

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Попикова Алина Викторовна

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

E-mail: poalinka@mail.ru

RESULTS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF DYNAMIC LOADING OF THE LIFTING MECHANISM OF THE FORESTRY MANIPULATOR

Popikova Alina Viktorovna

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

Аннотация. Проведен анализ литературных источников. Предложен новый грузоподъемный механизм гидроманипулятора с подключением демпфера для снижения динамических нагрузок. Разработана и решена математическая модель рабочего процесса гидроманипулятора. Проведены экспериментальные исследования динамики гидропривода манипулятора, результаты которых подтверждают адекватность математической модели.

Abstract. The analysis of literary sources is carried out. A new lifting mechanism of the hydraulic manipulator with the connection of a damper to reduce dynamic loads is proposed. A mathematical model of the hydraulic manipulator workflow has been developed and solved. Experimental studies of the dynamics of the manipulator hydraulic drive were carried out, the results of which confirmed the adequacy of the mathematical model.

Ключевые слова: лесотранспортная машина, гидроманипулятор, механизм подъема стрелы; математическая модель, демпфер.

Keywords: forestry machine; hydraulic manipulator; boom lifting mechanism; mathematical model, damper.

Предприятия лесного комплекса РФ осуществляют поэтапный переход на механизированный способ заготовки сортиментов. Для его реализации активно внедряются отечественные многооперационные манипуляторные машины (харвестер МЛХ-414 и форвардеры МЛПТ-354, МЛ-131М, автосортиментовозы ЛВ-185-14 и др.). В процессе эксплуатации многооперационных машин проявилась проблема недостаточной надежности металлоконструкций и элементов гидропривода их манипуляторов. Анализ статистики отказов манипуляторов показал, что на долю металлоконструкций приходится 40%, а на элемент гидропривода 32% от общего числа отказов.

Для исследования процесса погрузочно-разгрузочных работ манипулятора сортиментовоза (рис. 1) [2] с учетом подключения в гидропривод механизма подъема стрелы дополнительного демпфера, защищенный патентом на изобретение [1] (рис. 2), составлены расчетные схемы механизма подъема стрелы (рис. 3) и демпфера (рис. 4).



Рисунок 1. Сортиментовоз с манипулятором ЛВ-185-14

Нами предлагается новый гидропривод грузоподъемного механизма с демпфирующим устройством, гасящий всплески давления при остановках стрелы в промежуточных положениях, получен патент на изобретение № 2789167 от 19.07.2022 г. Новизна технического решения заключается в том, что гидропривод грузоподъемного механизма лесного манипулятора, включающий насос, гидрораспределитель, гидроцилиндр привода грузоподъемной стрелы, дополнительный демпфер, согласно изобретению, плунжер дополнительного демпфера выполнен пустотелым и подпружинен с двух сторон, корпус демпфера снабжен резьбовыми пробками, выполненными заодно с обратными клапанами, регулировочными шайбами для регулирования объема полостей демпфера, которые сообщены с полостями гидроцилиндра привода грузоподъемной стрелы через регулируемые дроссели, встроенные в корпус демпфера.

