

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ МЕХАНИКИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ГИДРОМАНИПУЛЯТОРОВ

APPLICATION OF THE LAWS OF MECHANICS IN MODELING OF FOREST HYDROMANIPULATORS

Евсиков И.Д., аспирант 1 года обучения
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия.

Evsikov I.D., 1st year postgraduate student
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Попиков П.И., доктор технических наук,
профессор, профессор
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Popikov P.I., DrSc in technical Sciences,
Professor, Professor
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G. F. Morozov», Voronezh, Russia.

Евсикова Н.Ю., кандидат физико-
математических наук, доцент, заведующий
кафедрой общей и прикладной физики
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Evsikova N.Yu., PhD in Physics and
Mathematics, Docent, Head of department
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Камалова Н.С., кандидат физико-
математических наук, доцент, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Kamalova N.S., PhD in Physics and
Mathematics, Docent, Associate professor
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Аннотация. Для решения задач технической модернизации механизмов широко применяется компьютерное моделирование. Базовые аксиомы моделей основаны на фундаментальных законах физики. В работе показано применение законов механики при формировании модели для анализа динамики стрелы лесного манипулятора с целью поиска оптимальной модернизации ее механизма. Результаты работы программы для ЭВМ, составленной на основе модели, показали, что выбор компоновки гидроцилиндра влияет на величину максимальных всплесков давления рабочей жидкости и максимальную нагруженность.

Ключевые слова: гидроманипуляторы, законы механики, формализованная модель.

Abstract. Computer modeling is widely used to solve the problems of technical modernization of mechanisms. The basic axioms of the models are based on the fundamental laws of physics. The paper shows the application of the laws of mechanics in the formation of a model for analyzing the dynamics of the boom of a forestry manipulator in order to find the optimal modernization of its mechanism. The results of the compiled on the basis of the model computer

program showed that the choice of hydraulic cylinder layout affects the magnitude of the maximum bursts of pressure of the working fluid and the maximum load.

Keywords: hydraulic manipulators, laws of mechanics, formalized model.

Преобладающей формой использования богатейших лесных ресурсов Российской Федерации является заготовка древесины. Для вывоза сортиментов и хлыстов при лесозаготовке широко применяются оборудованные гидроманипуляторами погрузочно-транспортные машины. Практика показывает, что возникающие в рабочих процессах механизмов при подъёме стрелы манипулятора большие динамические нагрузки приводят к резким скачкам давления рабочей жидкости в гидроприводе [1, 2]. Это уменьшает надежность и производительность гидроманипуляторов. Для повышения их технического уровня актуальной задачей является более глубокое изучение вопросов влияния компоновки на особенности кинематики и динамики манипулятора. Решению этой проблемы посвящены, например, работы [3-6].

В задачах технической модернизации механизмов широко применяется компьютерное моделирование. Базовые аксиомы моделей основаны на фундаментальных законах физики [7]. В работах [8, 9] показано формирование модели для анализа динамики стрелы лесного манипулятора с целью поиска оптимальной модернизации ее механизма. Для модернизации был выбран отечественный серийный гидроманипулятор ЛВ-184 А. Предложенная для усовершенствования конструкции гидрокинематическая схема механизма подъема стрелы манипулятора показана на рисунке 1. Целесообразность такой оптимизации обоснована в работе [10] на основе сравнительного анализа нескольких моделей гидроманипуляторов с использованием метода сравнения альтернатив.

Цель настоящей работы – продемонстрировать применение законов механики для разработки формализованной модели рабочих процессов гидропривода механизма подъема стрелы манипулятора с оптимизированной компоновкой гидроцилиндра.

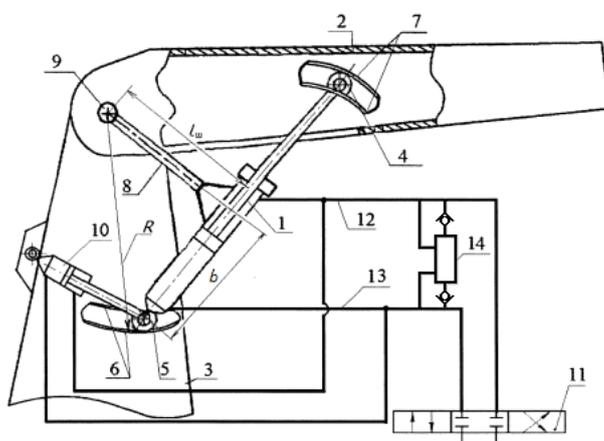


Рисунок 1 – Гидрокинематическая схема усовершенствованного механизма подъема стрелы манипулятора: 1 – гидроцилиндр, 2 – стрела, 3 – колонна, 4 и 5 – ролики, 6 и 7 – направляющие, 8 – штанга, 9 – ось, 10 – дополнительный гидроцилиндр, 11 – распределитель, 12 и 13 – гидрочасти, 14 – демпфер

где

Q – номинальная подача насоса, м³/с;

K_t – коэффициент нарастания подачи рабочей жидкости до значения Q_n ;

a_y – коэффициент утечек жидкости, м⁵/Н·с;

$K_p = \frac{10^{-5}}{7,28 \cdot P + 106}$, м⁵/Па – коэффициент податливости гибких элементов

гидропривода.

