

УДК 621.87:658.512.011.56

ФОРМИРОВАНИЕ ГУСЕНИЧНОГО ОБВОДА В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

канд. техн. наук, доц. И.В. ЛЕСКОВЕЦ
(Белорусско-Российский университет, Мозилев)

Представлена методика формирования гусеничного обвода, разработанная на основании геометрических зависимостей, предназначенная для использования в программном обеспечении, представляющем собой имитационную модель машины, на основе которой возможно проведение проектных и оптимизационных работ, направленных на улучшение конструкции гусеничного движителя. Изложенная методика является универсальной и пригодной для проведения конструкторских и оптимизационных работ для машин различного назначения, что необходимо предусматривать в связи с тем, что современные требования к гусеничным машинам предполагают достаточно узкую специализацию.

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.

Введение. Проблемы определения нагрузок, возникающих в обводе гусеничного движителя, на сегодняшний день являются актуальными. Существующие методики определения усилий в обводе позволяют определить наиболее общие параметры движителя, такие как удельное давление на грунт, общее натяжение гусеницы, статическую нагруженность опорных, поддерживающих, ведущего и направляющего колес. Усилия, возникающие в траках, расположенных на различных ветвях, на колесах, в трансмиссии, возникающие во время движения машины, определяются на стадии проектирования ориентировочно и уточняются экспериментально [1, 2]. Теоретически определение таких параметров и характеристик движения возможно только с использованием ЭВМ. В настоящее время на рынке программного обеспечения представлен целый ряд продуктов, основанных на использовании метода конечных элементов (МКЭ), позволяющих проводить расчеты сложных динамических систем. Эти продукты позволяют проводить расчеты на основании статистических зависимостей. На практике возможно возникновение целого ряда случаев, когда нагрузки в элементах движителя можно определить только с помощью применения имитационных моделей. Такие модели могут быть представлены в виде программного обеспечения, посвященного расчетам гусеничных движителей.

Основная часть. Одна из задач программного обеспечения расчета гусеничных движителей – создание модели гусеничного обвода, т.е. геометрическое построение траков по траектории, соответствующей траектории расположения траков в движителе.

Построение гусеничного обвода необходимо проводить после определения вертикального расположения центра тяжести машины и угла стабилизации, т.е. после определения величин сжатия опорных подвесок машины под действием сил тяжести и в зависимости от расположения центра тяжести по оси абсцисс. На рисунке 1 представлена динамическая модель гусеничной машины, которая охватывает практически все возможные конфигурации гусеничных машин, за исключением машин «Caterpillar», где ведущее колесо значительно поднято над опорной поверхностью, вынесено вперед, а опорные колеса полностью опущены на грунт.

Построение гусеничного обвода заключается в определении геометрических координат каждого трака и угла поворота трака вокруг собственной поперечной оси. Исходными данными в этом случае являются параметры движителя, получаемые, как было сказано выше, после определения величин сжатия пружин опорных подвесок в зависимости от параметров подвесок, массы машины, расположения центра тяжести по оси абсцисс (величина L_{cm} , см. рис. 1).

Модель движителя, представляющая собой исходную систему, представлена на рисунке 2. В данном случае рассматривается плоская модель машины. Поддерживающие колеса имеют возможность перемещения относительно рамы машины в направлении оси ординат локальной системы координат, соответствующей Декартовой, с центром в центре тяжести машины. Опорная поверхность недеформируема, микропрофиль отсутствует. Рассматривается подвеска опорных и поддерживающих колес свечного типа, угловые перемещения механизма подвески относительно рамы машины отсутствуют. Трак представляет собой твердое тело, с центром тяжести в геометрическом центре, на концах трака присутствуют шарниры, обеспечивающие взаимодействие соседних траков через соединяющий палец.

В программном обеспечении построение обвода предлагается начать с трака, расположенного под первым опорным колесом, проекция центра трака на ось абсцисс совпадает с проекцией центра колеса.