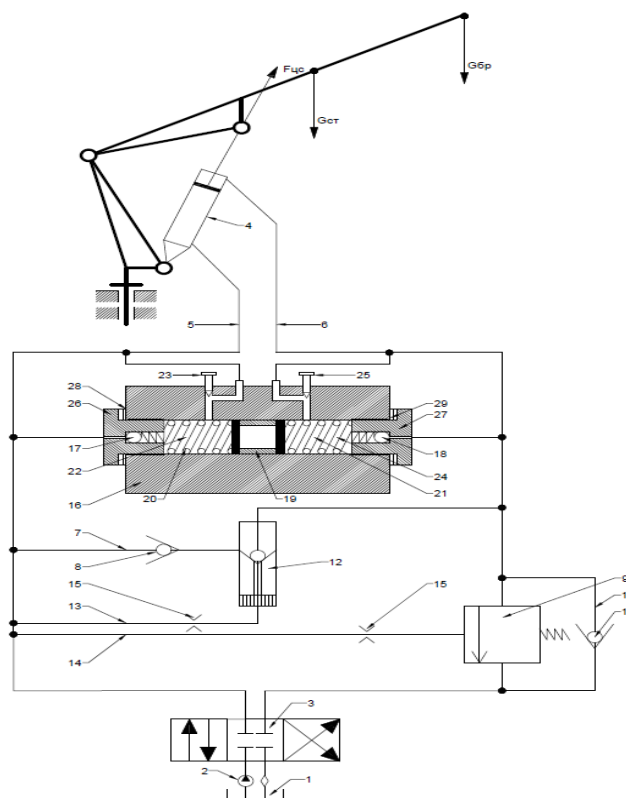


Рисунок 2. Гидрокинематическая схема механизма подъема манипулятора с дополнительным демпфером (патент на изобретение № 2789167)

На рис. 2 представлена схема гидропривода грузоподъемного механизма. Гидропривод состоит из маслобака 1, насоса 2, гидрораспределителя 3, гидроцилиндра 4,

привода грузоподъемной стрелы с подводящим 5 и отводящим 6 трубопроводами, соединенными между собой трубопроводом 7, в который подключен обратный клапан 8. В отводящий трубопровод установлен управляемый клапан 9, параллельно которому подключен трубопровод 10 с обратным клапаном 11, а в трубопровод 7 дополнительно подключен нормально закрытый управляемый клапан 12 с линией управления 13. Управляемый клапан 9 снабжен линией управления 14. В линиях управления 13 и 14 установлены дроссельные демпферы 15. К подводящему и отводящему трубопроводам подключен дополнительный демпфер 16, через обратные клапаны 17 и 18, в корпусе которого размещен пустотелый плунжер 19, подпружиненный с двух концов пружинами сжатия 20 и 21. Левая полость 22 демпфера соединяется с гидролинией 5 через канал и регулируемый дроссель 23, а правая полость 24 демпфера соединена с гидролинией 6 через канал и регулируемый дроссель 25. В корпусе 16 установлены резьбовые пробки 26 и 27 с регулировочными шайбами 28 и 29.