На основе геометрии расчетной схемы модели (рис. 2) к уравнениям (1) и (2) добавляем связь между параметрами, смысл которых очевиден из этой схемы:

$$\left[\begin{array}{l} \beta = \gamma - \lambda \\ \lambda = \arcsin\left(\frac{S_H}{S} \sin(\beta_H + \gamma)\right) \\ S^2 = b^2 + S_H^2 - 2bS_H \cos(\beta_H + \gamma), \\ b = 2b_1 \sin \frac{\varphi}{2} \\ \beta_H = \arccos \frac{b_K^2 + S_H^2 - S_K^2}{2b_K S_H} - \gamma_K \\ b_K = 2b_1 \sin \frac{\varphi_K}{2} \\ \gamma_K = 90^\circ - \frac{\varphi_K}{2} \\ \gamma = 90^\circ - \frac{\varphi}{2} \end{array} \right. , \quad (3)$$

где S_n , S_k и S – начальная, конечная и текущая длины гидроцилиндра.

Таким образом, формализованная модель рабочего процесса механизма подъема стрелы манипулятора включает дифференциальные уравнения (1), (2) и систему соотношений (3) между геометрическими параметрами системы.

На основе данной модели была составлена программа для ЭВМ. Расчеты проводились с входными параметрами, представленными в таблице 1. Полученные зависимости максимального давления P_{max} и максимальной динамической нагруженности F_{max} от параметра b_1 при подъеме стрелы манипулятора для двух значений номинальной подачи Q показаны на рисунках 3 и 4.

Таблица 1 – Входные параметры программы

Диаметр цилиндра стрелы d	0,1 м
Коэффициент утечек в гидросистеме a_y	$2 \cdot 10^{-12}$ м ³ /(Па·с)
Время нарастания расхода раб. жидкости	0 с
Параметр b_1	0,447 м
Дискретность изменения времени	0,005 с
Момент инерции стреловой группы относительно точки О	7350 кг·м ²
Масса груза m	884 кг

Вылет манипулятора l	6,15 м
Масса стреловой группы m_c	433 кг
Расстояние от точки О до центра масс стреловой группы l_H	3,34 м
Начальное значение угла γ	76,25°
Значение угла δ	11,61°
Начальное значение угла φ	$\varphi_H = -15^\circ$
Конечное значение угла φ	$\varphi_K = 80^\circ$
Время выдержки после остановки	0 с
Минимальная длина гидроцилиндра S_H	1÷1,5 м
Максимальная длина гидроцилиндра S_K	1,8÷2,3 м
Шаг оптимизации положения	0,01 м
Время на процесс поднятия	3 с

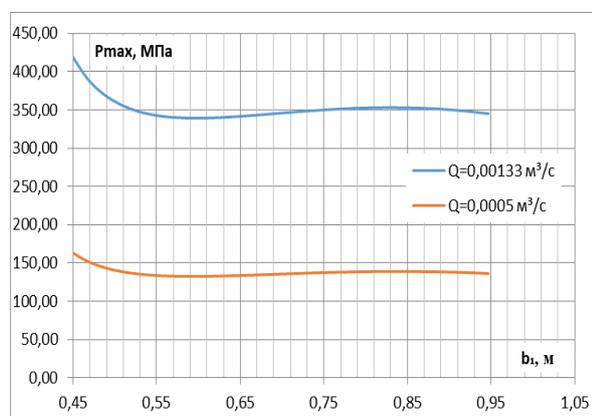


Рисунок 3 – Зависимость максимального давления от параметра b_1 при подъеме стрелы манипулятора для двух значений номинальной подачи

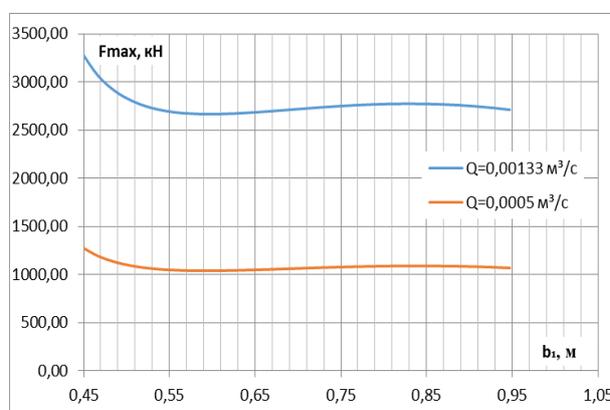


Рисунок 4 – Зависимость максимальной динамической нагруженности от параметра b_1 при подъеме стрелы манипулятора для двух значений номинальной подачи

