

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

Попиков Сергей Константинович

аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

E-mail: sergpopikov@mail.ru

INFLUENCE OF DYNAMIC LOADS ON THE STABILITY OF A MANIPULATOR TYPE TIMBER TRANSPORT MACHINE

Popikov Sergei Konstantinovich

Postgraduate student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. Проведен анализ литературных источников. Представлена математическая модель рабочего процесса гидроманипулятора лесотранспортной машины при работе на уклоне при аварийном сбросе груза.

Abstract. The analysis of literary sources is carried out. A mathematical model of the working process of a hydraulic manipulator of a timber transport machine when working on a slope during an emergency dumping of cargo is presented.

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

Keywords: timber transport machine; hydraulic manipulator; boom lifting mechanism; mathematical model.

Задачи отечественного лесного комплекса невозможно решить без повышения эффективности заготовки древесного сырья с применением лесотранспортных машин манипуляторного типа [2]. Однако при эксплуатации отечественных лесотранспортных машин выявилась проблема недостаточной устойчивости против опрокидывания. Одной из причин потери устойчивости являются высокие динамические нагрузки, возникающие во время переходных процессов, так как оператору сложно обеспечить плавность пуска и торможения технологического оборудования [1]. В ходе анализа профильной литературы и существующих научных публикаций было установлено, что исследований влияния динамической нагруженности на устойчивость лесотранспортных машин манипуляторного типа проведено недостаточно. Поэтому важнейшей задачей является предупреждение высоких динамических нагрузок при погрузочно-разгрузочных работах в процессе сортиментной заготовки древесины при рубках ухода за лесом.

В настоящее время на существующих лесных гидроманипуляторах для снижения динамических нагрузок применяются различные демпферы, дроссели и гасители колебаний давления рабочей жидкости. Однако они малоэффективны, так как снижают динамические нагрузки только в конечных положениях поршней гидроцилиндров.

Для снижения динамической нагруженности предложен механизм подъема стрелы манипулятора с дополнительным демпфером, защищенный патентом на изобретение RU2789167 С1, который гасит всплески давления рабочей жидкости при промежуточных остановках стрелы при погрузочно-разгрузочных работах [3].

Для повышения устойчивости во время погрузочно-разгрузочных работ лесотранспортных машин манипуляторного типа на погрузочных площадках также применяются системы выравнивания с помощью гидравлических опор (аутригеров), однако управление гидроцилиндрами аутригеров производится вручную рукоятками распределителей из-за чего расходуется много времени. Кроме этого, на слабонесущих грунтах возможны внезапные проседания опор аутригеров и возникновение критических ситуаций потери поперечной устойчивости лесотранспортной машины.

Нами предлагается гидросистема механизма автоматической разгрузки захвата при критических углах опрокидывания лесотранспортной машины в поперечной плоскости (рис. 1). При этом предусмотрено два режима работы манипулятора лесотранспортной машины.

Первый режим работы подразумевает незначительное (до 10^0) внезапное отклонение оси опорно-поворотного устройства от вертикального положения, которое может быть вызвано просадкой грунта под одним из аутригеров. В данном случае происходит автоматическое выравнивание опорно-поворотного устройства следующим образом: электрический сигнал с реостатной направляющей 1 отвесного датчика 2 подается в трехпозиционные электромагнитные распределители 8 и 9 гидравлических цилиндров аутригеров 3 и 4.

Второй режим работы подразумевает значительное внезапное отклонение оси опорно-поворотного устройства от вертикального положения, в результате чего может произойти потеря устойчивости и последующее опрокидывание лесотранспортной машины. В этом случае электрический сигнал с реостатной направляющей 1 отвесного датчика 2 подается сначала в трехпозиционный распределитель с электромагнитным управлением 12 гидравлического цилиндра 5 захвата для мгновенного сброса груза. После чего электрический сигнал подается в трехпозиционные распределители с электромагнитным управлением 10 и 11, управляющие гидравлическими цилиндрами 6 и 7 для опускания стрелы и рукояти в нижнее положение до упора в опорную поверхность погрузочной площадки. В процессе сброса груза и опускания стрелы манипулятора демпфер 13 с подпружиненным плунжером гасит колебания давления в гидроцилиндре стрелы и уменьшает динамические нагрузки.

