName	string[20]	-	имя
Fc	real	Н/м	коэффициент жесткости пружины
Fr	real	$\frac{H \cdot c}{M}$	коэффициент демпфирования пружины
Fl	real	м	ход пружины
Ftl	real	м	текущая длина пружины
FNI	real	м	начальная длина пружины, ограниченная механизмом подвески
FLs	real	м	длина пружины в свободном состоянии
Fm	real	кг	масса пружины
Typ	boolean	-	тип подвески
VlcP	vlc	-	поле с данными колеса, табл. 2
Y__	real	м/с ²	ускорение точки крепления подвески к раме по оси ординат
Y_	real	м/с	скорость точки крепления подвески к раме по оси ординат
Y	real	м	положение точки крепления подвески к раме по оси ординат
X	real	м	положение точки крепления подвески к раме по оси абсцисс
XOld		м	положение точки крепления подвески к раме по оси абсцисс на предыдущем шаге расчета
YOld	real	м	положение точки крепления подвески к раме по оси ординат на предыдущем шаге расчета

Поля для класса гусеничного движителя представлены в табл. 4.

Пояснения к таблице 4:

- Trk – поле типа "трак", поля данной переменной описаны в табл. 1;
- Vlc1, Vlc2 – поле типа "колесо", поля данной переменной описаны в табл. 2;
- Ph, Pd – поля типа "подвеска" поля данной переменной описаны в табл. 3;

поля, определяющие расстояния, иллюстрируются на рис. 5. Описанные выше классы и их поля являются необходимыми, но не достаточными для разработки имитационной модели гусеничного движителя. Нами ставится задача не только

определения характеристик движителя во время движения, но и визуализации движения во время расчета. Нам представляется это необходимым в связи с тем, что представление информации в графической и численной форме требует от специалистов глубоких знаний сути процессов, происходящих во время движения машины, следовательно, требуется наличие в организациях и на предприятиях специалистов высокой квалификации. Кроме того, анализ графической информации в больших объемах требует значительных затрат временных ресурсов. Визуализация движения движителя во время расчета должна помочь специалистам, по крайней мере, на начальном этапе проектирования выявить неточности в моделях, в задании исходных значений, а также существенные недостатки проектируемого движителя.

Таблица 4. Поля для класса движителя

Имя поля	Тип	Единицы измерения	Наименование
NTrk	Integer;	-	количество траков
FName	String[20];	-	имя движителя
Trk	Trac;	-	поле типа "трак"
Vlc1,	Vlc;	-	ведущее колесо (поле типа "колесо")
Vlc2	Vlc;	-	направляющее колесо (поле типа "колесо")
NPh,	Integer;	-	количество верхних подвесок
NPd	Integer;	-	количество нижних подвесок
Ph,	Pdv;	-	верхняя подвеска (поле типа "подвеска")
Pd	Pdv;	-	нижняя подвеска (поле типа "подвеска")
L1,	real	м	расстояние от центра ведущего колеса до центра первого опорного колеса по оси абсцисс
L2,	real	м	расстояние между опорными колесами по оси абсцисс
L3,	real	м	расстояние от центра ведущего колеса до центра поддерживающего колеса по оси ординат
L4,	real	м	расстояние между поддерживающими колесами
Y1,	real	м	расстояние от центра масс машины до центра ведущего колеса по оси ординат
Y2,	real	м	расстояние от центра ведущего колеса до точки крепления подвески первого опорного колеса
m	real;	кг	масса машины
Lct	real	м	расстояние от центра тяжести до центра ведущего колеса по оси абсцисс
Xct	real	м	расстояние от центра координат до центра масс машины по оси абсцисс
Yct	real	м	расстояние от центра координат до центра масс машины
YctOld	real;	м	расстояние от центра координат до центра масс машины на предыдущем шаге расчета
Xct__	real	м/с ²	ускорение центра масс машины по оси абсцисс
Xct_	real;	м/с	ускорение центра масс машины по оси абсцисс
Yct__	real	м/с ²	ускорение центра масс машины по оси ординат
Yct_	real;	м/с	скорость центра масс машины по оси ординат
Fi__	real	рад/с ²	ускорение изменения угла поворота машины
Fi_	real	рад/с	скорость изменения угла поворота машины
Fi	real;	рад	угол поворота машины
KTrK	real;	-	количество траков

