

Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А.

Egozhev A. M., Polishchuk E. A., Egozhev A. A.

**ОБОСНОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ОКАШИВАЮЩЕЙ КОСИЛКИ**

**JUSTIFICATION OF DYNAMIC PARAMETERS  
MOWING MACHINE**

---

*Террасирование позволяет осваивать под плодовые насаждения склоны, которые без этого мероприятия вообще не пригодны для земледелия, что немаловажно в условиях ограниченных для землепользования площадей Северного Кавказа. Исключения могут составлять лишь склоны, на которых строительство террас сомнительно с точки зрения экономической эффективности или технически трудно осуществимо. Чем круче склоны, тем более нарастает высота выемочных и насыпных откосов, тем меньше протяженность террас на единицу площади и тем ниже рентабельность.*

*Применяемым в настоящее время в садоводстве конструкциям косилок, для полного удаления растительности с приствольной полосы требуется проход агрегата вдоль каждой из сторон линии ряда, что невозможно обеспечить в условиях террасного садоводства.*

*Для существенного повышения безотказности косилки для террасного садоводства необходимо обеспечить динамическую устойчивость вращающихся узлов и деталей. Динамические нагрузки существенно уменьшают долговечность опор валов и, передаваясь по силовой цепи, способствуют разрушению ответственных узлов соединения, также разрушаются и сами вращающиеся детали и узлы.*

*Обоснована конструктивно-технологическая схема косилки для ухода за приствольными полосами плодовых насаждений интенсивного сада. Разработана математическая модель расчета динамики вращающихся узлов и деталей предложенной косилки.*

*Теоретически установлены закономерности влияния конструктивных параметров на качество выполнения технологического процесса скашивания растительности в зоне приствольного круга.*

**Ключевые слова:** *динамика роторов, косилка окашивающая, штамп дерева, терраса.*

*Terracing allows you to develop slopes for fruit plantations, which are not suitable for agriculture at all, which is important in the conditions of limited land use areas of the North Caucasus. The only exceptions are slopes where the construction of terraces is doubtful from the point of view of economic efficiency or technically difficult to implement. The steeper the slopes, the higher the height of excavation and embankment slopes increases, the smaller the length of terraces per unit area and the lower the profitability.*

*The mower designs currently used in horticulture require the unit to pass along each side of the row line in order to completely remove vegetation from the trunk strip, which is not possible in a terraced garden.*

*To improve significantly the reliability of the mower for terraced gardening, it is necessary to ensure the dynamic stability of rotating components and parts. Dynamic loads from rotating components significantly reduce the durability of the shaft supports and, being transmitted along the power chain, contribute to the destruction of critical connection nodes, as well as the rotating parts and nodes themselves are destroyed.*

*The design and technological scheme of the mower for the care of the trunk strips of fruit plantations of an intensive garden is justified. A mathematical model for calculating the dynamics of rotating components and parts of the proposed mower has been developed.*

*Theoretically, the regularities of the influence of design parameters on the quality of the technological process of mowing vegetation in the zone of the trunk circle are established.*

**Егожев Артур Мухамедович –**

доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Тел.: 8 903 492 03 45

E-mail: [artyr-egozhev@yandex.ru](mailto:artyr-egozhev@yandex.ru)

**Полищук Евгений Александрович –**

старший преподаватель кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Тел.: 8 928 080 90 06

E-mail: [polishuk.kbr@mail.ru](mailto:polishuk.kbr@mail.ru)

**Егожев Аскер Артурович –**

аспирант, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

**Egozhev Artur Mukhamedovich –**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Тел.: 8 903 492 03 45

E-mail: [artyr-egozhev@yandex.ru](mailto:artyr-egozhev@yandex.ru)

**Polishchuk Evgeny Aleksandrovich –**

Senior Lecturer of the Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Тел.: 8 928 080 90 06

E-mail: [polishuk.kbr@mail.ru](mailto:polishuk.kbr@mail.ru)

**Egozhev Asker Arturovich –**

post-graduate student, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

---

**Введение.** Террасирование позволяет осваивать под плодовые насаждения склоны, которые без этого мероприятия вообще не пригодны для земледелия, что немаловажно в условиях ограниченных для землепользования площадей Северного Кавказа. Исключение могут составлять лишь склоны, на которых строительство террас сомнительно с точки зрения экономической эффективности или технически трудно осуществимо. Чем круче склоны, тем более нарастает высота выемочных и насыпных откосов, тем меньше протяженность террас на единицу площади и тем ниже рентабельность.

