

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШНЕКОРОТОРНОГО ЛЕСОПОЖАРНОГО ГРУНТОМЕТА

Зленко Андрей Викторович

*аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ*

E-mail: 89686763952@mail.ru

SIMULATION OF THE WORKING PROCESS OF A SCREW-ROTOR FOREST FIRE GROUNDERS

Zlenko Andrey Viktorovich

*postgraduate student, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh
State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

E-mail: 89686763952@mail.ru

Аннотация. Представлена математическая модель и результаты решения для обоснования эффективных параметров шнекороторного рабочего органа лесопожарного грунтомета.

Abstract. A mathematical model and solution results are presented to substantiate the effective parameters of the auger working element of a forest fire soil thrower.

Ключевые слова: лесопожарный грунтомет; шнек; гидропривод; метатель; грунт; математическая модель; эффективность; рабочий процесс.

Keywords: forest fire soil thrower; auger; hydraulic drive; thrower; soil; mathematical model; efficiency; work process.

Анализ проведенных исследований показал, что вопросы обоснования параметров конических шнеков для подачи грунтов к роторам- метателям грунтометательных машин изучены недостаточно [1-5]. Поэтому целью исследования является повышение эффективности рабочего процесса шнекороторного лесопожарного грунтомета путем усовершенствования конструкции и обоснования параметров на основе математической модели и ее решения.

Предлагаемый лесопожарный грунтомет с гидроприводом шнекороторного рабочего органа включает (рис. 1): навесное устройство 1; рама 2; опорный каток 3, стойка 4; предохранительные ножи 5, вал шнека 6, шнек 8; лоток с лемехом 7, ротор-метатель 9, кожух 10, гидромотор 11.

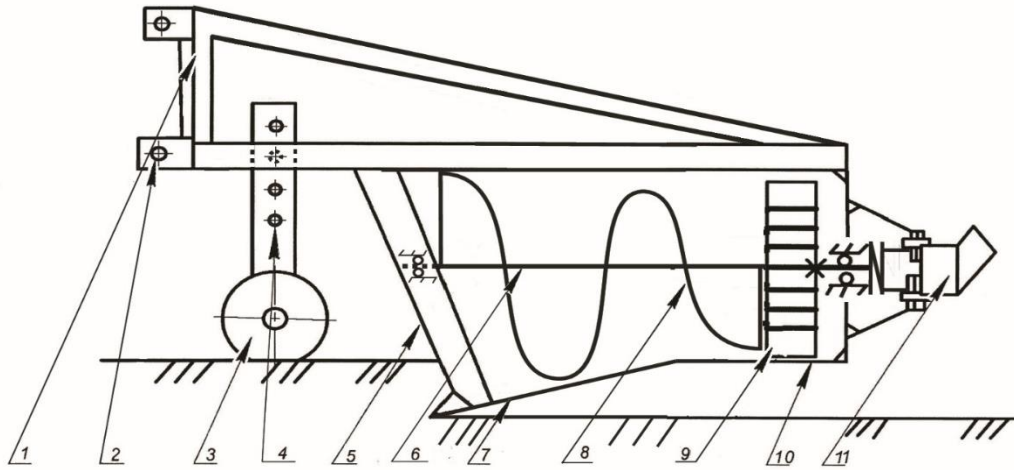


Рисунок 1 - Конструктивно-технологическая схема шнекороторного лесопожарного грунтомета

Нами предлагается математическая модель рабочего процесса шнекороторного лесопожарного грунтомета с учетом параметров нового рабочего органа с приводом от гидромотора, включающая дифференциальные уравнения вращательного движения рабочего органа, расходов рабочей жидкости гидропривода и поступательного движения лесопожарного тракторного агрегата:

$$J_{\text{пр}} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{\eta_n q_m p}{2\pi \eta_0} - \frac{1}{3} \mu_k \frac{d\varphi}{dt} \left(R_{\text{ср}}^3 - (R_{\text{ср}} - h_{\text{мет}})^3 \right) - \left[b h \tau_0 \frac{\cos \beta + 1}{\sin \beta} + \frac{2}{9} b \mu v_0 \left(\sqrt{9 h \tau_0 \mu^{-1} v_0^{-1} + 1} + 1 \right) \cdot \frac{3 \cos \beta + 1}{\sin \beta} + b(\rho - \rho_b) g \frac{h^2}{2} \right] \cdot R_{\text{ср}}, \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{K_p} \left(q_n n_m - \frac{q_m}{\pi} \frac{d\varphi}{dt} - a_y p \right), \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\pi(D_K^2 - d_K^2)}{4ab_c} \cdot \frac{B}{\pi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \rho \cdot K_{\text{ш}}, \quad (3)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный момент инерции вращающихся масс рабочего органа к валу гидромотора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