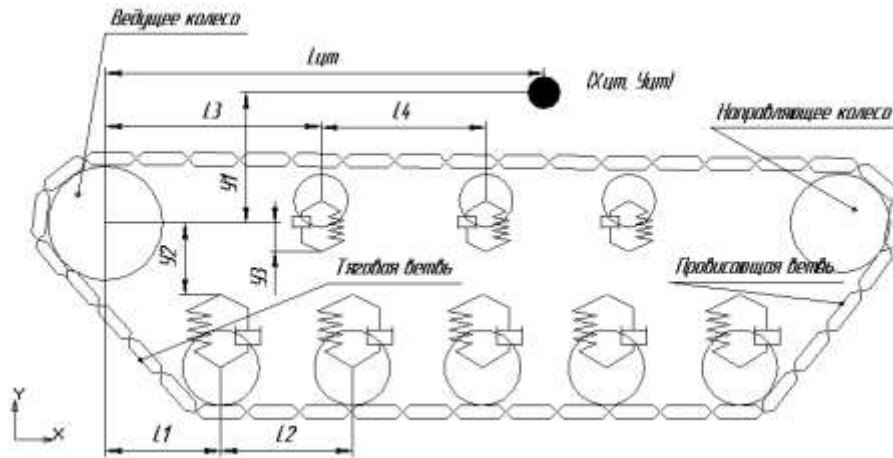


Рис. 1. Общая динамическая модель гусеничного движителя:

$L_{цт}$ – 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

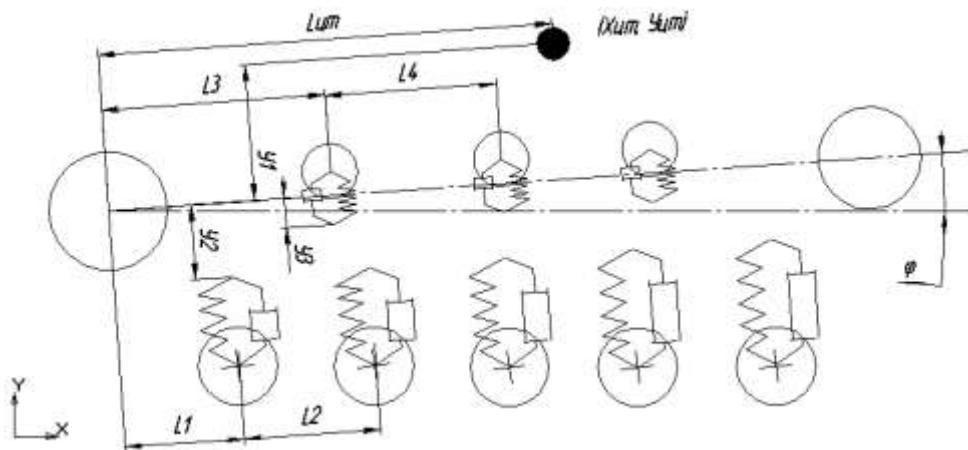


Рис. 2. Исходная модель для построения гусеничного обвода

Далее, с помощью организации циклических вычислений определяются координаты всех траков, лежащих на опорной поверхности под опорными колесами и между ними. Иллюстрация данного процесса представлена на рисунке 3. На данном этапе считаем, что сила тяжести отсутствует, реакция микропрофиля отсутствует, угол α равен нулю и $X_n^i = X_k^{i-1}$. Такое построение ведем, пока координата центра i -того трака по оси абсцисс не совпадет либо не станет больше проекции центра последнего опорного колеса на эту ось.

Следующий этап – построение траков, в соответствии с кривой, огибающей колесо. В этом случае основной задачей является определение угла поворота трака в плоскости XOY . После анализа возможных вариантов и с учетом того, что начало каждого последующего трака совпадает с концом предыдущего, предлагается определять угол поворота трака по методике, изложенной ниже, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.