На террасах по сравнению с не террасированными склонами лучше складывается водно-пищевой режим в почве для плодовых насаждений и произрастающих на полотно террас растений.

На террасах улучшается термический режим, среднесуточная температура воздуха на террасах на 0,5-0,6<sup>0</sup>С выше, чем на не террасированных склонах.

Для существенного повышения эффективности использования косилки необходимо обеспечить динамическую устойчивость вращающихся узлов и деталей. Динамические нагрузки от вращающихся узлов существенно уменьшают долговечность опор валов и, передаваясь по

силовой цепи, способствуют разрушению ответственных узлов соединения, также разрушаются и сами вращающиеся детали.

Применяемым в настоящее время в садоводстве конструкциям косилок, для полного удаления растительности с приствольной полосы требуется проход агрегата вдоль каждой из сторон линии ряда, что невозможно обеспечить в условиях террасного садоводства [1].

Следовательно, разработка новой конструкции косилки с оптимальными динамическими параметрами, для скашивания растительности в приствольной полосе, а также в зоне приствольного круга, обеспечивающая повышение плодородия почв на склоновых землях является актуальной задачей, для условий горного и предгорного садоводства.

**Результаты исследования.** Нами предложена математическая модель расчета динамики узлов и деталей конструкции косилки для полного окашивания штамбов плодовых деревьев интенсивного сада за один проход агрегата.

Новизна технического решения предложенной окашивающей косилки подтверждена патентами РФ на полезные модели [2, 3].

Стабильность выполнения технологического процесса скашивания растительности в зоне приствольного круга

обеспечивается только при условии неотрывности отбойных колес от поверхности штамба дерева, тогда значение нормальной реакции штамба дерева в течение всего времени выполнения технологического процесса должно быть больше нуля ( $N > 0$ ) [4] (рис. 1).

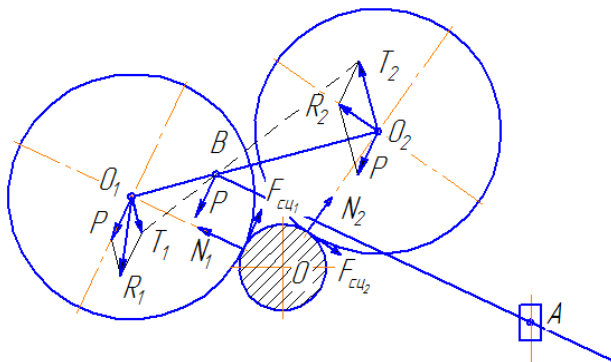
Тогда с учетом условия неотрывности отбойных колес, значение нормальной реакции штамба дерева должно лежать в пределах:

$$N_{min} \leq N \leq N_{max},$$

где:

$N_{min}$  – минимальное значение нормальной реакции штамба дерева, необходимое для обеспечения перекачивания отбойных колес по штамбу дерева, Н;

$N_{max}$  – максимальное значение нормальной реакции штамба дерева.



**Рисунок 1** – Расчетная схема взаимодействия отбойных колес со штаблом дерева

В процессе перемещения отбойных колес по штабму дерева сила давления  $R_i$  каждого из них на штабм дерева изменяется в зависимости от положения механизма и будет определяться по выражению [5]:

$$R_i = \sqrt{P + T_i}, \quad (1)$$

где:

$P$  – сила, действующая со стороны упругого элемента поворотного рычага, Н;

$T_i$  – сила, действующая со стороны упругого элемента поворотной планки, Н.

Сила давления  $P$ , действующая со стороны упругого элемента поворотного рычага  $BE$ , может быть определена из уравнения равновесия моментов сил относительно точки  $A$ :

$$P = \frac{F_{упр1} \cdot l_1 \sin \alpha}{l_2}, \quad (2)$$

где:

$l_1$  – длина отрезка, ограниченного шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой приложения силы  $F_{упр1}$ , м;

$\alpha$  – угол между осями рычага  $AE$  и пружины, град;

$l_2$  – длина звена  $AB$ , отрезка, ограниченного шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой приложения силы  $P$ , м.

