

УДК 658.012.011.56

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-1-41-47>

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ МЕХАНИЗМА АГРЕГАТИРОВАНИЯ КОСИЛКИ САМОХОДНОЙ КС-200

В. Б. ПОПОВ

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Представлена математическая связь между функциональными математическими моделями, описывающими механизмы агрегатирования косилки самоходной КС-200. Особенностью конструкции КС-200 является использование механизмов навески и механизмов вывешивания адаптера одних и тех же звеньев. Поэтому для их проектирования необходимо определить, как влияет изменение внутренних параметров, например, механизма навески на изменение выходных параметров механизма вывешивания адаптера.

Ключевые слова: косилка самоходная, механизм агрегатирования, механизм вывешивания адаптера, механизм навески, гидроцилиндр, передаточное число.

Для цитирования. Попов, В. Б. Особенности аналитического описания механизма агрегатирования косилки самоходной КС-200 / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 1 (96). – С. 41–47. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-1-41-47>

FEATURES OF ANALYTICAL DESCRIPTION OF SELF-PROPELLED MOWER KC-200 AGGREGATION MECHANISM

V. B. POPOV

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus*

Author presents a mathematical connection between functional mathematical models describing the aggregation mechanisms of the self-propelled mower KC-200 in this article. A design feature of the KC-200 is the use of linkage mechanisms and adapter hanging mechanisms of the same links. Therefore, to design them, it is necessary to determine how changes in internal parameters, for example, the hanging mechanism, affect changes in the output parameters of the adapter hanging mechanism.

Keywords: self-propelled mower, aggregation mechanism, adapter hanging mechanism, linkage mechanism, hydraulic cylinder, gear ratio.

For citation. Popov V. B. Features of analytical description of self-propelled mower KC-200 aggregation mechanism. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 1 (96), pp. 41–47 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-1-41-47>

Введение

Применение мощных кормоуборочных комбайнов эффективно только при скашивании и укладке в валок трав жатками с большой шириной захвата. Прицепные валковые жатки из-за особенностей конструкции не могут обеспечить ширину захвата, создающую условия для эффективной работы мощных кормоуборочных комбайнов. В связи с этим наиболее перспективным направлением для скашивания трав с последующим их подбором и измельчением мощными кормоуборочными комбайнами является применение косилок самоходных с широкозахватными валковыми жатками [1].

Косилка самоходная (рис. 1) предназначена для скашивания и укладки в валок трав, зерновых колосовых, зернобобовых, крупяных и других культур.



Рис. 1. Общий вид косилки самоходной КС-200

Косилка предусматривает возможность агрегатирования и работы сменными рабочими органами (адаптерами):

- с жаткой валковой КС-200.12 шириной захвата 9,2 м;
- с жаткой ротационной КС-200.15 шириной захвата 4 м.

Особенностью данной конструкции является то, что механизм агрегатирования самоходного шасси с адаптером состоит из подъемно-навесного устройства (ПНУ), включающего механизм навески (МН), и механизма вывешивания адаптера (МВА).

Целью работы является поиск и определение связи между выходными параметрами МН и МВА и общими для них внутренними параметрами.

Основная часть

Подъемно-навесное устройство косилки КС-200 состоит из объемного гидропривода (ГП) и МН, выполненного по четырехточечной схеме (рис. 2). Механизм навески состоит из опор 1, в которых при помощи осей 2 установлены рычаги 3. На опорах 1 крепятся кронштейны 4, в которых установлены гидроцилиндры 5, которые через упор с пазом 6 воздействуют на рычаги 3. На раме машины шарнирно закреплены гидроцилиндры 5, которые связаны с рычагами 3 и служат для подъема МН в верхнее положение.

