

УДК 631.372

05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ ГУСЕНИЧНОГО МОДУЛЯ НА РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЦЕ

Каплюхин Антон Эдуардович
аспирант
e-mail: kaplyuhin@gmail.com

Бледнова Жесфина Михайловна
д.т.н., профессор
e-mail: blednova@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия

В современном комбайностроении последних нескольких лет наблюдается тенденция к увеличению производительности машин, и, как следствие, их физической массы. Однако, с увеличением массы зерноуборочного комбайна, необходимым условием его передвижения по полю в процессе работы является соблюдение требований к площади его опоры. В связи с этим, производители вынуждены увеличивать размер и количество колёс машины. Одним из вариантов решения данной задачи является замена колёсных пар сельскохозяйственных машин на сменные гусеничные модули с резиноармированными гусеницами. В этом случае, меняется и сам принцип расчётов основных технических характеристик движителя, и, если речь идёт о приводных неуправляемых осях сельскохозяйственных машин, то методики расчёта можно грубо аппроксимировать к расчётам гусеничных машин с металлическими гусеницами. Однако, в случае управляемых осей, наблюдается пересечение в расчётных методах между классическими расчётами колёсных шасси и расчётами гусеничных шасси. Проблема состоит в том, что обычно гусеничные шасси не управляются подобно колёсам, поэтому методы расчётов необходимо уточнять, вводя новые критерии оценки как следствие возникновения новых силовых факторов в гусеничном модуле. В работе предлагается альтернативная расчётная модель для вычисления максимального момента сопротивления вращению гусеничного модуля на резиноармированном траке

Ключевые слова: СМЕННЫЙ ГУСЕНИЧНЫЙ МОДУЛЬ, РЕЗИНОАРМИРОВАННАЯ ГУСЕНИЦА, МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ, ПЛОЩАДЬ КОНТАКТА

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-160-003>

UDC 631.372

05.20.01 Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

METHOD OF CALCULATION OF THE RESISTANCE MOMENT OF ROTATION OF THE TRACK MODULE ON THE RUBBER-REINFORCED TRACK

Kapljukhin Anton Jeduardovich
graduate student
e-mail: kaplyuhin@gmail.com

Blednova Zhesfina Mihajlovna
Doctor of Technical Sciences, Professor
e-mail: blednova@mail.ru
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

In modern combine building over the past few years, there has been a trend towards increasing the productivity of machines and, as a consequence, their physical weight. However, as the weight of the combine harvester increases, the necessary condition for its movement in the field in the course of work is to meet the requirements for its support area. As a result, manufacturers have to increase the size and number of wheels of the machine. One solution to this problem is to replace the wheelset of agricultural machines with replaceable rubber track modules. In this case, the very principle of calculation of the main technical characteristics of the engine changes, and if we are talking about the drive axles of agricultural machinery, the calculation methods can be roughly approximated to the calculation of tracked machines with metal tracks. However, in the case of driven axles, there is an intersection in the calculation methods between the classic calculation of the wheel chassis and the calculation of the tracked chassis. The problem is that the tracked chassis are not usually guided like the wheels, so the calculation methods need to be refined by introducing new evaluation criteria because of new power factors in the track module. The article proposes an alternative calculation model to calculate the maximum resistance torque of a track module on a rubber track

