

Analysis of Temperature Distribution in Single-Screw Extruder Channel when Producing Wood-Filled Polymer Composites with Sawdust

In order to validate the mathematical model of temperature distribution along the length of the pressing mechanism of a single-screw extruder, a number of exploratory experiments has been carried out using the temperature recording device (infrared radiation measurement) with visual observation of the temperature variation (thermal imaging).

Key words: composite, wood-filled polymers, cellulose-containing, monomer, husk, bran, thermal imager, infrared radiation.

УДК 615.478.32

Ш. Р. Галлямов, кандидат технических наук, Уфимский государственный авиационный технический университет
А. В. Месропян, доктор технических наук, Уфимский государственный авиационный технический университет
Г. В. Миловзоров, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
А. Т. Оразов, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет

ВЕРИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ИНВАЛИДНОГО КРЕСЛА-КОЛЯСКИ

Представлена математическая модель, позволяющая рассчитывать и исследовать характеристики гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски, а именно: перепадов давлений на исполнительных гидроэлементах, усилий, затрачиваемых на перемещение, частоту вращения вала гидромотора и др. Проведена верификация характеристик гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски.

Ключевые слова: инвалидное кресло-коляска, гидромеханический привод, математическая модель, экспериментальные исследования, верификация характеристик.

В настоящее время одним из перспективных направлений развития технических средств передвижения для людей с нарушением функции опорно-двигательного аппарата является разработка инвалидных кресел-колясок с комбинированным гидромеханическим приводом, что объясняется их улучшенными эргономическими показателями (рис. 1). Проработка конструктивно-компоновочных схемных решений существующих инвалидных кресел позволяет выявить следующие показатели: массогабаритные характеристики, затрачиваемые усилия при передвижении и потребность от внешних источников питания [2].

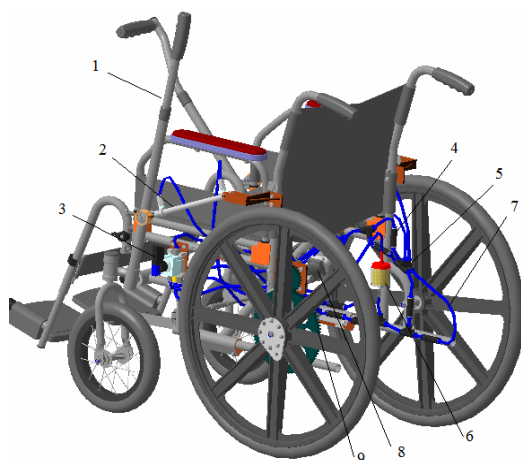


Рис. 1. Компоновочная схема инвалидного кресла-коляски: 1 – рычаг управления; 2 – тройник; 3 – гидроцилиндр; 4 – гидрораспределитель; 5 – гидробак с фильтроэлементом; 6 – гидромотор; 7 – подшипник; 8 – гидромотор; 9 – редуктор

При проектировании инвалидного кресла-коляски с гидромеханическим приводом одной из актуальных задач является снижение потребных усилий для перемещения, что обуславливает необходимость моделирования различных режимов движения инвалидного кресла-коляски, расчетов и исследований статических и динамических характеристик гидравлического привода кресла.

Численное моделирование гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски характеризуется неопределенностью модели, что объясняется использованием эмпирических коэффициентов, которые обеспечивают приемлемую адекватность математической модели в определенном диапазоне изменения влияющих параметров. Поэтому необходимо выполнение верификации характеристик гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски, которая позволит установить корректность принятых допущений и ограничений.

Для оценки степени адекватности результатов численного моделирования общеизвестен ряд методов: доказательное программирование, автоматическое доказательство теорем, проверка моделей, символьное выполнение, сопоставительный анализ, метод поиска противоречий, абстрактная интерпретация, метод индуктивных утверждений Флойда, метод аксиоматической семантики Хоара.

В данной статье используется метод сопоставительного анализа, который позволяет сравнивать экспериментальные данные [1] с результатами теоретических исследований, полученных при численном моделировании гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски [2].