Для исследования процесса погрузочных работ с учетом воздействия сил инерции с дополнительным демпфером разработаны расчетные схемы подъема груза с максимальным вылетом стрелы с учетом наклона опорно-поворотного устройства, вызванного просадкой грунта под правым аутригером в точке А (рис. 1) и расчетная схема демпфера (рис. 2).

Согласно приведенным расчетным схемам разработана математическая модель, включающая дифференциальные уравнения подъема стрелы, расхода рабочей жидкости, движения поршня гидроцилиндра захвата и движения плунжера демпфера. В момент аварийного сброса груза возникает сила упругой деформации стреловой группы, направленная в противоположную сторону, которую при проектных расчетах принимают равной 25% от основной нагрузки. При совмещении рабочих процессов гидроцилиндра подъема стрелы манипулятора и гидроцилиндра захвата в момент мгновенной разгрузки захвата уравнение расходов рабочей жидкости включает расходы гидроцилиндра стрелы и захвата:

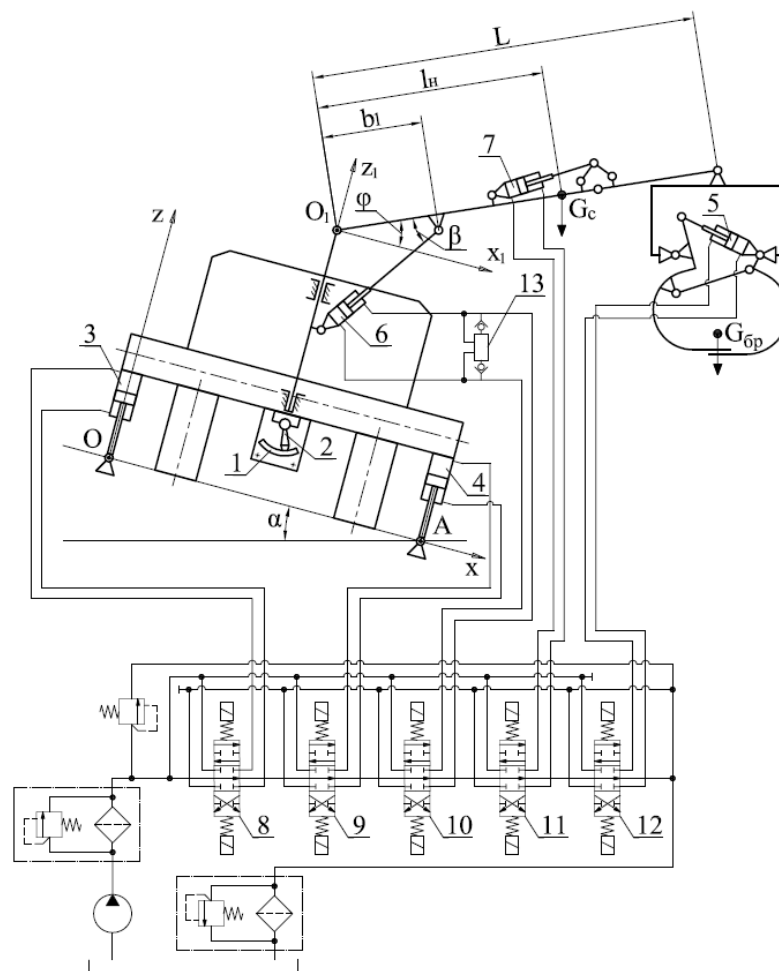


Рисунок 1. Расчетная схема лесотранспортной машины манипуляторного типа при наклоне опорно-поворотного устройства