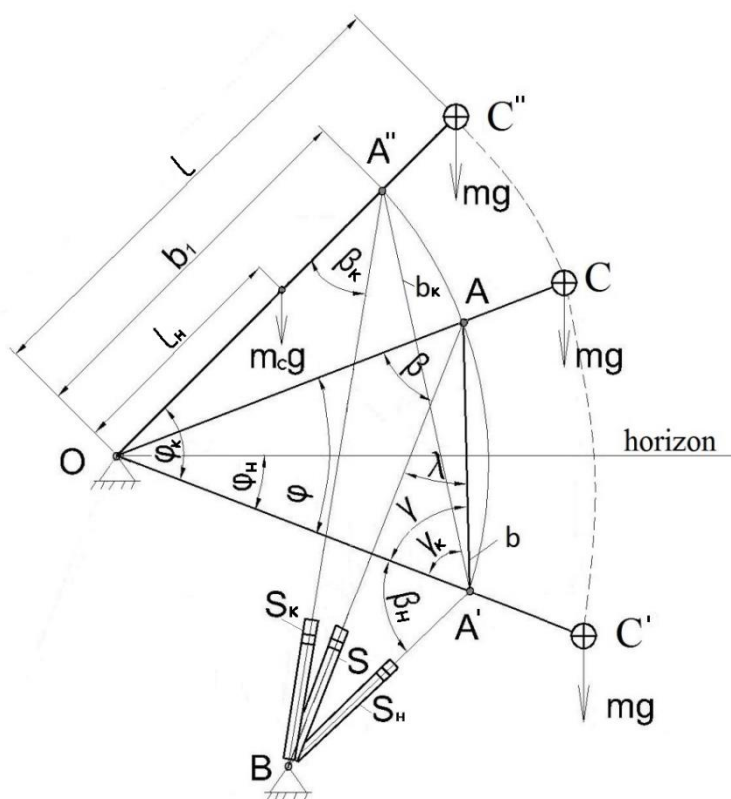


Рисунок 3. Расчетная схема механизма подъёма стрелы манипулятора

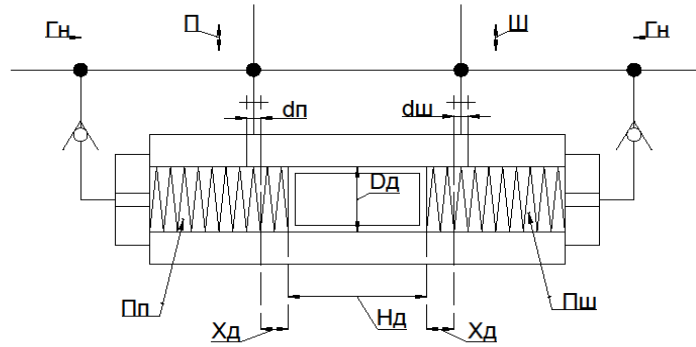


Рисунок 4. Расчетная схема демпфера

Математическая модель грузоподъемного механизма лесного манипулятора с гидромеханическим демпфером с учетом жесткости металлоконструкции стрелы и гидропривода описана системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\left\{ \begin{array}{l} (J_{\text{бп}} + J_c) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin \beta}{4} p - (G_{\text{бп}} L + G_c l_n) \cos \varphi - \frac{G_{\text{бп}} C_{\text{ст}} (L - b_1)^4 \cos \varphi}{3 E J}, \\ q_n n_n = \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin \beta}{4} \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \mu \frac{\pi d_n^2}{4} \sqrt{\frac{2p}{\rho}} + a_y p + \frac{1}{C_\Gamma} \cdot \frac{dp}{dt}, \\ \frac{d^2 x_d}{dt^2} = \frac{1}{m_d} \left(p \frac{\pi D_d^2}{4} - c_n x_d - \frac{dx_d}{dt} k_d \right), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $C_{\text{ст}}$ - жесткость металлоконструкции стрелы, Н/м;

E - модуль упругости стрелы, Н/см²;

J - момент инерции поперечного сечения стрелы, м⁴.

Для системы (1) ставится краевая задача на отрезке $[0; t_k]$:

$$\left\{ \begin{array}{l} p(0) = p_n, \\ \varphi(0) = \varphi_n, \varphi(t_k) = \varphi_k, \\ x_d(0) = x_{дн}, x_d(t_k) = x_{дк}. \end{array} \right. \quad ((2)$$

Решение задачи поставленной задачи найдем, разложив функции в ряд Маклорена, ограничившись второй степенью переменной t для $p(t)$ и $x_d(t)$ и первой степенью t для $\varphi(t)$. Вычисления приводят к следующему конечным формулам для определения переменных параметров математической модели:

$$p(t) \approx p(0) + tp'(0) + \frac{t^2}{2} \cdot$$

$$\begin{aligned} & \left(-C_r a_y p'(0) - \frac{\pi^2 C_r d_c^4 b_1^2 \sin^2 \beta}{16(J_{6p} + J_c)} p(0) \right. \\ & + \frac{\pi d_c^2 b_1 C_r \sin \beta}{4(J_{6p} + J_c)} \left[G_{6p} L + G_c l_n + \frac{G_{6p} C_{ст} (L - b_1)^4}{3EJ} \right] \cos(\varphi(0)) - \frac{\pi \mu C_r d_{дп}^2 \sqrt{2}}{8\sqrt{\rho}} \\ & \cdot \frac{p'(0)}{\sqrt{p(0)}} \Bigg), \\ \varphi(t) & \approx \varphi(0) + t\varphi'(0), (3) \\ x_d(t) & \approx x_d(0) + tx_d'(0) + \frac{t^2}{2} \left(-\frac{k_d}{m_d} x_d'(0) + \frac{\pi d_n^2}{4m_d} p(0) - \frac{c_n}{m_d} x_d(0) \right). \end{aligned}$$

Расчёт был произведён в программе MathCad с использованием метода Рунге-Кутты для решения системы дифференцированных уравнений второго порядка. В результате получен график изменения угла подъема стрелы (рис. 5).