На штабм дерева действуют следующие силы: силы давления  $R_1, R_2$ , нормальные реакции  $N_1, N_2$ , силы сцепления  $F_{cu1}, F_{cu2}$ .

Общая принципиальная схема механизма представлена на рисунке 2.

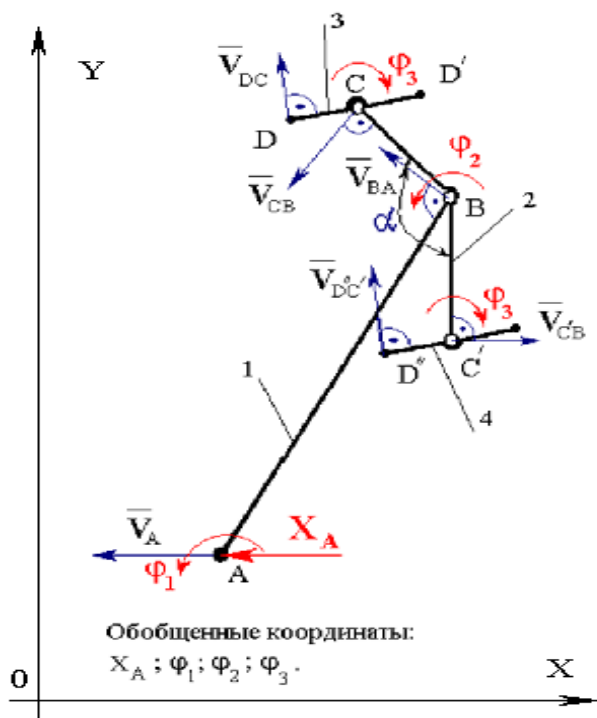
Модель косилки может быть представлена в виде механической системы, состоящей из четырех подвижных звеньев:

- звено 1, неподвижно прикрепленное к корпусу движущегося прямолинейно трактора, может совершать вращательное движение в горизонтальной плоскости (параллельно поверхности земли) относительно точки  $A$ ;

- звено 2, шарнирно (в точке  $B$ ) соединенное со звеном 1, совершает вместе с ним поступательное движение и вращательное относительно точки  $B$ ;

- звено 3, шарнирно (в точке  $C$ ) соединенное со звеном 2, совершает вместе с ним поступательное движение и вращательное относительно точки  $C$ .

- звено 4, шарнирно (в точке  $C'$ ) соединенное со звеном 2, совершает вместе с ним поступательное движение и вращательное относительно точки  $C'$ .



**Рисунок 2** – Структурная схема окашивающей косилки

Положение звена 3 (нож косилки) в любой момент времени определяется четырьмя независимыми параметрами: координатами  $x$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ .

Данная механическая система, подчиненная идеальным, удерживающим и голономным связям, имеет четыре степени

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_A} \right) - \frac{\partial T}{\partial X_A} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \ddot{X}_A + (m_2 + m_3) \cdot BA \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \cdot \sin \varphi_1) + m_3 \cdot K_1 = Q \quad (7)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = \left( \frac{m_1}{12} + m_2 + m_3 \right) \cdot \ddot{\varphi}_1 \cdot BA^2 + (m_2 + m_3) \cdot BA \cdot (\ddot{X}_A \cdot \cos \varphi_1 - \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin \varphi_1) + m_3 \cdot K_2 = Q_1 \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = (m_2 + m_3) \cdot \ddot{\varphi}_2 \cdot BC^2 + m_3 \cdot K_3 = Q_2 \quad (9)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = \frac{m_3 \cdot CD^2 \cdot \ddot{\varphi}_3}{3} = Q_3 \quad (10)$$

Обобщенные силы  $Q$  определим, задавая возможные и независимые друг от друга элементарные перемещения  $\delta q_i$  по каждой координате  $\delta x_A$ ,  $\delta \varphi_1$ ,  $\delta \varphi_2$ ,  $\delta \varphi_3$ . Сообщим системе последовательно элементарные перемещения  $\delta x_A \neq 0$  при  $\delta \varphi_i = 0$  и  $\delta \varphi_i \neq 0$  при  $\delta x_A = 0$ , соответственно. В случаях а) и б) при контакте отбойного колеса со штамбом дерева  $N = R$  т.е. максимальные значения

