

Обоснование рабочих процессов гидропривода ротационной машины для уничтожения поросли на вырубках

П. Э. Гончаров¹
С. В. Пономарев

Воронежская государственная лесотехническая академия

АННОТАЦИЯ

Описаны результаты теоретических исследований динамики машины с гидроприводом рабочих органов бойкового типа для уничтожения нежелательной поросли на нераскорчеванных вырубках при лесовосстановлении.

Ключевые слова: лесовосстановление, гидропривод, фреза.

SUMMARY

This article is about results of theoretical researches of dynamics of the machine with a hydraulic drive of actions of chain type for destruction of a shoots on cuttings down at rearforestation.

Keywords: forest recover, hydraulic drive, the milling machine.

В настоящее время в лесном хозяйстве в зависимости от состояния земель, заросших кустарником, лесных вырубках, болот, применяются следующие способы уничтожения поросли при лесовосстановлении: 1) корчевателями-собираателями; 2) кусторезами; 3) фрезами; 4) специальными плугами; 5) многофункциональными агрегатами; 6) обработкой химическими веществами; 7) использованием электрической энергии. Анализ существующих разработок показывает низкую эффективность орудий, срезающих или подгибающих стволы порослевин, из-за невозможности подавления способности корней давать новые отпрыски. Большинство орудий, действующих не только на надземную часть, но и на корни, с одновременной обработкой почвы, в малой степени отвечают условиям нераскорчеванных вырубков. Такие орудия содержат элементы, неспособные эффективно преодолевать препятствия в виде пней и корней, будь то выкопчные скобы, запашные плуги или неподвижные плоские ножи.

Исходя из вышеперечисленных недостатков существующих орудий предлагается конструкция нового устройства бойкового типа для уничтожения поросли.

Рабочий орган орудия представляет собой барабан с закрепленными на нем гибкими связями с бойками (рис.1, 2). Вращение на барабан передается от гидромотора через цилиндрический редуктор.

Данное орудие предлагается применять на нераскорчеванных вырубках для уничтожения поросли, а также для предотвращения возобновления ее роста путем сбивания с корневой системы спящих почек. Общее устройство и работа агрегата заключается в следующем: при движении орудия рабочий орган бойками 7, прикрепленными гибкими связями 6 к барабану 5, фрезерует почву на глубину 4...8 см, а также уничтожает поросль, перерубает мелкие корни, а с крупных сбивает кору вместе с почками, из которых возможно возобновление поросли. Почвенно-растительная масса интенсивно крошится, перемешивается и отбрасывается назад. При этом из-за разных аэродинамических свойств поросли и почвы, основная часть растительных остатков будет оказываться на поверхности почвы, что приведет к их высыханию. Возобновление поросли из кусков корней станет невозможным. Для предотвращения перебрасывания почвы через барабан сверху него установлен кожух 4. В случае встречи с препятствием гибкие связи, непосредственно контактирующие с ним, отклоняются и огибают его, другие в это время не теряют контакт с почвой.

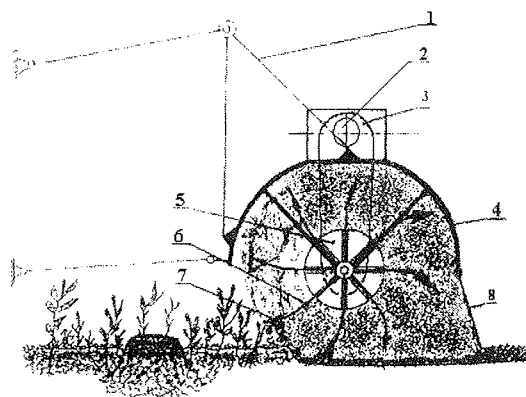


Рис. 1. Орудие для уничтожения поросли малоценных древесных пород: 1 – система навески; 2 – гидромотор; 3 – цилиндрический редуктор; 4 – защитный кожух; 5 – барабан; 6 – гибкая связь; 7 – боек; 8 – решетка