Анализ графика изменения угла подъема стрелы показал, что в начале угол имеет отрицательное значение при подъеме стрелы из крайнего нижнего положения до горизонтального, затем он монотонно возрастает до 26°.

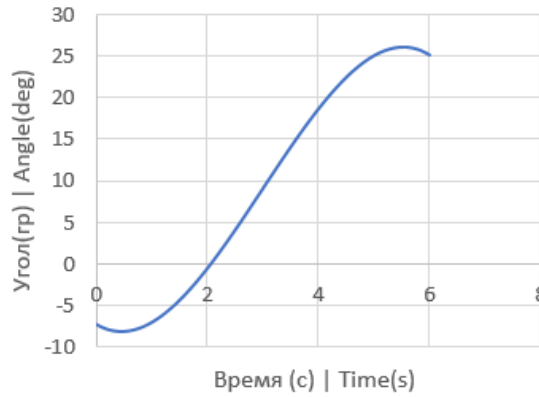


Рисунок 5. График зависимости угла подъёма стрелы φ от времени t

В результате конечного расчёта по методу Рунге-Кутты получен график изменения давления рабочей жидкости в гидроцилиндре подъема стрелы (рис. 6).

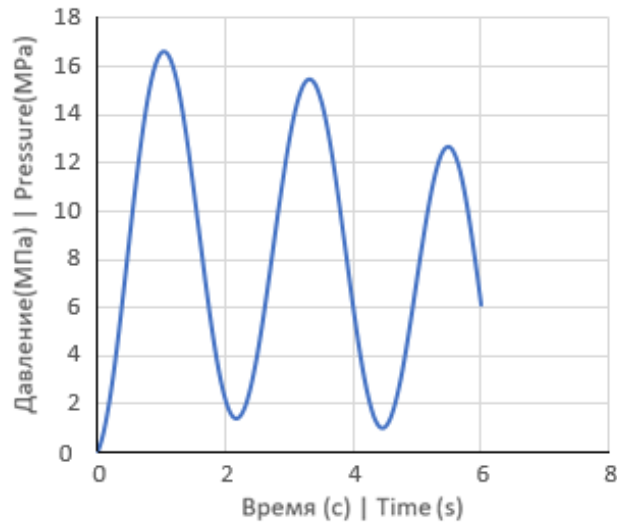


Рисунок 6. График зависимости давления в напорном трубопроводе p от времени t

В результате конечного расчёта по методу Рунге-Кутты получен пример графика зависимости хода плунжера демпфера от времени, представленный на рисунке 7. За время полного хода плунжера обеспечивается перетечка между полостями гидроцилиндра объема жидкости, равного объему деформации упругих элементов гидропривода, и гасится всплеск давления при переходных режимах.

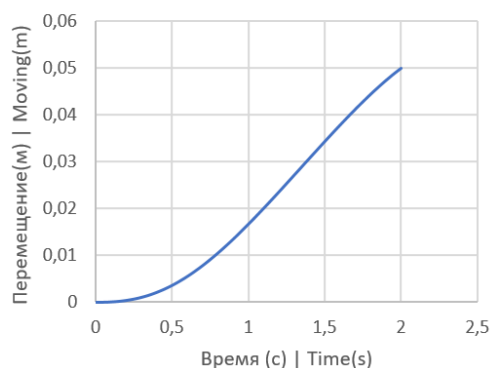


Рисунок 7. График зависимости хода плунжера демпфера x_d от времени t



Рисунок 8. Экспериментальные осциллограммы давления рабочей жидкости в гидроцилиндре подъема стрелы с подключением демпфера