свободы и для нее составим четыре уравнения Лагранжа в следующем виде [5]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{X}_A} \right) - \left( \frac{\partial T}{\partial X_A} \right) = Q \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) - \left( \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} \right) = Q_1 \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) - \left( \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} \right) = Q_2 \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) - \left( \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} \right) = Q_3, \quad (6)$$

где:

$X_A$ ,  $\varphi_{1-3}$  – обобщенные координаты системы;

$\dot{X}_A$ ,  $\dot{\varphi}_{1-3}$  – производные по времени от обобщенных координат (обобщенные скорости);

$T$  – кинетическая энергия системы, выраженная через обобщенные координаты и обобщенные скорости;

$Q$ ,  $Q_{1-3}$  – обобщенные силы.

Выражения, представляющие собой математическую модель, получим в форме уравнений Лагранжа II-го рода для механических систем с четырьмя степенями свободы, в общем виде описывающую их закон движения в зависимости от положений звеньев и соответствующих основных кинематических параметров:

обобщенных сил  $Q$  и  $Q_1$  равны нормальному давлению (рис. 3).

В случае с) при контакте отбойного колеса со штамбом дерева  $N = R + F_{упр}$  и максимальное значение обобщенной силы  $Q_2 = R + F_{упр}$ .

$F_{упр} = C \cdot \Delta S$  – суммарная (приведенная) сила упругости пружин, установленных на механизме. В случае d) контакта отбойного колеса со штамбом дерева не будет и

максимальное значение обобщенной силы  $Q_3 = M$ , которая приводится к силе  $F_{рез.}$  сопротивления резанию травы вокруг штамба дерева.

Для практического использования полученной системы дифференциальных уравнений (7-10) необходимо определить числовые значения коэффициентов  $K_{1-3}$  экспериментальным путём.

**Выводы.** 1. Обоснована конструктивно-технологическая схема косилки для ухода за приствольными полосами плодовых насаждений интенсивного сада.

2. Разработана математическая модель расчета динамики вращающихся узлов и деталей предложенной косилки.

3. Теоретически установлены закономерности влияния конструктивных параметров на качество выполнения технологического процесса скашивания растительности в зоне приствольного круга.

4. Предлагаемая методика расчета может быть использована в практике проектирования машин для приствольной обработки штамбов плодовых деревьев.