Определяем расстояние от центра трака до центра колеса по зависимости

$$Lr = \sqrt{(X_n - X_c)^2 + (Y_n - Y_c)^2} .$$

Определяем проекцию разности начала трака и центра колеса на ось ординат:

$$Y_{nc} = Y_n - Y_c .$$

Определяем проекцию разности начала трака и центра колеса на ось абсцисс:

$$X_{nc} = X_n - X_c .$$

Определяем проекцию разности конца трака и начала трака на ось ординат:

$$Y_{kn} = Y_k - Y_n .$$

Определяем проекцию разности конца трака и начала трака на ось абсцисс:

$$X_{kn} = X_k - X_n .$$

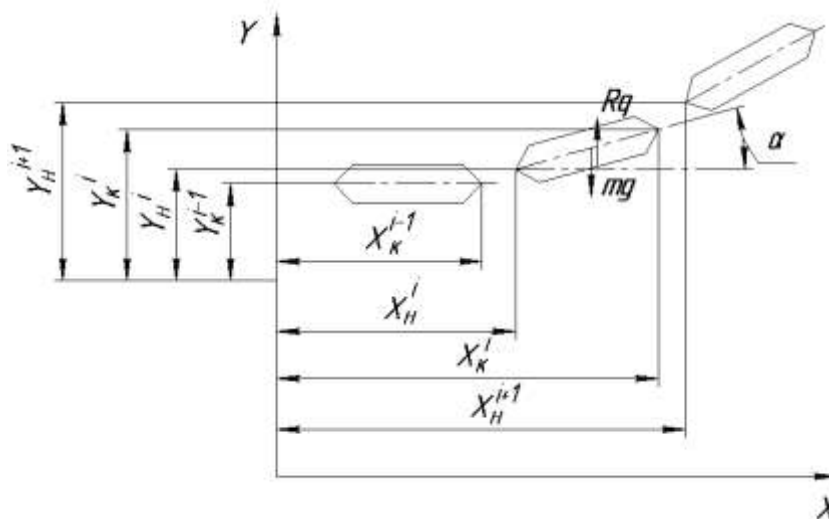


Рис. 3. Схема для определения расстояний между центрами шарниров соседних траков по горизонтальной и вертикальной осям

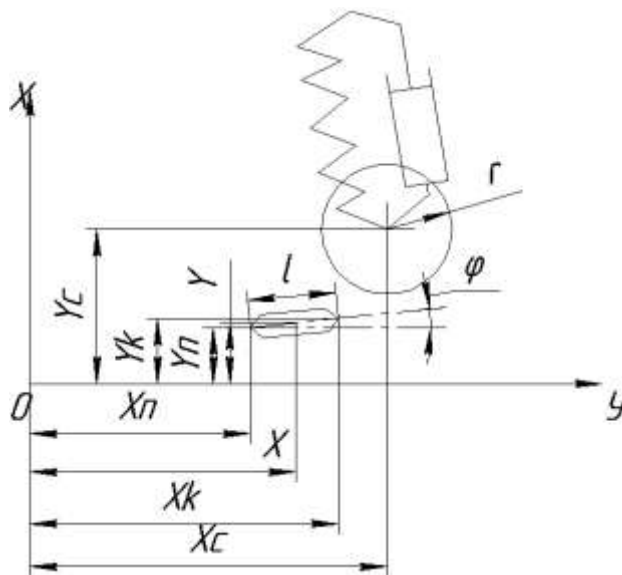


Рис. 4. Геометрические размеры траков и колес:

Y_c – ордината центра колеса; Y_k – ордината конечной точки трака; Y_n – ордината начальной точки трака;
 Y – ордината центра трака; l – длина трака; ϕ – угол поворота трака; X_c – абсцисса центра колеса;
 X_k – абсцисса конечной точки трака; X – абсцисса центра трака;
 X_n – абсцисса начальной точки трака; r – радиус колеса

Определяем угол поворота трака:

$$\varphi = \pi - \text{Arc sin}(r/Lr) + \text{Arc tan} \left(\frac{\frac{Y_{nc} - Y_{kn}}{X_{nc} - X_{kn}}}{Lr + \frac{Y_{nc} Y_{kn}}{X_{nc} X_{kn}}} \right). \quad (1)$$

Учитывая, что зависимость (1) дает только острый угол для φ , необходимо использовать следующие условия:

$$\begin{cases} \varphi < \pi/2 \\ X_n < X_c \end{cases} \rightarrow \varphi = \varphi + \pi. \quad (2)$$