Keywords: REPLACEABLE TRACK MODULE, RUBBER-REINFORCED TRACK, MOMENT OF RESISTENCE TO ROTATION, CONTACT AREA

Альтернативой колёсам при эксплуатации сельскохозяйственных машин тяжёлого класса являются сменные гусеничные модули на резиноармированных гусеницах [1, стр. 19]. Они нашли широкое применение при переоборудовании зерноуборочных машин для уборки риса на слабых несущих грунтах и весьма эффективно решают проблему распределения давления на грунт, вписываясь при этом в нормы транспортировочного габарита. Считается, что после переоборудования стандартной колёсной машины на гусеничный привод возможна её нормальная эксплуатация без вмешательства в конструктив рулевого управления и параметров узлов управления, в частности гидравлики. Однако до конца не раскрыты силовые и динамические факторы, возникающие в процессе эксплуатации сменных гусеничных модулей в компоновке со стандартным «колёсным» оборудованием комбайна. Одним из таких факторов является предельный момент сопротивления повороту на месте. В литературе существует множество методик расчёта данного параметра для колёсного шасси [2] и в применении к гусеничному шасси. Во втором случае методики предназначены для расчётов силовых факторов танковых и тракторных гусеничных приводов [3, 4]. Однако схема поворота гусеничной машины и колёсной разнятся. Литературный анализ русскоязычных ресурсов позволяет сделать вывод, что подобных комбинированных методик и математического аппарата для расчёта силовых факторов сменных гусеничных модулей предложено не было [1 тр. 29].

Цель работы – определить влияние формы отпечатка трака гусеничного модуля и положения центра поворота модуля на величину предельного момента сопротивления повороту модуля.

Для оценки валидности разрабатываемой методики расчёта предельного момента сопротивления вращению гусеничного модуля, на первом этапе, вычислим момент сопротивления в аппроксимации площади

пятна контакта трака и поверхности опоры к площади прямоугольной площадки по известной методике [2].

Как и в оригинальной методике, приведём эллипсоидную форму отпечатка трака к равновеликому прямоугольнику:

$$a = \sqrt{\frac{F_0 * A}{B}}, b = \sqrt{\frac{F_0 * B}{A}}, \quad (1)$$

где a, b – стороны равновеликого прямоугольника;

A, B, F_0 – соответственно стороны отпечатка трака и его площадь, определяющиеся эмпирически.

Схема для определения расположения центра вращения отпечатка приведена на рис. 1. В отличие от оригинальной методики, в определении расстояния от оси вращения до геометрического центра пятна контакта не будут участвовать углы наклонов цапфы ступицы, т.к. эти параметры (плечо стабилизации и плечо обкатки) являются незначимыми в случае проектного расчёта управляемой оси зерноуборочного комбайна. На рис. 2 изображена схема отпечатка трака.

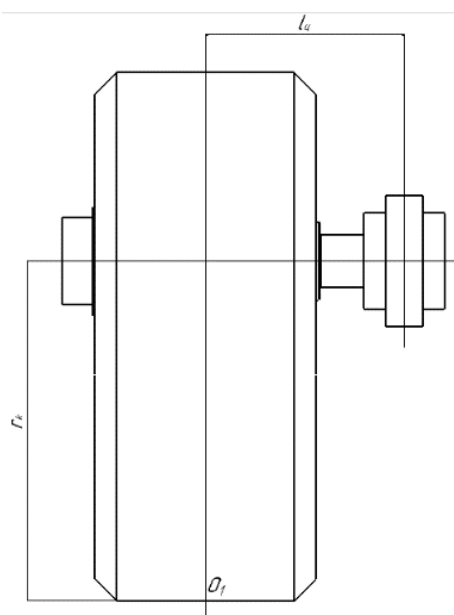


Рисунок 1 – Схема расположения оси вращения гусеничного модуля

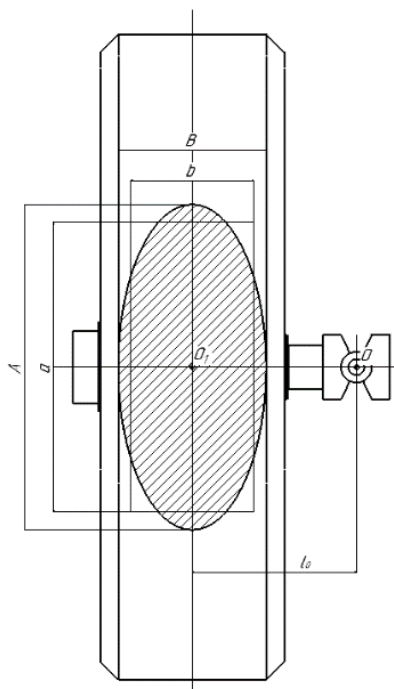


Рисунок 2 - Схема определения положения центра поворота отпечатка

На рис. 3 изображена схема для определения предельного момента сопротивления повороту трака. Из схемы видно, что центр вращения находится вне площади отпечатка, поэтому разделение отпечатка на участки на данном этапе не имеют смысла. Момент сопротивления повороту определится как:

$$dM_{\varphi max} = \rho * dF_{\varphi}, \quad (2)$$

где dF_{φ} – элементарная сила трения-скольжения в элементарном отпечатке.