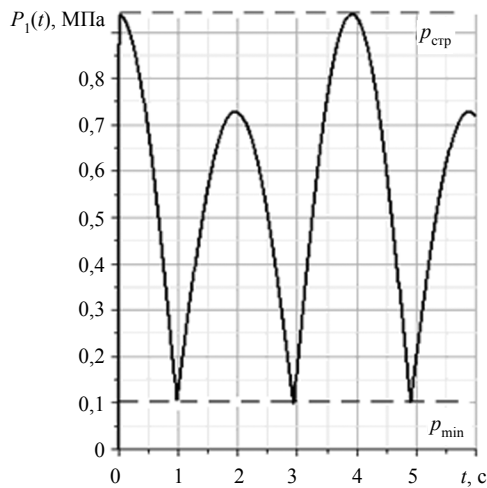


Рис. 4. Изменение давления на выходе из ГЦ: P_{\min} – минимальное давление в гидросистеме; $P_{\text{стр}}$ – давление на выходе из ГЦ при страгивании вала ГМ

Для проведения экспериментальных исследований гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски спроектирована и изготовлена установка, позволяющая регистрировать давление на выходе из поршневой полости гидроцилиндра (ГЦ), объем рабочей жидкости при выполнении одного цикла работы, частоту вращения вала гидромотора (ГМ), время перемещения поршня ГЦ.

На рис. 5 представлен экспериментальный стенд гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски [1].

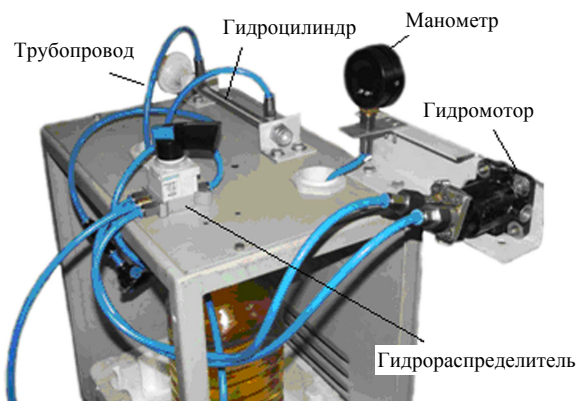


Рис. 5. Экспериментальный стенд для испытания гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски

Экспериментальные исследования гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски по определению $P_{\text{стр}}$ позволяют сформировать набор данных для статистической обработки, построения зависимостей на основе оценки неизвестных параметров и определения степени достоверности полученных результатов.

Давление страгивания вала ГМ $P_{\text{стр}}$ определяет величину максимальных усилий, затрачиваемых на перемещение инвалидного кресла-коляски, поэтому

сопоставительный анализ рассматривается для параметра $P_{\text{стр}}$.

Анализ результатов численного моделирования позволяет установить, что полученные значения $P_{\text{стр}}$ и P_{\min} соответствуют значениям экспериментальных исследований, которые требуют статистической обработки данных и построения доверительного интервала.

На рис. 6 представлены этапы статистической обработки результатов экспериментальных данных, представленных сплошным массивом.



Рис. 6. Этапы статистической обработки результатов экспериментальных данных

Основной задачей проверки на соответствие нормальному закону распределения экспериментальных данных является выбор наиболее подходящего для данного случая метода. Выбор метода осложняется тем, что приходится обрабатывать выборки небольшого объема, в связи с этим рассмотрены следующие методы [3]:

- проверка с помощью среднего абсолютного отклонения (САО);
- проверка с помощью размаха варьирования R .

Использование обоих методов подтвердило соответствие экспериментальных данных $P_{\text{стр}}$ нормальному закону распределения, в результате чего получено уравнение регрессии.

Проверка адекватности уравнения регрессии результатам экспериментальных исследований проводится методом статистической теории проверки гипотез, для этого чаще всего, используют критерий Стьюдента (t -критерий) [4]:

$$t = (M_3 - M_1) \cdot \sqrt{\frac{n}{(\sigma_3^2 - \sigma_1^2)}}, \quad (6)$$

где $M_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – среднее экспериментальных данных; M_1 – результат расчета по математической модели.

Если выполняется условие (7), то считается, что модель адекватно описывает реальный процесс (величина $p = 1 - \beta$, где $\beta = 0,95$ – доверительная вероятность):

$$t < t_{\text{таб}}(1-p)(n-2). \quad (7)$$

Квантиль распределения Стьюдента имеет значение

$$t_{\text{таб}}(1-p)(n-2) = 4,3 \cdot (1-0,05) \cdot (25-2) = 93,95. \quad (8)$$

$$t = |0,836 - 0,92| \cdot \sqrt{\frac{25}{(15,1 - 15) \cdot 10^{-3}}} = 42. \quad (9)$$

Выполнение условия (8) показывает, что предложенная модель (1)–(5) адекватно описывает эталонный объект.