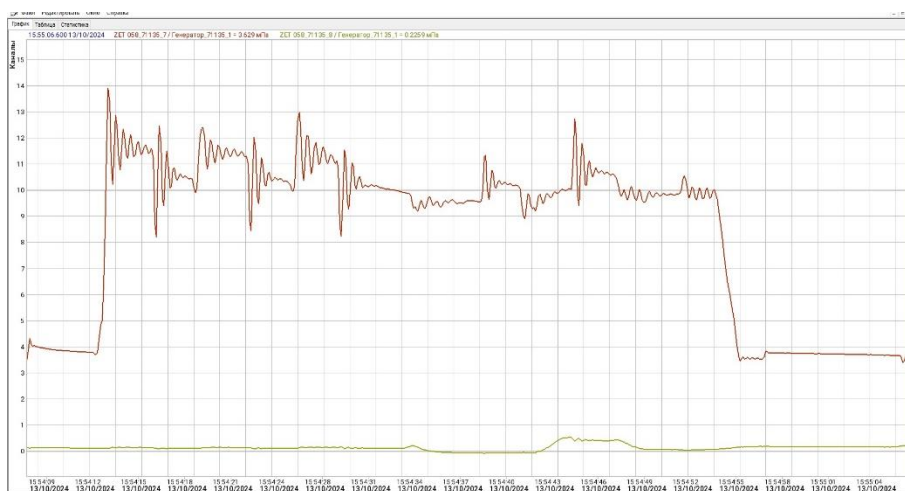


Рисунок 9. Экспериментальные осциллограммы давления рабочей жидкости в гидроцилиндре подъема стрелы без подключения демпфера

Проведенные экспериментальные исследования динамики гидропривода механизма подъема стрелы с подключением дополнительного демпфера и без установили снижение пиков давления при подключении демпфера с 14 МПа до 13 МПа, что способствует повышению надежности металлоконструкции стрелы и ее гидропривода. Полученные результаты представлены на осциллограммах рабочих процессов подъема груза на различную высоту с остановками стрелы в различных положениях с углами подъема через 15° (рис. 8, 9).

Таким образом, анализ литературных источников показал, что вопросы снижения динамической нагруженности и повышения надежности лесотранспортных машин пока остаются актуальными в лесном комплексе нашей страны.

Решение математической модели динамической нагруженности манипулятора позволило получить конечные формулы для определения всплесков давления рабочей жидкости при подъеме и опускании стрелы манипулятора с подключением новой конструкции демпфера. Экспериментальные исследования демонстрируют снижение пиков давления при подключении демпфера на 10 %, что способствует повышению надежности металлоконструкции стрелы и ее гидропривода.

Список литературы

1. Александров В.А., Александров А.В. Моделирование технологических процессов лесных машин: учебник. – Изд. 3-е изд, перераб. – М. : Лань, 2016. – 368 с.
2. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование: монография / под ред. И.М. Бартенева. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2011. – 408 с.
3. Гидропривод грузоподъемного механизма лесного манипулятора: патент на изобретение RU 2789167 C1. Заявка №2022119768 / Попиков П.И., Черных А.С., Богданов Д.С., Попиков С.К., Поздняков Е.В., Попикова А.В.; заявл. 19.07.2022; опубл. 30.01.2023, Бюл. №4. 9 с.

References

1. Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V. Modeling of technological processes of forest machines: textbook. – 3rd edition, revised. – M.: Lan, 2016. - 368 p.
2. Hydromanipulators and forest technological equipment: a monograph / edited by I.M. Bartenev. – M.: FLINTA: Nauka, 2011. - 408 p.
3. Hydraulic drive of the load-lifting mechanism of the forest manipulator: patent for invention RU 2789167 C1. Application №2022119768 / Popikov P.I., Chernykh A.S., Bogdanov D.S., Popikov S.K., Pozdnyakov E.V., Popikova A.V.; avt. 19.07.2022; published 30.01.2023, Bulletin No. 4. 9 p.