Проведенные с использованием программы ЭВМ расчеты показали, что для модернизированного гидроманипулятора минимальные всплески давления рабочей жидкости и минимальная динамическая нагруженность при переходных процессах с учетом инерционных сил и податливости гидропривода достигаются при значении параметра $b_1 = 0,607$ м для номинальной подачи $Q = 0,00133 \text{ м}^3/\text{с}$ и при значении параметра $b_1 = 0,587$ м для номинальной подачи $Q = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$.

Полученные результаты говорят о том, что за счет оптимизации компоновки гидроцилиндра подъема стрелы манипулятора происходит снижение динамических нагрузок примерно на 25%.

Таким образом, в работе было продемонстрировано применение законов динамики вращательного движения и гидравлики для разработки формализованной модели рабочего процесса механизма подъема стрелы манипулятора. Результаты компьютерного моделирования показали, что выбор компоновки гидроцилиндра влияет на величину максимальных всплесков давления рабочей жидкости и максимальную нагруженность, при

этом оптимальные точки для компоновки гидроцилиндра при динамическом режиме зависят от номинальной подачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев, И.М. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование : монография / И.М. Бартенев, З.К. Емтыль, А.П. Татаренко, М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, Л.Д. Бухтояров ; под ред. И. М. Бартенева. – Москва : ФЛИНТА : Наука, 2011. – 408 с.
2. Емтыль, З.К. Исследование динамической нагруженности и быстродействия механизма поворота манипулятора в различных режимах / З.К. Емтыль, А.А. Смыков. – Гидравлика и пневматика. – 2001. – №2. – С. 20-21.
3. Емтыль, З.К. Основы повышения технического уровня гидроманипуляторов / З.К. Емтыль. – Майкоп: МГТИ, 2000. – 234 с.
4. Оптимизация параметров гидропривода механизма подъема манипулятора автосортиментовоза / П.И. Попиков, А.С. Черных, И.В. Четверикова, Д.Н. Родионов, К.А. Меняйлов // Resources and Technology. – 2017. – Т. 14, № 4. – С. 43-65. - URL : <http://rt.petrsu.ru/journal/article.php?id=4021>.
5. Попиков П.И. Моделирование рабочих процессов гидропривода механизма подъема манипулятора автосортиментовоза / П.И. Попиков, И.В. Четверикова, М.Ю. Воскобойник // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2018. - Т. 6, № 7 (43). - С. 76-80.
6. Оптимизация положений гидроцилиндров с учетом инерционных нагрузок и податливости гидропривода / П.И. Попиков, А.В. Крутских, В.П. Попиков, Р.В. Юдин // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе Российской Академии естественных наук Воронежской государственной лесотехнической академии. - 2002. - Вып. 4, ч. 2. - С. 136-143.
7. Роль основных уравнений физики в разработке компьютерных моделей процессов работы механизмов / Н.Н. Матвеев, Н.С. Камалова, В.И. Лисицын, Н.Ю. Евсикова // Физика в системе современного образования (ФССО-2019): Сборник научных трудов XV Международной конференции. Под редакцией Ю.А. Гороховатского, Л.А Ларченковой. – 2019. – С. 221-224.
8. Попиков, П.И. Обоснование компоновки и параметров гидропривода механизма подъема лесного манипулятора / П.И. Попиков, И.Д. Евсиков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2019. – Т. 7, № 3 (46). – С. 226-231.
9. Евсиков, И.Д. Обоснование аксиом формализованной модели движения стрелы лесного манипулятора / И.Д. Евсиков, П.И. Попиков, Н.С. Камалова // Воронежский научно-технический Вестник. – 2020. – Т. 2, № 2 (32). – С. 4-10.
10. Евсиков, И.Д. Сравнительный анализ моделей гидроманипуляторов методом сравнения альтернатив / И.Д. Евсиков, П.И. Попиков, Н.С. Камалова // Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор И.В. Четверикова. – Воронеж, 2021. – С. 143-146.
11. Попиков, П.И. Исследование динамических режимов гидроприводов лесных манипуляторов : учеб. пособие / П.И. Попиков, С.В. Малюков, Р.В. Юдин ; Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г.Ф. Морозова. - Воронеж, 2018. – 111 с.