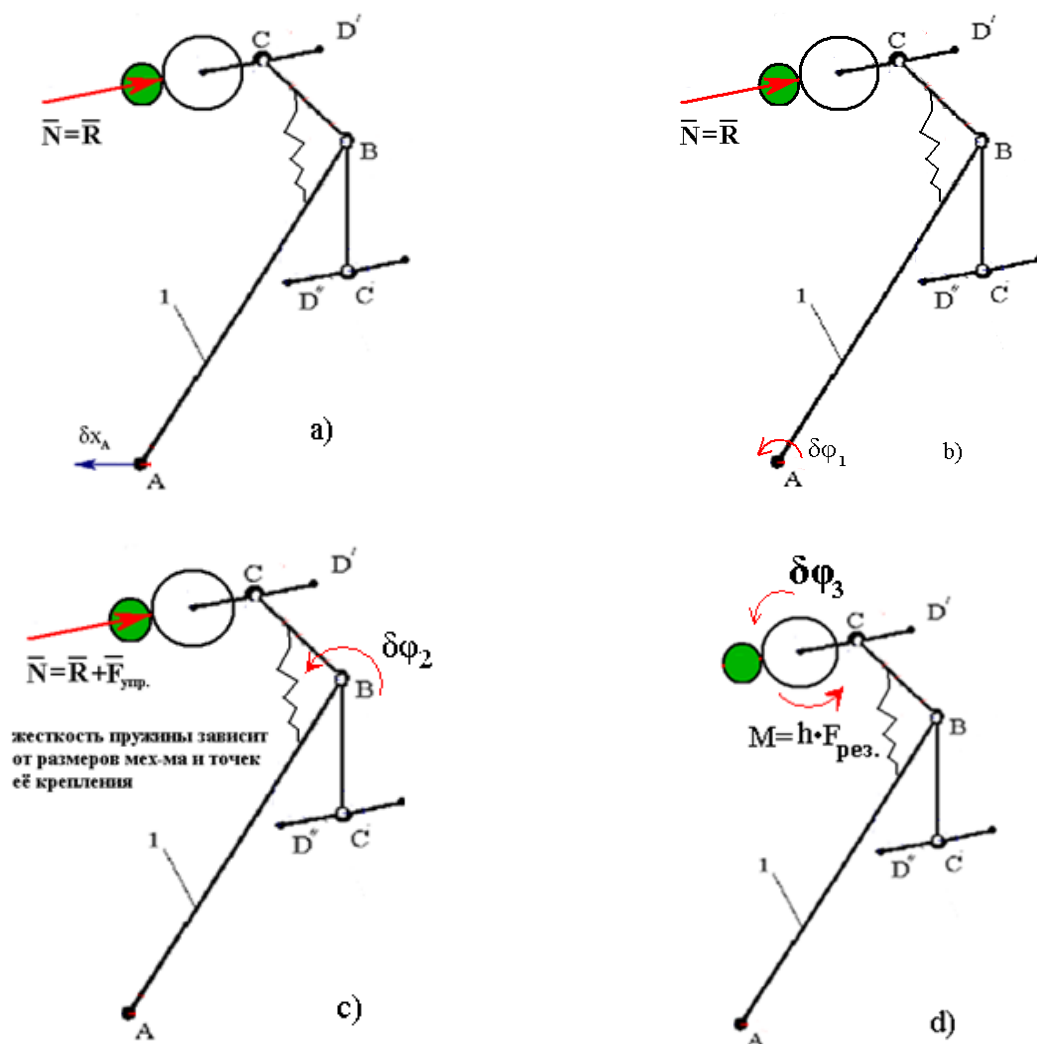


Рисунок 3 – Расчетная схема к определению обобщенных сил  $Q_i$

### Литература

1. Шомахов Л.А., Егожев А.М., Апажев А.К., Полищук Е.А., Егожев А.А. Садовая косилка // Сельский механизатор. – 2017. – № 2. – С. 10-11.
2. Пат. 170119 Российская Федерация А01D34/84. Косилка окашивающая / Л.А. Шомахов, Е.А. Полищук, А.К. Апажев, А.М.

- Егожев, Ю.А. Шекихачев, А.А. Егожев // ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова». – Заявл. 17.01.2017. Опубл. 14.04.2017. Бюлл. № 11.
3. Патент на полезную модель №192794 «Окашивающая косилка» / А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев. ФГОУ ВО «Кабардино-Балкарский

государственный аграрный университет имени В.М. Кокова». – Заявл. 17.06.2019, опубл. 01.10.2019, Бюл. № 28.

### References

1. *Shomahov L.A., Egozhev A.M., Apazhev A.K., Polishchuk E.A., Egozhev A.A.* Sadovaya kosilka // Sel'skij mekhanizator. – 2017. – № 2. – S. 10-11.

2. Pat. 170119 Rossijskaya Federaciya A01D34/84. Kosilka okashivayushchaya / L.A. Shomahov, E.A. Polishchuk, A.K. Apazhev, A.M. Egozhev, Yu.A. Shekihachev, A.A. Egozhev // FGBOU VO «Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.M. Kokova». – Zayavl. 17.01.2017. Opubl. 14.04.2017. Byull. № 11.

3. Patent na poleznuyu model' №192794 «Okashivayushchaya kosilka» / A.M. Egozhev, A.K. Apazhev, E.A. Polishchuk, A.A. Egozhev. FGOU VO «Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.M. Kokova». – Zayavl. 17.06.2019, opubl. 01.10.2019, Byul. № 28.

4. *Варламов Г.П.* Машины для уборки фруктов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.

5. *Яблонский А.А., Никифорова В.М.* Курс теоретической механики: учебное пособие для ВТУЗов. – М.: Высшая школа, 1976.

4. *Varlamov G.P.* Mashiny dlya uborki fruktov. – М.: Mashinostroenie, 1978. – 216 s.

5. *Yablonskij A.A., Nikiforova V.M.* Kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebnoe posobie dlya VTUZov. – М.: Vysshaya shkola, 1976.