μ_k – коэффициент, определяемый согласованием элементов шнекороторного метателя;

$h_{\text{мет}}$ – высота выброса грунта из кожуха, м,

μ – вязкость грунта, Пас,

τ – сопротивление грунта сдвигу, Па,

b – ширина резания, м,

β – угол резания, рад,

h – высота ножа, м.

v_0 – скорость резания единичным ножом, м/с,

x – перемещение (путь) трактора грунтометом, м,

a – величина заглубления скобы кожуха рыхлителя, м,

b_c – ширина захвата скобы кожуха разрыхлителя, м,

B – шаг шнека винта в зоне загрузки, м,

$K_{\text{ш}}$ – коэффициент рабочего пространства наполнения шнека.

Остальные параметры ясны из рисунка 1 и общеизвестной литературы.
Для системы уравнений (1)-(3) поставим задачу Коши на промежутке $t \in [0; t_k]$:

$$\begin{aligned}\varphi(0) &= \varphi_0, \varphi'(0) = \varphi_1, \\ p(0) &= p_0, \\ x(0) &= x_0.\end{aligned}\tag{4}$$

Для краткости введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned}B_{11} &= -\frac{1}{3}\mu_k(R_i^3 - (R_i - h_{\text{мет}})^3), \\ B_{21} &= -\frac{q_m}{K_p\pi}, \\ B_{31} &= \frac{\pi(D_k^2 - d_k^2)}{4ab_c} \cdot \frac{B}{\pi} \cdot \rho \cdot K_{\text{ш}}, \\ C_{12} &= \frac{\eta_n q_m}{2\pi\eta_0}, C_{22} = -\frac{a_y}{K_p}, \\ f_1 &= -\left[bh\tau_0 \frac{\cos\beta+1}{\sin\beta} + \frac{2}{9}b\mu v_0(\sqrt{9h\tau_0\mu^{-1}v_0^{-1}+1}+1) \cdot \frac{3\cos\beta+1}{\sin\beta} + b(\rho - \rho_b)g\frac{h^2}{2} \right] \cdot \\ R_{\text{ср}}, \quad (5) \\ f_2 &= \frac{q_n n_m}{K_p}\end{aligned}$$

система (1)-(3) примет вид

$$\begin{aligned}J_{\text{пп}} \frac{d^2\varphi}{dt^2} &= B_{11} \frac{d\varphi}{dt} + C_{12}p(t) + f_1, \\ 0 &= B_{21} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{dp}{dt} + f_2, \\ 0 &= B_{31} \frac{d\varphi}{dt} - \frac{dx}{dt}.\end{aligned}$$

Запишем задачу (1)-(3), (4) в виде

$$\begin{aligned}\mathcal{A} \frac{d^2 y}{dt^2} &= \mathcal{B} \frac{dy}{dt} + \mathcal{C}y(t) + f \\ y(0) &= y_0, \frac{dy}{dt}(0) = y_1\end{aligned}$$

с операторами

$$\begin{aligned}\mathcal{A} &= \begin{pmatrix} J_{\text{пп}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \mathcal{B} = \begin{pmatrix} B_{11} & 0 & 0 \\ B_{21} & -1 & 0 \\ B_{31} & 0 & -1 \end{pmatrix}, \\ \mathcal{C} &= \begin{pmatrix} 0 & C_{12} & 0 \\ 0 & C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},\end{aligned}$$

искомой вектор-функцией

$$y(t) = \begin{pmatrix} \varphi(t) \\ p(t) \\ x(t) \end{pmatrix},$$

и векторами

$$f = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ 0 \end{pmatrix}, y_0 = \begin{pmatrix} \varphi_0 \\ p_0 \\ x_0 \end{pmatrix}, y_1 = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ p_1 \\ x_1 \end{pmatrix}.\tag{6}$$