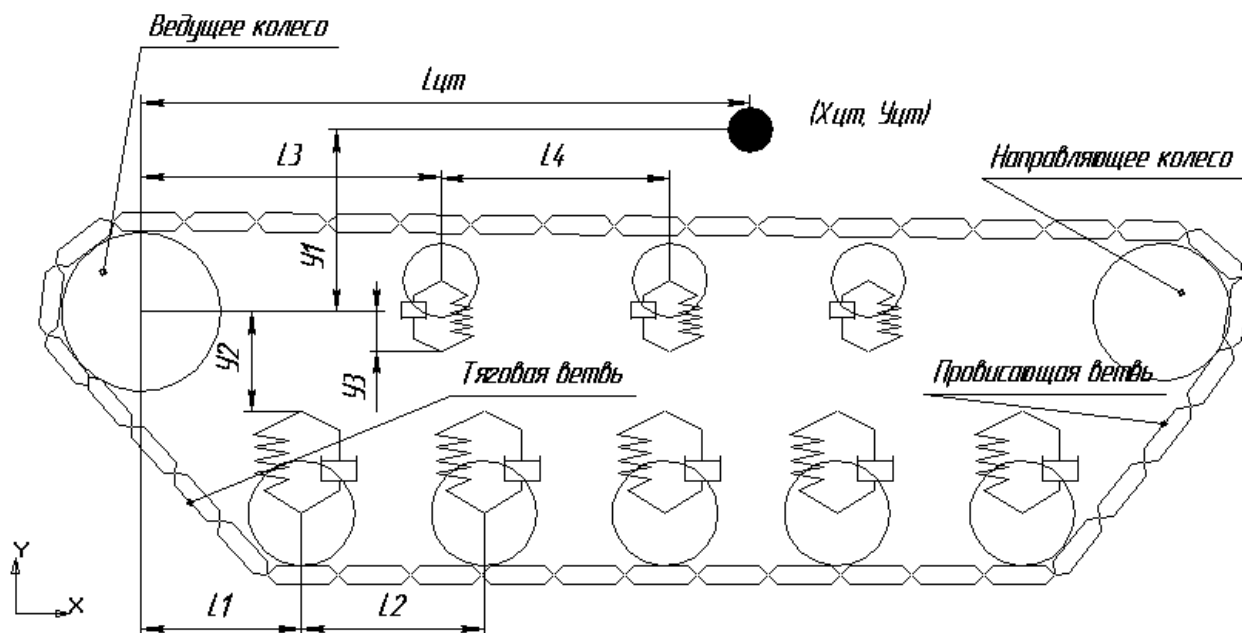


Рис. 5. Общая динамическая модель гусеничного движителя: L_{ct} – расстояние от центра тяжести до центра ведущего колеса, L_1 – расстояние от центра ведущего колеса до центра опорного колеса, L_2 – расстояние между центрами опорных колес, L_3 – расстояние от центра ведущего колеса до центра поддерживающего колеса, Y_1 – расстояние от центра тяжести до центра ведущего колеса, Y_2 – расстояние от центра ведущего колеса до точки крепления опорной подвески, Y_3 – расстояние от центра тяжести до точки крепления верхней подвески

Для визуализации движения машины необходимо обеспечить введение ряда дополнительных параметров, обеспечивающих представление на экране графической информации. В первую очередь для обеспечения рисования элементов движителя на экране необходимо использование специальных "компонентов". В терминологии языков программирования компонентами называются поставляемые вместе со средой программирования библиотеки с визуальными элементами, обладающие определенными свойствами. Для обеспечения рисования элементов на экране мы предлагаем использовать компонент, поставляемый со средой Borland Delphi, именуемый "TImage". Этот компонент обладает свойствами, аналогичными свойствам известного редактора, входящего в стандартный набор Windows – "Paint". Теоретически, многие компоненты Borland Delphi имеют в библиотеках методов методы, предназначенные для рисования на экране, однако компонент "TImage" обладает, методами, позволяющими сохранить изображения в файл для дальнейшего анализа. Использование данного компонента несет в себе некоторые сложности, такие как фиксированный размер поля для рисования в виде ограничения поля по ширине и высоте в зависимости от размеров экрана и его разрешения. Еще одной из сложностей является несоответствие вертикальных осей декартовой системы координат, т.к. в данном компоненте, как впрочем и в других, отсчет от начала координат ведется сверху вниз.