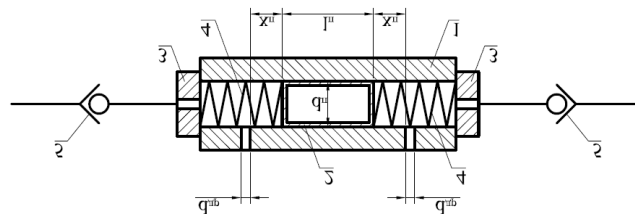


Рисунок 2. Расчетная схема демпфера в гидроприводе механизма подъема стрелы:
1 – корпус; 2 – плунжер; 3 – крышка; 4 – пружина; 5 – обратный клапан

$$\left\{ \begin{aligned} (J_{6p} + J_c) \frac{d^2 \varphi}{dt^2} &= \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin \beta}{4} p + 0,25 (G_{6p} L + G_c l_H) (\cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi \sin \alpha), \\ q_H n_H &= \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin \beta}{4} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\pi (d_3^2 - d_{шт}^2)}{4} \frac{dh_3}{dt} + \frac{\pi d_{п}^2}{4} \frac{dx_{п}}{dt} + a_y p + K_p \frac{dp}{dt}, \\ m_{6p} \frac{d^2 h_3}{dt^2} &= \frac{\pi (d_3^2 - d_{шт}^2)}{4} p - F_{тр} - F_c, \\ m_{п} \frac{d^2 x_{п}}{dt^2} &= \frac{\pi d_{п}^2}{4} \left(p - \xi \rho \frac{v_{др}^2}{2} \right) - c_{п} x_{п} - k_{п} \frac{dx_{п}}{dt}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где J_{6p} – момент инерции пачки бревен относительно точки O_1 , кгм²;

J_c – момент инерции стреловой группы манипулятора относительно точки O_1 , кг·м²;

G_{6p} – сила тяжести пачки бревен в захвате, Н;

G_c – сила тяжести стреловой группы манипулятора, Н;

$F_{тр}$ – сила трения в гидроцилиндре захвата, Н;
 F_c – сила сопротивления раскрытию захвата, Н;
 $m_{бр}$ – масса бревен, кг;
 q_n – рабочий объем насоса, м³/об;
 n_n – частота вращения насоса, об/с;
 p – текущее значение давления в гидроприводе, Па;
 a_y – коэффициент, учитывающий утечки жидкости, м⁵/(Н·с);
 K_p – коэффициент податливости гидропривода, м⁵/(Н·с);
 d_c – внутренний диаметр гидроцилиндра стрелы, м;
 d_z – внутренний диаметр гидроцилиндра захвата, м;
 $d_{шт}$ – диаметр штока гидроцилиндра захвата, м;
 h_z – ход штока гидроцилиндра захвата, м;
 $d_{пл}$ – диаметр плунжера демпфера, м;
 $x_{пл}$ – ход плунжера демпфера, м;
 $m_{пл}$ – масса плунжера демпфера, кг;
 $k_{пл}$ – коэффициент трения плунжера демпфера;
 ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³;
 ξ – коэффициент сопротивления дросселя;
 $v_{др}$ – скорость жидкости, проходящей через дроссель, м/с;
 $c_{пл}$ – жёсткость пружины демпфера, Н/м.

Обозначения остальных параметров, входящих в уравнения приведены на рис. 1.

Решение математической модели рабочего процесса гидроманипулятора лесотранспортной машины с учетом уклона при проседании слабонесущего грунта под аутригерами позволит обосновать параметры и режимы работы гидросистемы механизма автоматической разгрузки захвата при критических углах опрокидывания лесотранспортной машины в поперечной плоскости и обеспечить устойчивость и безопасность эксплуатации машин в лесном комплексе.

Список литературы

1. Александров В.А., Александров А.В. Моделирование технологических процессов лесных машин: учебник. – Изд. 3-е, 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. – Moscow: Lan, 2016. 368 p.
2. Hydromanipulators and forest technological equipment: a monograph / edited by I.M. Bartenev. Moscow: FLINTA: Nauka, 2011. 408 p.
3. Hydraulic drive of the 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.