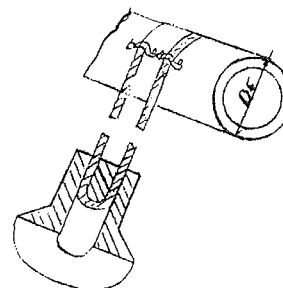


Рис. 2. Схема крепления бойка к барабану

Для описания работы орудия с гибкими рабочими органами используем известное из теоретической

¹ Авторы – соответственно доцент и аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования лесных машин

механики дифференциальное уравнение вращения твердого тела вокруг неподвижной оси [1]:

$$J_{пр} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{дв} - M_{сф}, \quad (1)$$

где $J_{пр}$ – приведенный момент инерции вращающихся масс к валу гидромотора, кг·м²;
 ω – угловая скорость вала гидромотора, с⁻¹;
 $M_{дв}$ – движущий момент, развиваемый гидромотором, Н·м;
 $M_{сф}$ – момент сопротивления срезания поросли и фрезерования почвы, Н·м.

Приведенный момент инерции вращающихся масс к валу гидромотора рассчитываем по формуле:

$$J_{пр} = J_{гид} + J_{д} + \sum J_{б} + \sum J_{к}, \quad (2)$$

где $J_{гид}$ – момент инерции вращающихся элементов гидромотора и цилиндрического редуктора, кг·м²;
 $J_{д}$ – момент инерции барабана, кг·м²;
 $J_{б}$ – момент инерции бойка, кг·м²;
 $J_{к}$ – момент инерции гибкого рабочего органа, кг·м².

Момент, развиваемый гидромотором, вычисляется по формуле:

$$M_{дв} = \frac{\eta_{п} \cdot q_m \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot \eta_0}, \quad (3)$$

где $\eta_{п}$ – полный КПД гидромотора;
 η_0 – объемный КПД гидромотора;
 q_m – удельный объем гидромотора, м³/об;
 p – перепад давлений масла между полостями нагнетания и слива гидромотора, то есть

$$p = p_1 - p_0, \quad (4)$$

где p_1 – давление масла в полости нагнетания гидромотора, МПа;
 p_0 – давление масла в полости слива гидромотора, МПа.

Значения давлений масла можно определить из уравнения постоянства расхода масла, подаваемого в гидромотор от насоса p_1 и p_0 , выходящего из гидромотора на слив [4].

Момент сопротивления срезания поросли и фрезерования почвы определяем по формуле:

$$M_{сф} = P_c^{уд} \cdot R_{ф}, \quad (5)$$

где $P_c^{уд}$ – сила резания при импульсном резании, Н;
 $R_{ф}$ – радиус фрезерования, м.

Из теории импульсного резания, которое наблюдается при скорости резания 20-30 м/с, известно, что усилие импульсного резания можно выразить в виде зависимости [3]:

$$P_c^{уд} = P_{сф} \cdot n, \quad (6)$$

где $P_{сф}$ – сила сопротивления фрезерования при равномерном вращении барабана, Н;
 n – коэффициент динамичности, определяемый опытным путем, $n=1,4-1,6$.

При расчете дисковых рабочих органов могут быть использованы эмпирические зависимости, связывающие усилие подачи P_n , усилие резания P_p и толщину стружки h . Для чашечных резцов:

$$P_n = 9,81 \cdot (45 - 8,4h), \quad (7)$$

где h – толщина стружки.

$$\frac{P_n}{P_p} = 0,560h - 0,0213. \quad (8)$$

Полагая $P_p = P_{сф}$, после преобразования получим:

$$P_{сф} = \frac{9,81(45 - 8,4h)}{0,560h - 0,0213} = \frac{441,45 - 82,404h}{0,560h - 0,0213}. \quad (9)$$

В этом случае формулу (5) можно записать как

$$P_c^{уд} = P_{сф} \cdot n = \frac{441,45 - 82,404h}{0,560h - 0,0213} \cdot n. \quad (10)$$

Сила сопротивления срезанию поросли и фрезерования $P_{сф}$ может быть представлена тангенциальной составляющей P_{τ} , действующей по касательной к окружности барабана, и нормальной составляющей P_n , действующей по радиусу барабана и направленной к его оси вращения (рис. 3) [3].

