

УДК 62-932.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В
ПНЕВМОЦИЛИНДРАХ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА
ПОВОРОТА КОЛОННЫ ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА

А. О. Пестриков, Е. Н. Петрова, Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г. Ф. Морозова»

E-mail: rc@icmail.ru

Общим недостатком демпфирующих устройств в гидроприводах лесных манипуляторов является то, что при остановках поворотной колонны в различных положениях гидравлическая энергия превращается в тепловую, что приводит к перегреванию жидкости и потере энергии [1-4]. Кроме того при остановках манипулятора происходит раскачивание груза, которое снижает их надежность и производительность. Поэтому наиболее эффективными являются энергосберегающие гидропневматические приводы колонны манипулятора, которые способны рекуперировать энергию при переходных режимах и возвращать часть энергии обратно в систему. В таких системах вместо использования основных поворотных гидроцилиндров устанавливают дополнительные пневмоцилиндры по такой же линейной противонаправленной схеме, соединяя с поворотной колонной через шестерню и зубчатую рейку. Гидропневматическая схема подобного механизма приведена на рисунке 1.

В случае использования пневматической системы рекуперации уравнение вращательного движения колонны принимает вид [1]:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = M_{ГЦ} - M_G - M_{ТР} - k_{ТК} \frac{d\varphi}{dt} + M_Y + M_B + M_{П} , \quad (1)$$

где J – момент инерции колонны; $M_{ГЦ}$ – момент, сообщаемый поворотной колонне гидроцилиндром; M_G – момент со стороны приводимого в движение груза; $M_{ТР}$ – момент сил трения в подшипниках колонны; $k_{ТК}$ – приведенный коэффициент вязкого трения в гидроцилиндрах поворота и пневмоцилиндрах; M_Y – момент сил от уклона местности; M_B – момент сил от ветровой нагрузки; $M_{П} = R_K(F_1 - F_2)$ – момент сил F_1 и F_2 со стороны левого и правого пневмоцилиндров соответственно.

Выражая силы через давления в полостях, получаем формулу:

$$M_{П} = R_K(P_1 S_{П} - P_2 S_{П}) = R_K \frac{\pi \cdot D_{П}^2}{4} (P_1 - P_2) , \quad (2)$$

где $S_{П} = \pi \cdot D_{П}^2 / 4$ – площадь поршней пневмоцилиндров.

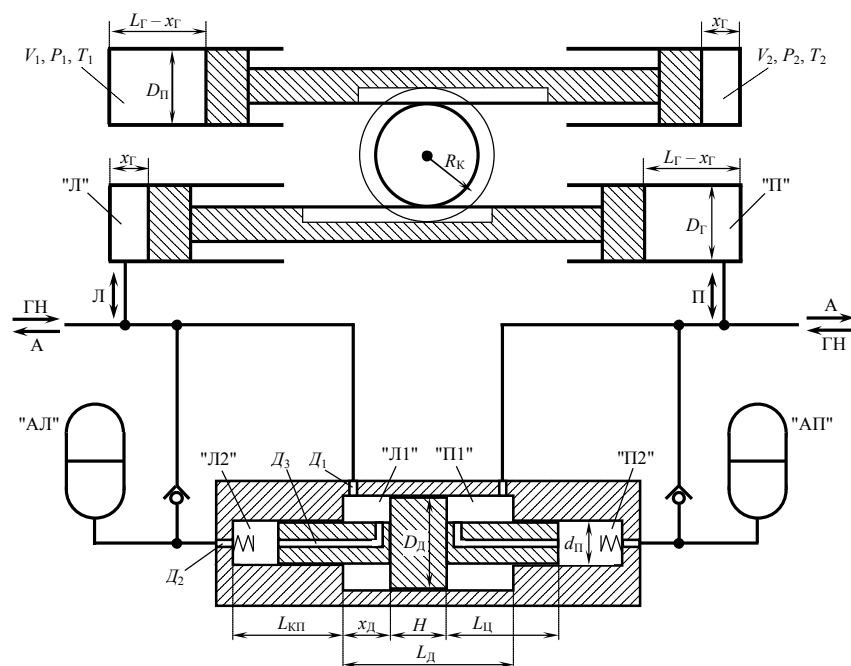


Рисунок 1 – Расчетная схема механизма поворота колонны, оснащенного аккумулирующими пневмоцилиндрами [патент на изобретение 2479481]