УДК 621.867.2

Прушак В.Я., Миранович О.Л.

ДЕЙСТВИЕ НАГРУЗКИ В СОЕДИНЕНИЯХ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ

Введение

Проектируемые конвейеры должны быть достаточно прочными, надежными, долговечными и экономичными в эксплуатации, а изготовление их следует осуществлять с наименьшими затратами материалов и труда. Это требует проведения всесторонних теоретических и экспериментальных исследований и на базе их результатов – дальнейшего совершенствования конвейеров.

Как известно, основой конвейера является бесконечная вертикально замкнутая гибкая лента. В зависимости от типа роликкоопор лента может иметь плоскую или желобчатую форму. Верхняя рабочая и нижняя холостая ветви ленты поддерживаются роликкоопорами. Поступательное движение ленте конвейера сообщает приводной барабан, приводимый во вращение электродвигателем через редуктор. Постоянное натяжение ленты обеспечивается натяжным устройством. Груз поступает на ленту через загрузочное устройство, а разгружается через воронку приводного барабана либо в любом пункте вдоль конвейера, посредством разгрузочных устройств.

Производительность ленточных конвейеров при скорости движения 5...8 м/с и ширине ленты 2400...3000 мм может быть доведена до 20000...25000 т/ч. Длина отдельных гори-

Заключение

Несмотря на описанные проблемы, нам кажется, что поставленная задача вполне разрешима с помощью применения алгоритмов, позволяющих привести в соответствие оси координат и масштабные изображения реальности и экрана.

После создания программного продукта, обеспечивающего реализацию поставленной задачи, возможно его использование в системе автоматизированного проектирования гусеничных движителей. После подтверждения адекватности решений, полученных с использованием пакета программ, возможно проведение оптимизации основных параметров гусеничного движителя с использованием теории планирования эксперимента.

Объединение полученной модели с моделями двигателя, гидротрансформатора (сцепления), трансмиссии, микропрофиля опорной поверхности, рабочего оборудования сделает возможным проведение выбора основных параметров машины с использованием критериев скоростей, ускорений, плавности хода и т.д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лесковец И.В. Математическая модель гусеничного движителя СДМ // Вестник Могилевского государственного технического университета. – Могилев, № 2, 2003 – С. 83-87.

зонтальных конвейеров с высокопрочными лентами составляет 5...10 км. В связи с этим исследование распределения нагрузки в стыковом соединении конвейерной ленты определяет важное теоретическое и практическое значение.

Аналитические исследования

Рассмотрим стыковое соединение конвейерной ленты при равномерном распределении натяжения по ширине ленты. В данном случае скобы одного поперечного ряда нагружены одинаково. Поэтому определим, как распределены усилия между рядами скоб на линейной части конвейера. Анализируя работу данного соединения, необходимо отметить, что под действием сил растяжения P происходит относительное микросмещение стыкуемых концов 1 и 2 ленты за счет податливости скоб 3, деформации обкладок конца ленты 1, за счет относительного проскальзывания поверхностей стыкуемых концов. Расчетная модель стыкового соединения, допускающая микросмещения стыкуемых концов ленты, приведена на рис. 1. Концы 1 и 2 ленты рассмотрим как стержни малой толщины с жесткостью, равной жесткости ленты. Поскольку смещения верхней и нижней частей конца 2 ленты одинаковы (рис. 2), то конец 2 можно рассматривать как единый стержень. Ряды скоб

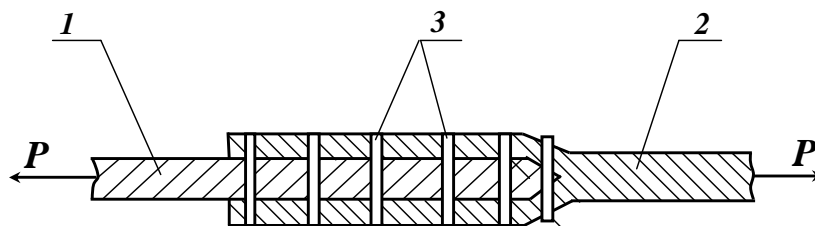


Рис. 1. Многорядное механическое соединение

Миранович О.Л., Прушак В.Я., Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством. Беларусь, СИПР с ОП, 223710, Минская область, г. Солигорск, ул. Козлова, 69.