Точка Д приложения силы сопротивления расположена на дуге резания при повороте барабана на угол φ :

$$\varphi = \frac{1}{3} \alpha_k, \quad (11)$$

где α_k – угол встречи рабочего органа с почвой,

$$\alpha_k = \frac{\pi}{180} \arccos \left(1 - \frac{a}{R_{ф}} \right), \quad (12)$$

где a – глубина фрезерования, см.

Толщину стружки с достаточной точностью можно определить по формуле [2]:

$$h = S \cdot \sin(\alpha_k - \varphi) = S \cdot \sin\left(\frac{2}{3}\alpha_k\right), \quad (13)$$

где S – подача на один боек,
 h – толщина стружки в исследуемом положении бойка.

При числе бойков z в одной плоскости барабана подача S будет равна:

$$S = \frac{2\pi R_\phi}{\lambda z}, \quad (14)$$

где λ – кинематический параметр, равный отношению $\lambda = V_{\text{окр}}/V_{\text{ар}}$.

Тогда толщина стружки h будет

$$h = \frac{2\pi R_\phi}{\lambda z} \cdot \sin \frac{2}{3} \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(1 - \frac{a}{R_\phi} \right) \right]. \quad (15)$$

С учетом формулы (14) формула (10) запишется

$$P_c^{уд} = \left[(441,45 - (164,808\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi))) / \left((1,12\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi)) - 0,0213 \right) \right] \cdot n. \quad (16)$$

Примем, что нормальная сила P_n при гибких рабочих органах бойкового типа составляет незначительную часть тангенциальной P_τ , и в дальнейших расчетах будем ей пренебрегать.

Подставив уравнение (16) в формулу (5), получим момент сопротивления, создаваемый на валу гидромотора от ударных сил резания, при этом полагаем, что в формуле (5) $P_c^{уд} = P_\tau^{уд}$.

$$M_{сф} = \left[(441,45 - (164,808\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi))) / \left((1,12\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi)) - 0,0213 \right) \right] \cdot n \cdot R_\phi. \quad (17)$$

Подставив найденные выражения $M_{дв}$ и $M_{сф}$ в исходное уравнение (1), получим дифференциальное урав-

нение движения гибкого рабочего органа с приводом от гидромотора:

$$J_{пр} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{\eta_{п} q_m p}{2\pi \eta_0} - \left[(441,45 - (164,808\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi))) / \left((1,12\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi)) - 0,0213 \right) \right] \cdot n \cdot R_\phi. \quad (18)$$

Для возможности более полного анализа динамических процессов в гидроприводе фрезерной машины уравнение (18) должно быть дополнено вторым дифференциальным уравнением, которое описывает расход рабочей жидкости [4].

Это уравнение имеет вид:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{K_p} \cdot \left(q_H n_H - q_M \frac{\omega}{2\pi} - a_{y_p} \right), \quad (19)$$

где K_p – коэффициент податливости упругих элементов гидропривода;

q_n – рабочий объем насоса, м³/об;

q_m – рабочий объем гидромотора, м³/об;

n_n – угловая скорость вращения насоса, с⁻¹;

ω – угловая скорость вращения вала гидромотора, с⁻¹;

a_y – коэффициент утечек, м³/(с·Па).