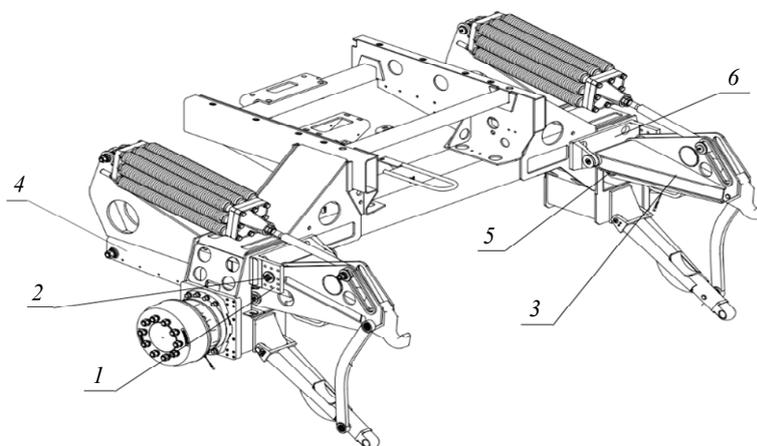


Рис. 2. Закрепленные на раме КС-200 механизм навески и механизм вывешивания адаптера:

- 1 – опора; 2 – ось; 3 – рычаг; 4 – кронштейн;
- 5 – гидроцилиндр; 6 – упор с пазом

Снижение потерь кормов в процессе уборки самоходной косилкой (СК) связано в том числе с обеспечением правильного функционирования МВА. Механизм вывешивания адаптера предназначен для качественного копирования рельефа башмаками жатки в заданном диапазоне вертикального перемещения адаптера относительно самоходного шасси. При этом башмаки адаптера должны иметь постоянный контакт с почвой, а нагрузка на них должна оставаться в заданных пределах. Поэтому наиболее полной характеристикой, описывающей процесс копирования, является реакция под башмаками жатки.

Идеализируя геометрические модели МН и МВА, считаем, что оси, проходящие через центры шарниров их звеньев, параллельны друг другу, а звенья – несжимаемы, тогда правая и левая части механизмов, будучи спроецированы на продольную плоскость симметрии СК, образуют из пространственных механизмов их плоские аналоги (рис. 3).

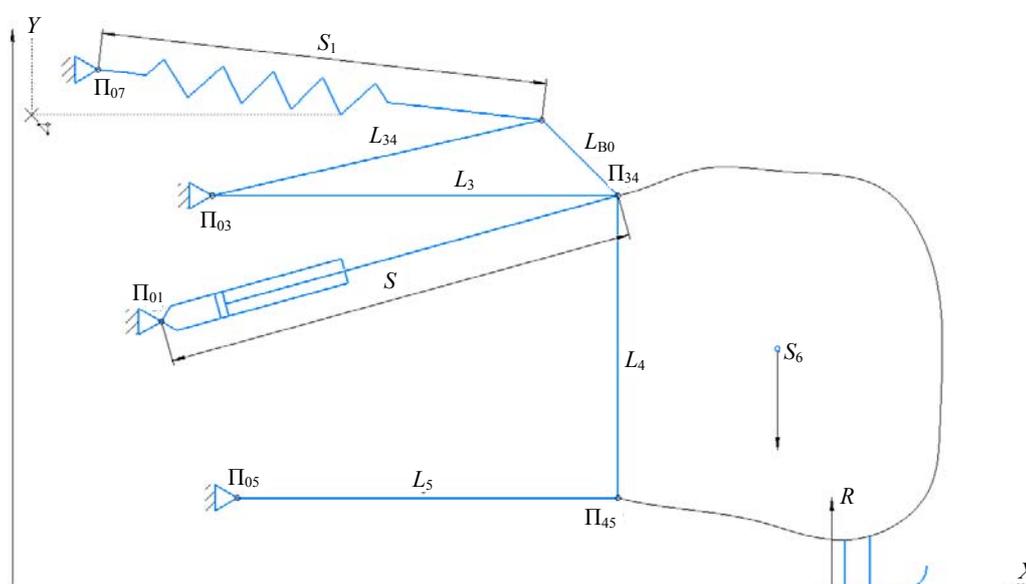


Рис. 3. Плоские аналоги механизма навески и механизма вывешивания адаптера

Преобразовав 3D-модели МН и МВА в их плоские аналоги, получим рычажный механизм, структура которого идентифицируется одноподвижным шестизвенником (рис. 3). Адаптер присоединяется к МН и МВА посредством поворотных рычагов и нижних тяг, а на плоскости преобразуется в выходное звено, положение центра тяжести которого однозначно связано с изменением обобщенных координат (S, S_1).