Далее определяем величину проекции конечной точки трака на ось ординат:

$$Y_k = Y_n + l \cdot \sin(\varphi),$$

а затем проверяем условия:

$$\begin{cases} \varphi < \pi \\ X_n < X_c \\ Y_k \geq Y_n \end{cases} \rightarrow \varphi = \varphi + \pi; \quad (3)$$

$$\begin{cases} \varphi > \pi \\ Y_c > Y_n \\ X_n < X_c \\ X_k < X_c \end{cases} \rightarrow \varphi = \varphi + \pi; \quad (4)$$

$$\begin{cases} \varphi > \pi \\ Y_c > Y_n \\ X_n < X_c \end{cases} \rightarrow \varphi = \varphi - \pi. \quad (5)$$

Системы уравнений (2) – (5) охватывают расположение траков на всем гусеничном обводе и являются универсальными для определения угла поворота трака при его нахождении в контакте с любым из колес.

Следующий этап – организация перехода на расчет расположения траков на провисающей ветви. Критерием этого перехода является отсутствие контакта трака с последним опорным колесом. Условие контакта трака предлагается определять на основании следующих соображений (рис. 4, 5):

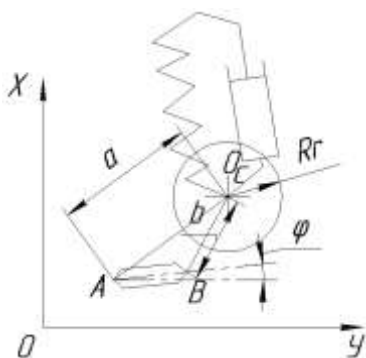


Рис. 5. Схема для определения положения трака

$$a = \sqrt{(X_c - X_n)^2 + (Y_c - Y_n)^2}; \quad (6)$$

$$b = \sqrt{(X_c - X_k)^2 + (Y_c - Y_n)^2}, \quad (7)$$

где a и b – расстояния от центра колеса до начальной и конечной точек трака соответственно.

Полупериметр треугольника AOB (p) определим из выражения:

$$p = (a + b + l) / 2,$$

тогда величину перпендикуляра, опущенного с центра колеса на линию, соединяющую начало и конец трака, определим по формуле:

$$h_l = \frac{2}{l} \sqrt{(p(p-a)(p-b)(p-l))}. \quad (8)$$

В том случае, если $h_l < r$ трак не находится в контакте с колесом, необходимо определить угол прямой, которая является касательной к последнему опорному и направляющему колесам (рис. 6).

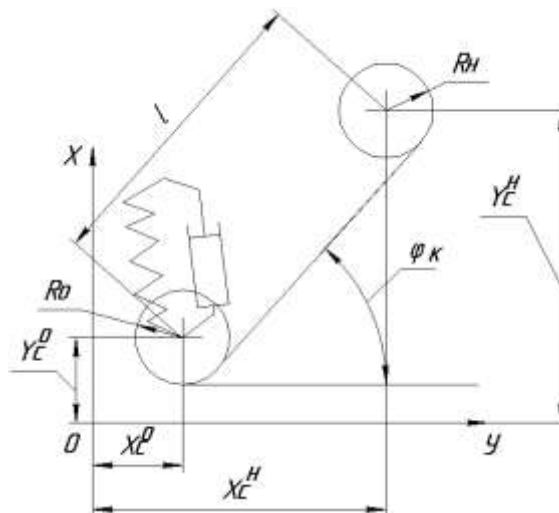


Рис. 6. Схема для определения угла наклона касательной между опорным и направляющим колесом

Определяем относительные расстояния между центрами колес:

- по оси абсцисс:

$$X = X_c^H - X_c^o; \tag{9}$$

- по оси ординат

$$Y = Y_c^H - Y_c^o. \tag{10}$$

Определяем кратчайшее расстояние между центрами колес:

$$l = \sqrt{X^2 + Y^2} \tag{11}$$

и угол наклона касательной, при условии, что радиусы опорного и направляющего колес равны:

$$\varphi_k = \arcsin\left(\frac{Y}{l}\right). \tag{12}$$

В случае, когда радиусы колес не равны, определяем разницу радиусов:

$$\Delta r = |R_o - R_n|, \tag{13}$$

тогда угол, возникающий в случае неравенства радиусов колес, составит:

$$\Delta\varphi = \arcsin\left(\frac{\Delta r}{l}\right). \tag{14}$$

Суммарный угол наклона касательной определяется из следующих условий:

- в случае, если $R_o > R_n$:

$$\varphi_k = \varphi_k + \Delta\varphi; \tag{15}$$

- в случае, если $R_o < R_n$:

$$\varphi_k = \varphi_k - \Delta\varphi. \tag{16}$$

Таким образом, все траки, находящиеся между последним опорным и направляющим колесом при построении гусеничного обвода, имеют угол наклона, определенный по методике, изложенной выше.