Эта сила рассчитывается как произведение коэффициента сцепления, давления и площади контакта:

$$dF_{\varphi} = j * p * dS. \quad (3)$$

Где удельное давление в отпечатке трака равно разности нагрузки на модуль и площадки опоры всего трака. Плечо действия силы из схемы рис.3 равно квадратному корню суммы катетов x и y . Рассчитывается данный момент на элементарной площадке трака, размером dx, dy .

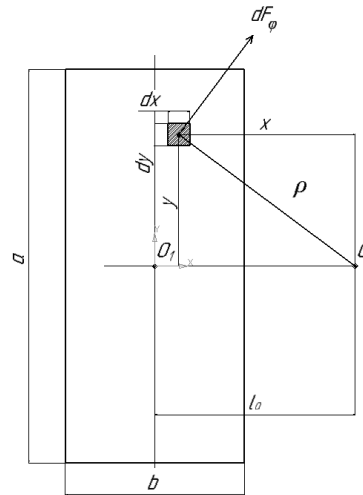


Рисунок 3 – Расчётная схема отпечатка трака для определения предельного момента сопротивления повороту

Подставив значения в уравнение (2), получим:

$$dM_{\varphi max} = \rho * \varphi * \sqrt{x^2 + y^2} dydx$$

Таким образом, методика расчёта ведётся в соответствии с оригинальной [2] для расчёта параметров колёсного шасси. Интегрируя развёрнутое уравнение (2) для удобства ведения расчётов воспользуемся пакетом прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB. При расчёте удельного давления в отпечатке, в качестве нагрузки на трак воспользуемся максимально допустимой нагрузкой на ось машины в 12000 кг. Коэффициент сцепления выбран из условия передвижения машины по сухому асфальту.

Математически формула выразится как:

$$M_{jmax} = r * j \int_{-l_0 - \frac{b}{2}}^{-l_0 + \frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \sqrt{x^2 + y^2} dydx. \tag{4}$$

Таким образом, момент рассчитывается на прямоугольном участке контакта размерами $a \cdot b$, с началом координат в точке O и длиной цапфы l_0 ; т. о. расчётная величина момента сопротивления вращению гусеничной тележки составляет:

$$M_{jmax} = 21 \text{кНм}$$

Теперь составим расчётную формулу для определения момента сопротивления трака, при условии контакта восьми его катков. Для более точных вычислений, и удобства записи формулы, площадь контакта рассчитаем, как площадь эллипсов, с переходом к равновеликим прямоугольникам. Расчётная схема представлена на рис. 4.

Теперь, сопротивление повороту трака рассчитывается как:

$$M_{jmax} = M_{jmax1} + M_{jmax2} + M_{jmax3} + \dots + M_{jmax8}, \quad (5)$$

где $M_{jmax1}, M_{jmax2}, M_{jmax3}, \dots, M_{jmax8}$ – предельные сопротивления повороту соответственно катков 1,2,3, ... 8 гусеничного модуля.

Площадь F_0 одного эллипса, соответствующая n-ному катку равна 0.02793 м^2 , тогда стороны n-ого равновеликого прямоугольника из выражения 1, будут равны:

$$a_{nn} = \sqrt{\frac{F_0 * a_n}{b_n}}, b_{nn} = \sqrt{\frac{F_0 * b_n}{a_n}}.$$

Так как опорные катки гусеничного модуля имеют равные диаметры, то и их площадки контакта будут равны, а следовательно, a_{nn} и b_{nn} будут равными. Численно, $a_{nn} = 0,224 \text{ м}$, $b_{nn} = 0,124 \text{ м}$. Для удобства вычислений развернём оси и обозначения сторон эллипсов на 90° таким образом, чтобы большие полуоси были расположены вдоль оси X, а малые полуоси вдоль оси Y.