При быстром сжатии (разрежении) рабочего газа в пневмоцилиндрах до высокого давления газ может существенно нагреваться (охлаждаться). Для оценки работы пневмоцилиндров необходимо оценить изменение температуры в них. Поскольку процесс сжатия (разрежения) происходит достаточно быстро, изменение температуры можно определить по изэнтропическим соотношениям, согласно которым:

$$\frac{T}{T_0} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{-1}, \quad (3)$$

где T_0 – начальная температура, равная температуре окружающей среды, κ – показатель адиабаты (для воздуха $\kappa = 1,4$), M – число Маха (отношение скорости потока воздуха к скорости звука). Согласно изэнтропическим соотношениям для плотности газа:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{V_0}{V} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\kappa - 1}}. \quad (4)$$

Из соотношений (3) и (4) можно получить зависимость температуры от изменения объема:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{\kappa - 1}. \quad (5)$$

С учетом схемы механизма (рис. 1):

$$V_0 = \frac{L}{2} \frac{\pi D_{II}^2}{4}, \quad (6)$$

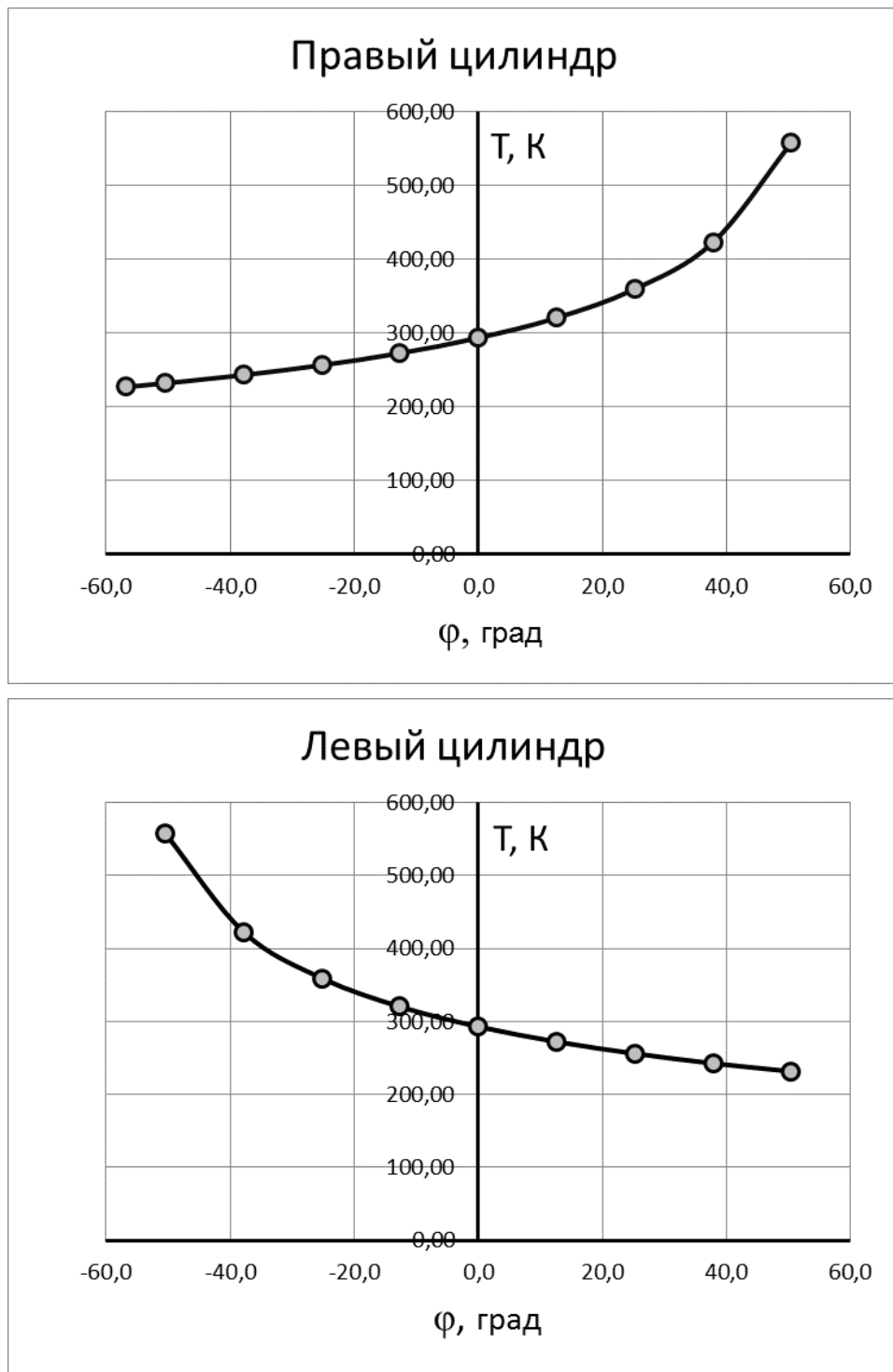


Рисунок 2 – Результаты вычислительного эксперимента по моделированию изменения температуры газа в правом и левом пневмоцилиндрах в процессе поворота колонны

$$V = \left(\frac{L}{2} - R\varphi \right) \frac{\pi D_{II}^2}{4}. \quad (7)$$

В результате выражение (5) преобразуется к виду:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{L}{L - 2R\varphi} \right)^{\kappa-1} . \quad (8)$$

Полученное соотношение можно использовать для численного моделирования зависимости температуры газа в пневмоцилиндрах от угла поворота шестерни связи с колонной.