Ход поршня или растяжения пружины ($\Delta S, \Delta S_1$) рассматривается как изменение входных (обобщенных) координат, а изменение положения центра тяжести адаптера (S_6) и контакта башмака с опорной поверхностью – как изменение выходных.

Для определения положения подвижных шарниров МН и МВА, аналогов угловых и линейных скоростей формируются процедуры геометрического и кинематического анализа на базе метода замкнутого векторного контура [2].

В результате геометрического анализа определяются углы, образуемые векторами, имитирующими звенья МН, в правой декартовой системе координат, координаты подвижных шарниров МН и характерных точек цепи (рис. 4).

В частности координаты оси подвеса МН (Π_{45}) определяются по выражениям:

$$\begin{aligned} X_{45}(S) &= X_{05} + L_5 \cos \varphi_5(S); \\ Y_{45}(S) &= Y_{05} + L_5 \sin \varphi_5(S), \end{aligned} \quad (1)$$

где X_{05} , Y_{05} – координаты неподвижного шарнира Π_{05} на раме измельчителя; φ_i – угол, образуемый соответствующим звеном, в правой декартовой системе координат.

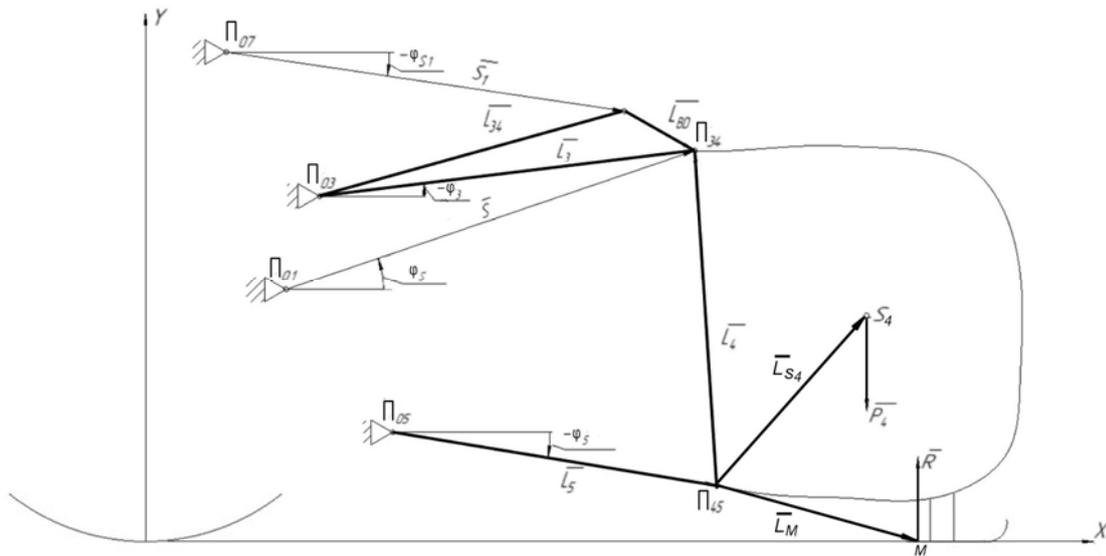


Рис. 4. Векторная интерпретация плоских аналогов механизма навески и механизма вывешивания адаптера

Координаты характерной точки – центра тяжести адаптера – определяются в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} X_{S_6}(S) &= X_{45}(S) + L_{S_6} \cos[\varphi_4(S) + \varphi_{S_6}]; \\ Y_{S_6}(S) &= Y_{45}(S) + L_{S_6} \sin[\varphi_4(S) + \varphi_{S_6}], \end{aligned} \quad (2)$$

где L_{S_6} и φ_{S_6} – характеристики (модуль и направление) вектора, проведенного от оси подвеса к центру тяжести навесного адаптера.

Координаты другой характерной точки – контакта башмака с опорной поверхностью – определяются в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} X_M(S) &= X_{S_6}(S) + L_M \cos[\varphi_6(S) - \varphi_M]; \\ Y_M(S) &= Y_{S_6}(S) + L_M \sin[\varphi_6(S) - \varphi_M], \end{aligned} \quad (3)$$

где $X_{S_6}(S)$, $Y_{S_6}(S)$ – координаты оси подвеса жатки; L_M , φ_M – параметры, жестко связывающие характерные точки со звеном L_6 .