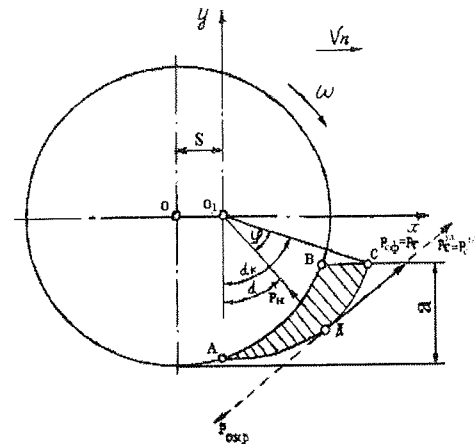


Рис. 3. Схема сил, действующих на рабочий орган машины

При моделировании динамических процессов в рассматриваемом гидроприводе уравнения (18) и (19) рассматриваются совместно как система, то есть:

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = \frac{1}{K_p} \cdot \left(q_n n_n - q_m \frac{\omega}{2\pi} - a_{yP} \right) \\ J_{np} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{\eta_n q_{mP}}{2\pi\eta_0} - \\ - \left[(441,45 - (164,808\pi R_\phi / \lambda z) \cdot \right. \\ \cdot \sin 2/3((\pi/180)\arccos(1 - a/R_\phi))) / \\ / ((1,12\pi R_\phi / \lambda z) \sin 2/3((\pi/180)\arccos \\ (1 - a/R_\phi))) - 0,0213 \cdot n \cdot R_\phi \end{cases} \quad (20)$$

Система (19) представляет собой систему дифференциальных уравнений первого порядка, которая математически описывает динамические процессы в рассматриваемом гидроприводе [4].

После решения данной системы уравнений получим:

$$\begin{aligned} p(t) = e^{-\frac{a_y}{2K_p}t} \cdot \left[\sin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot J_{np} \cdot \pi \cdot \eta_0 \cdot a_y^2 - 4 \cdot K_p \cdot \eta_n \cdot q_n \cdot q_m}}{2 \cdot J_{np} \cdot \pi \cdot \eta_0} \cdot t \right) - \right. \\ \left. - \cos \left(\frac{\sqrt{2 \cdot J_{np} \cdot \pi \cdot \eta_0 \cdot a_y^2 - 4 \cdot K_p \cdot \eta_n \cdot q_n \cdot q_m}}{4 \cdot K_p \cdot \pi} \cdot t \right) \right] + \frac{441,45 - \frac{164,808 \cdot \pi \cdot R_\phi \sin \frac{2}{3}}{\lambda \cdot z}}{\left[\frac{1,12 \cdot \pi \cdot R_\phi \sin \frac{2}{3}}{\lambda \cdot z} \right]} \\ \cdot \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(1 - \frac{a}{R_\phi} \right) \right] \cdot 2 \cdot n \cdot R_\phi \cdot \pi \cdot \eta_0 \\ \cdot \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(1 - \frac{a}{R_\phi} \right) - 0,0213 \right] \cdot \eta_n \cdot q_m \end{aligned} \quad (21)$$

В итоге получили уравнение, характеризующее изменение давления в напорной гидромагистрали как функции времени. Аналогично данная система уравнений решается и относительно угловой скорости.

Математическая модель рабочего процесса машины бойкового типа позволяет определить проектные параметры гидропривода и рабочих органов, а также установить оптимальные режимы срезания поросли и фрезерования почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, В. А. Конструирование и расчет машин и оборудования для лесосечных работ и нижних складов. Учебник / В. А. Александров, Н. Р. Шоль. Ухта: УГТУ, 2002. 244 с.
2. Бартенев И. М. Расчет и проектирование лесохозяйственных машин: Учеб. пособие / И. М. Бартенев. Воронеж, 2001. 262 с.

3. Казаков В. И. Обоснование технологических параметров фрезерования почвы с древесными включениями на нераскорчеванных вырубках: Автореф. ... канд. техн. наук / В. И. Казаков. Воронеж, 1982. 20с.
4. Попиков П. И. Повышение эффективности гидрофицированных машин при лесовосстановлении на вырубках: Монография / П. И. Попиков. Воронеж, 2001. 156 с.