Для вычислительного эксперимента была составлена программа с помощью электронных таблиц Excel. Результаты моделирования приведены на рисунке 2. Таким образом, в рамках адиабатического приближения можно определить температуру газа в любой фазе процесса.

Библиографический список

1 Попиков, П. И. Моделирование рабочих процессов энергосберегающего гидропривода технологического оборудования лесотранспортной машины [Текст] / П. И. Попиков, Р. В. Юдин, В. В. Посметьев, Д. А. Канищев, С. М. Стороженко // Лесотехнический журнал. – 2015. – № 1. – С. 223-234.

2 Попиков, П. И. Динамика гидропривода механизма поворота манипулятора с демпфером плунжерного типа [Текст] / П. И. Попиков, М. В. Драпалюк, А. А. Золотухин // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления : межвузовский сборник научных трудов / под ред. В. С. Петровского. – Воронеж, 2005. – Вып. 10. – С. 179-182.

3 Попиков, П. И. Математическая модель процесса фрезерования пней машиной МУП-4 с гидроприводом рабочего органа [Текст] / П. И. Попиков, Е. В. Беликов, В. В. Посметьев // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса : межвузовский сборник научных трудов / под ред. В. С. Петровского. – Воронеж, 2008. – Вып. 13. – С. 7-11.

4 Математическое моделирование динамики гидропривода механизма подъема стрелы лесного манипулятора с дополнительным демпфером [Текст] / А. А. Сидоров, П. И. Попиков, В. В. Посметьев, Л. Д. Бухтояров // Лес. Наука. Молодежь – 2008 : сборник материалов по итогам научно-исследовательской работы молодых ученых ВГЛТА за 2007-2008 гг. – Воронеж, 2008. – С. 121-126.