Аналитические выражения (1)–(3) представляют собой функции положения для центров шарниров звеньев МН, центров тяжести адаптера и точки контакта башмака с опорной поверхностью одновременно, необходимые для формирования процедур кинематического анализа.

В результате кинематического анализа определяются аналитические выражения для передаточных чисел МН и МВА – $I_{S_6}(S)$, $I_M(S)$:

$$\begin{aligned} I_{S_6}(S) &= \varphi'_3 [U_{53}L_5 \cos \varphi_5 + U_{65}L_{S_6} \cos(\varphi_6 + \varphi_{S_6})]; \\ I_M(S) &= \varphi'_3 [U_{53}L_5 \cos \varphi_5 + U_{65}L_M \cos(\varphi_6 + \varphi_M)], \end{aligned} \quad (4)$$

где $\varphi'_3(S)$ – аналог угловой скорости звена L_3 ; U_{53} , U_{65} – передаточные отношения; L_5 , L_{S_6} , L_M – длина нижней тяги, расстояние от оси подвеса до центра тяжести адаптера и до точки контакта башмака с опорной поверхностью; φ_5 , φ_6 – углы, образуемые L_5 , L_6 в правой декартовой системе координат (рис. 4).

При помощи вышеприведенных передаточных чисел легко определяется нагрузка на гидроцилиндр или блок пружин.

Таким образом, выражение для передаточного числа МН позволяет определить полезную нагрузку $F(S)$ на гидроцилиндре и грузоподъемность G_{S_6} ПНУ [3]:

$$G_{S_6} = \frac{p_{гц}^{\max} F_{п} - [F_{ин}^{np}(S^*) + F_{тр}^{np}(S^*)]}{I_{S_6}(S^*)_{\max}}, \quad (5)$$

где $p_{гц}^{\max}$ – максимальное давление в гидроцилиндре; $F_{п}$ – площадь поршня гидроцилиндра; $F_{ин}^{np}(S^*)$ – приведенная сила инерции и $F_{тр}^{np}(S^*)$ – приведенная сила трения, определенные для значения обобщенной координаты, соответствующей максимуму передаточного числа.

В процессе копирования рельефа вертикальная координата точки контакта башмака с опорной поверхностью (Y_M) изменяет свое расположение относительно точки аналогичного контакта колеса СК. Ее вертикальные колебания относительно этого (нулевого) уровня в заданном диапазоне сопровождаются соответствующими изменениями S_1 , что приводит к росту растяжения пружины (S_1) при уменьшении Y_M и сокращению растяжения при росте Y_M . Одновременно с этими параметрами изменяются и передаточные числа (4) МВА. В результате, на уровне Y_M отличном от нулевого, реакция на башмаке будет отличаться от первоначального значения R_0 . В заданном диапазоне колебания $Y_M(S)$ реакция на башмаке рассчитывается по выражению [4]

$$R(S) = \frac{1}{I_M(S)} [P I_{S_6}(S) - C \Delta X(S) + F_{тр}^{np} \pm F_{ин}^{np}]. \quad (6)$$

Сила давления башмака на опорную поверхность зависит от геометрических и кинематических параметров МВА, массово-геометрических параметров адаптера, характеристики пружины, скорости движения СК, а также характеристики микро-рельефа и представляет количественную характеристику качества копирования. С помощью ее упрощенного аналитического выражения можно предварительно выбрать рациональное сочетание внутренних параметров проектируемого МВА.

Из аналитических выражений (5) и (6) очевидно, что соответствующие выходные параметры обратно пропорциональны передаточным числам МН и МВА. Но задачей разработчика МН является снижение максимального значения I_{S6} (рис. 5), а задачей разработчика МВА является стабилизация его передаточного числа с целью более стабильного значения реакции от опорной поверхности (рис. 6).