В общем виде доверительный интервал представлен в следующем виде:

$$\Delta M_j = m \pm \varepsilon_\beta, \quad (10)$$

где $m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = 8,36 \cdot 10^5$ Па – математическое

ожидание; $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2} = 1,03 \cdot 10^5$ Па – среднеквадратичное отклонение.

Завершающим этапом верификации характеристик гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски является сопоставление полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований.

На рис. 7 приведены результаты сравнения теоретических и экспериментальных исследований по давлению на выходе из гидроцилиндра в момент страгивания вала ГМ.

В ходе верификации результатов численного моделирования гидромеханического привода инвалидного кресла-коляски проведены экспериментальные исследования, которые позволили определить значения давления страгивания вала ГМ ($P_{стр}$). Выполнена статистическая обработка данных и установлено следующее:

- экспериментальные значения $P_{стр}$ соответствуют нормальному закону распределения;
- полученное уравнение регрессии адекватно экспериментальным данным по $P_{стр}$;
- определен и построен доверительный интервал значений $P_{стр}$, который позволил исключить случайные величины, не попавшие в диапазон давлений $(9,26...7,46) \cdot 10^5$ Па.

Сравнение результатов численного моделирования и экспериментальных данных показывает приемлемую сходимость результатов (в среднем не менее 90 %), что подтверждает корректность принятых

допущений и ограничений и адекватность разработанной математической модели гидромеханического привода.

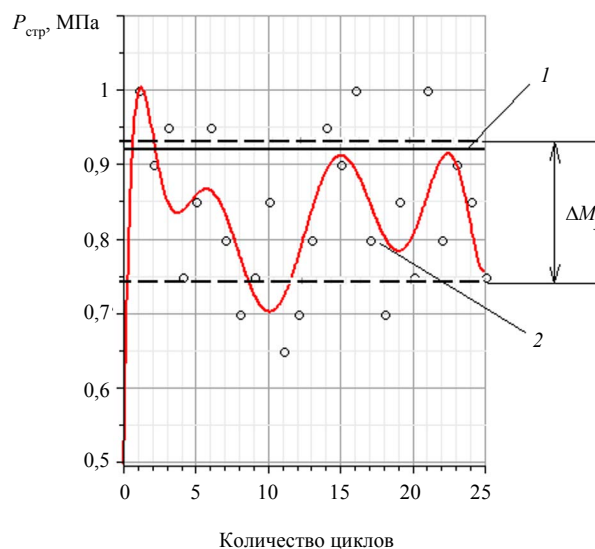


Рис. 7. Давление страгивания вала гидромотора: 1 – результаты численного моделирования; 2 – результаты экспериментальных исследований

Подобная методика позволит использовать данный математический аппарат при исследовании перспективных технических средств реабилитации на гидравлической и пневматической элементной базе, к которым относятся экзоскелеты.

Библиографические ссылки

1. Экспериментальные исследования гидравлического привода инвалидного кресла-коляски / Ш. Р. Галлямов [и др.] // Динамика машин и рабочих процессов : сб. тр. – Челябинск : ЮрГУ, 2012. – С. 127–130.
2. Математическое моделирование гидравлического привода инвалидного кресла-коляски / Ш. Р. Галлямов [и др.] // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16. – № 6(51). – С. 95–100.
3. Низкотемпературные твердотопливные газогенераторы: методы расчета рабочих процессов, экспериментальные исследования / О. В. Валева [и др.] – Миасс, 1997. – 269 с.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. – 9-е изд. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.

Sh. R. Gallyamov, PhD in Engineering, Ufa State Aviation Technical University
 A. V. Mesropyan, DSc in Engineering, Ufa State Aviation Technical University
 G. V. Milovzorov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 A. T. Orazov, Post-graduate, Ufa State Aviation Technical University

Verification of Behaviors of the Wheelchair with Hydromechanical Drive System

The paper presents the mathematical model for computation and research of static and dynamic behaviors of the wheelchair with hydromechanical drive system. The verification of behaviors of the wheelchair with hydromechanical drive system has been made.

Key words: wheelchair, hydromechanical drive system, mathematical model, experimental research, verification of behaviors.