Значения координат вектора y_0 и координаты φ_1 заданы в начальных условиях (4). Значения координат p_1 , x_1 мы найдем далее. В результате решения математической модели получены окончательные выражения для искомых функций в виде частичных сумм степенных рядов. После подстановки численных значений параметров получены аналитические выражения для определения угла поворота шнекороторного рабочего органа $\varphi(t)$, давления рабочей жидкости в гидроприводе шнекороторного рабочего органа $p(t)$ и функции движения агрегата $x(t)$ на отрезке $t \in [0; 2]$, имеющие вид:

$$\varphi(t) \approx 1.72 \cdot t^4 + 5.14 \cdot 10^{-3} t^3 - 5.56 t^2, \quad (7)$$

$$p(t) \approx 1.26 \cdot 10^{32} t^4 - 3.83 \cdot 10^{26} t^3 + 8.71 \cdot 10^{20} t^2 + 2.76 \cdot 10^{13} t \quad (8)$$

$$x(t) \approx 1.94 \cdot 10^{17} t^4 + 5.79 \cdot 10^{14} t^3 - 6.27 \cdot 10^{17} t^2. \quad (9)$$

С помощью программы ЭВМ получены предварительные графики функций угла поворота шнекороторного метателя, давления рабочей жидкости в гидроприводе и пути движения лесопожарного агрегата.

Таким образом, для повышения эффективности профилактики и тушения лесных низовых пожаров предложен новый шнекороторный лесопожарный грунтомет, разработана и решена математическая модель рабочего процесса грунтомета, получены аналитические выражения для определения угла поворота ротора, давления рабочей жидкости в гидроприводе и перемещения агрегата, по которым можно установить оптимальные значения этих параметров.

Список литературы

1. Определение рационального количества витков шнекового смесителя с активным каналом обратного хода / С. М. Ведищев, А. И. Завражнов, А. В. Прохоров, А. А. Кжияхметова // Наука в центральной России. 2022;3 (57). — С. 14-23. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48728600>.
2. Экспериментальные результаты установленных шнеков перед ковшом планировщика / И. С. Хасанов, П. Г. Хикматов, Х. Х. Олимов, Н. В. Януков, А. И. Камилов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. — 2021. — № 23. — С. 715-719.
3. Абрамов, О. В. Перспективная конструкция снегоочистителя / О. В. Абрамов, И. Н. Абрамова, В. В. Лазукин // Актуальные проблемы науки и техники : Сборник трудов по материалам IX Международного конкурса научно-исследовательских работ. — Уфа: ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2022. — С. 21-26.
4. Поздняков, А. К. Обзор кинематических и динамических характеристик шнекового рабочего органа грунтомета-полосопрокладывателя на виртуальном стенде в лесных условиях / А. К. Поздняков // Механика и машиностроение. Наука и практика. Материалы международной научно-практической конференции. — Санкт-Петербург, 2022. — С. 111-112.
5. Gnusov, M. A. Theoretical study of forest fire extinguishing machine use / M. A. Gnusov, M. V. Drapalyuk, D. Yu. Druchinin // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnodar, March 04, 2020 / Krasnodar Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 1515. — Krasnodar, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. — P. 52066. — DOI 10.1088/1742-6596/1515/5/052066.

References

1. Vedischev, S. M., Zavrazhnov, A. I., Prokhorov, A. V., Kzhiyakhmetova, A. A. Determination of the rational number of turns of the screw mixer with an active back channel // Science in Central Russia. 2022; 3 (57). P. 14-23. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48728600>
2. Khasanov, I. S., Hikmatov, P. G., Olimov, H. H., Yanukov, N. V., Kamilov, A. I. Experimental results of the installed augers in front of the planer bucket // Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. 2021. № 23. P. 715-719.
3. Abramov, O. V., Abramova, I. N., Lazukin, V. V. Perspective design of a snowplough // Actual problems of science and technology. Collection of works on the materials of IX International competition of research works. Ufa: FGKVOU VO 'Military training and research centre of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", 2022. P. 21-26.
4. Pozdnyakov, A. K. Review of the kinematic and dynamic characteristics of the auger working body of a soil-metal striping machine on a virtual stand in the forest conditions // Mechanics and Engineering. Science and practice. Materials of the international scientific-practical conference. Saint-Petersburg, 2022. P. 111-112.
5. Gnusov, M. A., Drapalyuk M. V., Druchinin D. Yu. Theoretical study of forest fire extinguishing machine use // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnodar, March 04, 2020 / Krasnodar Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 1515. – Krasnodar, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52066. – DOI 10.1088/1742-6596/1515/5/052066.