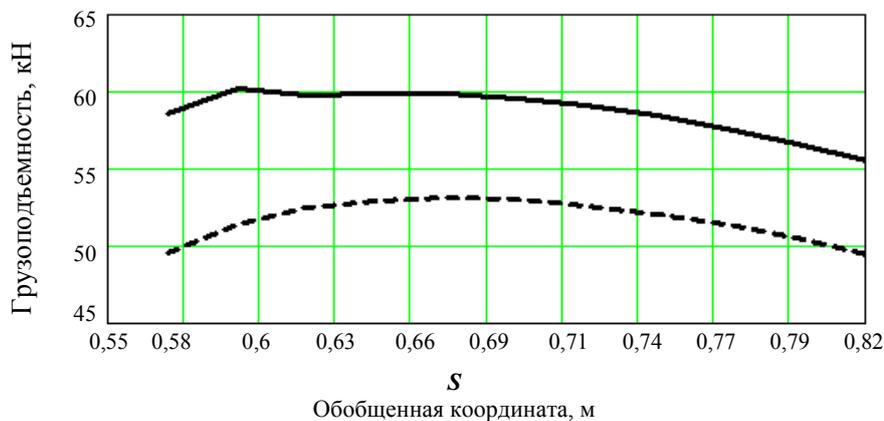


Рис. 5. Изменение грузоподъемности в процессе подъема адаптера (исходный и улучшенный варианты):
 - - - $G_s(S)$; — $G_{s1}(S)$

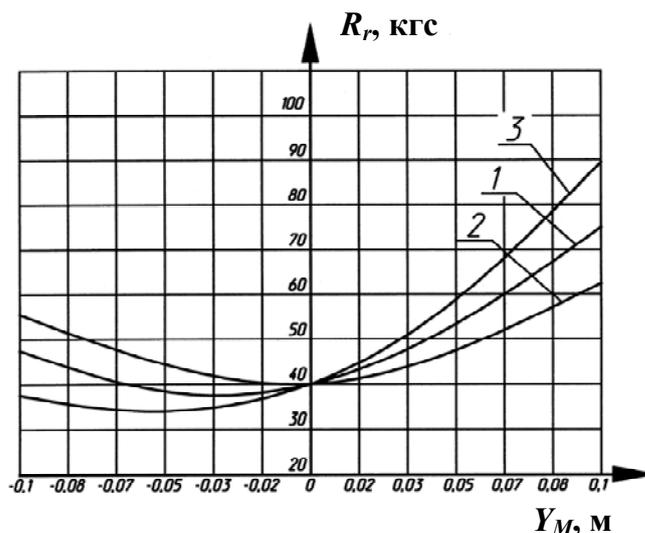


Рис. 6. Статическая характеристика механизма вывешивания адаптера кормоуборочного комбайна

Таким образом, взаимовлияние основных критериев эффективности МН и МВА должно рассматриваться с учетом изменений приведенных выше выражений.

Заключение

Определение связи между выходными параметрами и характеристиками механизма навески и механизма вывешивания адаптера позволяет рационально, а в некоторых случаях и оптимально выбирать внутренние параметры упомянутых механизмов.

Данный подход и соответственно описания функционирования МН и МВА могут быть использованы для самоходной косилки КС-100 и других самоходных косилок, имеющих аналогичные по структуре механизмы вывешивания.

Литература

1. Косилка самоходная КС-200 : инструкция по эксплуатации. – Гомель : ГОМ-СЕЛЬМАШ, 2022. – 81 с.
2. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Машиностроение, 1988. – 640 с.
3. Попов, В. Б. Математическое моделирование подъемно-навесных устройств мобильных энергетических средств / В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 251 с.
4. Ключков, А. В. Сельскохозяйственные машины. Теория и расчет / А. В. Ключков, В. Г. Ковалев, П. М. Новицкий. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 439 с.

References

1. Self-propelled mower KS-200. Gomel, Nauchno-tekhnicheskii tsentr kombainostroeniya. Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo «GOMSEL"MASH», 2022. 81 p. (in Russian).
2. Artobolevskii I. I. *Theory of mechanisms and machines*. Moscow, Mashino-stroenie Publ., 1988. 640 p. (in Russian).
3. Popov V. B. *Mathematical modeling of lifting and attachment devices of mobile energy vehicles*. Gomel, Sukhoi State Technical University of Gomel, 2016. 251 p. (in Russian).
4. Klochkov A. V., Kovalev V. G., Novitskii P. M. *Agreecultural machines. Theory and calculation*. Minsk, Informatsionno-vychislitel'nyi tsentr Ministerstva finansov Respubliki Belarus' Publ., 2019. 439 p. (in Russian).

Поступила 05.02.2024 г.