В процессе построения линии траков, зная угол наклона и соблюдая условия:

$$\begin{cases} X_n^i = X_k^{i-1} \\ Y_n^i = Y_k^{i-1} \end{cases},$$

где (X_n^i, Y_n^i) – точка, определяющая на плоскости положение начала текущего трака; (X_k^{i-1}, Y_k^{i-1}) – точка, определяющая положение на плоскости предыдущего трака, необходимо после построения каждого тра-

ка проверять соблюдение условия (8), и когда наступит случай, при котором $h_i < r$, необходимо перейти на определение угла φ по зависимости (1) и далее проанализировать зависимости (2) – (5), с целью определения угла φ при нахождении трака на направляющем колесе.

После завершения построения траков на направляющем колесе, критерием чего является условие:

$$\begin{cases} X^i < X_c; \\ Y^i > Y_c, \end{cases} \quad (17)$$

где X^i – координата центра текущего трака по оси абсцисс; Y^i – координата центра трака по оси ординат; X_c – координата центра направляющего колеса по оси абсцисс; Y_c – координата центра направляющего колеса по оси ординат, необходимо перейти к определению углов наклона траков, находящихся на верхней ветви.

Очевидно, что значения этих углов находятся близко к π при отсчете угла от нулевого направления (с запада на восток) против часовой стрелки. Величина отклонения от π определяется по методике, определяемой в зависимостях (9) – (16).

Определив новое значение угла наклона траков, определяем положение траков в соответствии с рисунком 1, где $X_n^i = X_k^{i-1}$ и $Y_n^i = Y_k^{i-1}$. Данное построение необходимо вести, одновременно проверяя условия (6) – (8) и в том случае, когда h_i станет больше r ; это означает, что очередной трак вступил в соприкосновение с последним поддерживающим колесом (см. рис. 1), необходимо перейти к методике определения угла наклона трака, изложенной в зависимостях (1) – (5).

Дальнейшее построение расположения траков на верхней ветви гусеничного обвода проводим, последовательно применяя предложенный алгоритм до тех пор, пока не станет верно условие (17), где в качестве X_c и Y_c используется центр ведущего колеса.

Построение траков на тяговой ветви ведем аналогично принципу построения траков на провисающей ветви. Данные построения необходимо выполнять с использованием программного обеспечения, составленного на основании математической модели [3].

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.

Данное программное обеспечение может быть использовано при проведении конструкторских работ по проектированию техники, которая используется при проведении промышленных, сельскохозяйственных, дорожно-строительных работ, а также для машин, используемых в лесной промышленности.

Заключение. Изложенная выше методика является универсальной и пригодной для проведения конструкторских и оптимизационных работ для машин различного назначения, что необходимо предусматривать в связи с тем, что современные требования к гусеничным машинам предполагают достаточно узкую специализацию: промышленные тракторы, строительные и дорожные машины, сельскохозяйственные машины, машины для лесного хозяйства и специальная техника. В связи с этим к гусеничным движителям этих машин предъявляются разные требования. Для промышленных тракторов – это тяговое усилие и несущая способность; для сельскохозяйственных машин – минимальное удельное давление на грунт; для машин лесного хозяйства – щадящее воздействие на почву; для машин специального назначения – требования к показателям быстроходности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов, Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин / Н.А. Носов [и др.] – Л.: Машиностроение, 1972. – 560 с.
2. Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Забавников. – М.: Машиностроение, 1968.
3. Лесковец, И.В. Математическая модель гусеничного движителя СДМ / И.В. Лесковец // Вестн. Могилевского гос. техн. ун-та. – 2003. – № 2. – С. 83 – 87.

Поступила 24.11.2006