Для каждого равновеликого прямоугольника определим границы интегрирования по оси Y:

$$1) y_{1min} = \frac{B}{2} - \frac{b_{11}}{2}; y_{1max} = \frac{B}{2} + \frac{b_{11}}{2};$$

$$2) y_{2min} = \frac{B}{2} - \frac{b_{22}}{2}; y_{2max} = \frac{B}{2} + \frac{b_{22}}{2};$$

$$3) y_{3min} = \frac{B}{6} - \frac{b_{33}}{2}; y_{3max} = \frac{B}{6} + \frac{b_{33}}{2};$$

$$4) y_{4min} = \frac{B}{6} - \frac{b_{44}}{2}; y_{4max} = \frac{B}{6} + \frac{b_{44}}{2};$$

$$5) y_{5_{min}} = -\frac{B}{6} - \frac{b_{55}}{2}; y_{5_{max}} = -\frac{B}{6} + \frac{b_{55}}{2};$$

$$6) y_{6_{min}} = -\frac{B}{6} - \frac{b_{66}}{2}; y_{6_{max}} = -\frac{B}{6} + \frac{b_{66}}{2};$$

$$7) y_{7_{min}} = -\frac{B}{2} - \frac{b_{77}}{2}; y_{7_{max}} = -\frac{B}{2} + \frac{b_{77}}{2};$$

$$8) y_{8_{min}} = -\frac{B}{2} - \frac{b_{88}}{2}; y_{8_{max}} = -\frac{B}{2} + \frac{b_{88}}{2}.$$

Для каждого равновеликого прямоугольника определим границы интегрирования по оси X:

$$1) x_{1_{min}} = -l_0 - \frac{A}{4} - \frac{a_{11}}{2}; x_{1_{max}} = -l_0 - \frac{A}{4} + \frac{a_{11}}{2};$$

$$2) x_{2_{min}} = -l_0 + \frac{A}{4} - \frac{a_{22}}{2}; x_{2_{max}} = -l_0 + \frac{A}{4} + \frac{a_{22}}{2};$$

$$3) x_{3_{min}} = -l_0 - \frac{A}{4} - \frac{a_{33}}{2}; x_{3_{max}} = -l_0 - \frac{A}{4} + \frac{a_{33}}{2};$$

$$4) x_{4_{min}} = -l_0 + \frac{A}{4} - \frac{a_{44}}{2}; x_{4_{max}} = -l_0 + \frac{A}{4} + \frac{a_{44}}{2};$$

$$5) x_{5_{min}} = -l_0 - \frac{A}{4} - \frac{a_{55}}{2}; x_{5_{max}} = -l_0 - \frac{A}{4} + \frac{a_{55}}{2};$$

$$6) x_{6_{min}} = -l_0 + \frac{A}{4} - \frac{a_{66}}{2}; x_{6_{max}} = -l_0 + \frac{A}{4} + \frac{a_{66}}{2};$$

$$7) x_{7_{min}} = -l_0 - \frac{A}{4} - \frac{a_{77}}{2}; x_{7_{max}} = -l_0 - \frac{A}{4} + \frac{a_{77}}{2};$$

$$8) x_{8_{min}} = -l_0 + \frac{A}{4} - \frac{a_{88}}{2}; x_{8_{max}} = -l_0 + \frac{A}{4} + \frac{a_{88}}{2};$$

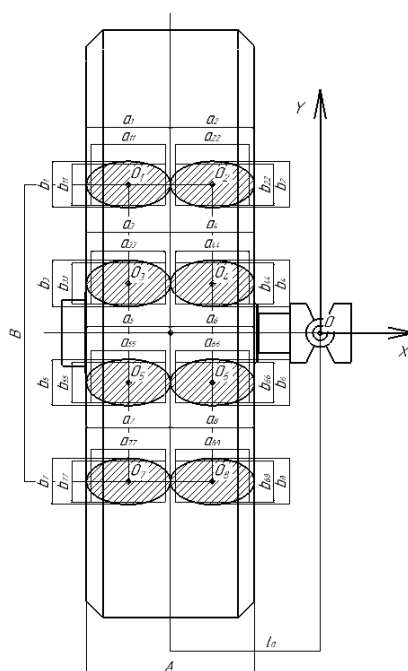


Рисунок 4 - Схема определения суммарного момента сопротивления вращению

В общем виде уравнение момента сопротивления вращению выразится как:

$$M_{jmax} = r * j \int_{\frac{B}{2} - \frac{b_{nn}}{2}}^{\frac{B}{2} + \frac{b_{nn}}{2}} \int_{-l_0 - \frac{A}{4} + \frac{a_{nn}}{2}}^{-l_0 - \frac{A}{4} - \frac{a_{nn}}{2}} \sqrt{x^2 + y^2} dy dx. \quad (6)$$

Для упрощения произведения расчётов вновь воспользуемся пакетом прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB. Из выражения 5, $M_{jmax} = 19,8 \text{ кНм}$.

Выводы

В ходе исследования был предложен альтернативный метод расчёта предельного момента сопротивления вращению сменного гусеничного модуля, оснащённого восемью опорными катками.

Разница между расчётом момента по классической «колёсной» схеме и предложенной составляет порядка 4%, данный показатель зависит также от ряда точностных параметров при расчётах и допускает возможность дальнейшего уточнения путём эмпирического сравнения.

Список литературы

1. Шарипов В.М. Проектирование ходовых систем тракторов [Текст]/ В.М. Шарипов, Л.А. Дмитриева, А.И. Сергеев, А.С. Шевелев, Ю.С. Щетинин. - М: МГТУ «МАМИ», 2006. - 82 с.
2. Солтус А.П., Ямгуров О.В. О предельном по сцеплению моменте сопротивления повороту шины на месте // Вісник КДПУ. — Кременчук, 2006. — Вип. 2/2006 (37). — Ч. 1. — С. 40—43
3. Кондаков С. В., Черепанов С. И. Моделирование взаимодействия гусениц с грунтом при неустановившемся повороте быстроходной гусеничной машины // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2008. №23 (123). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vzaimodeystviya-gusenits-s-gruntom-pri-neustanovivshemsya-povorote-bystrohodnoy-gusenichnoy-mashiny> (дата обращения: 15.04.2020).
4. Сиреканян С. Р., Карапетян М. А. Влияние поперечной силы на расположение центра поворота гусеничного трактора при его плавном повороте // Природообустройство. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-poperechnoy-sily-na-raspolozhenie-tsentra-povorota-gusenichnogo-traktora-pri-ego-plavnom-povorote> (дата обращения: 15.04.2020)..

References

1. Sharipov V.M. Proektirovanie hodovyh sistem traktorov [Tekst]/ V.M. Sharipov, L.A. Dmitrieva, A.I. Sergeev, A.S. Shevelev, Ju.S. Shhetinin. - M: MGTU «МАМИ», 2006. - 82 s.
2. Soltus A.P., Jamgurov O.V. O predel'nom po scepleniju momente soprotivlenija povorotu shiny na meste // Visnik KDPU. — Kremenchuk, 2006. — Vip. 2/2006 (37). — Ch. 1. — S. 40—43
3. Kondakov S. V., Cherepanov S. I. Modelirovanie vzaimodejstvija gusenits s gruntom pri neustanovivshemsja povorote bystrohodnoj gusenichnoj mashiny // Vestnik JuUrGU. Serija: Mashinostroenie. 2008. №23 (123). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-vzaimodeystviya-gusenits-s-gruntom-pri-neustanovivshemsya-povorote-bystrohodnoy-gusenichnoy-mashiny> (data obrashhenija: 15.04.2020).
4. Sirekanjan S. R., Karapetjan M. A. Vliyanie poperechnoj sily na raspolozhenie centra povorota gusenichnogo traktora pri ego plavnom povorote // Prirodoobustrojstvo. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-poperechnoy-sily-na-raspolozhenie-tsentra-povorota-gusenichnogo-traktora-pri-ego-plavnom-povorote> (data obrashhenija: 15.04.2020).