

**Экспериментальная оценка  
адекватности математического  
моделирования процесса  
общей сборки технологического  
оборудования лесозаготовительных  
машин при отрицательных  
температурах**

П. И. Романов<sup>1</sup>  
С. В. Викторенкова  
Санкт-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

**АННОТАЦИЯ**

Приводится описание результатов исследований процесса общей сборки технологического оборудования лесозаготовительных машин при отрицательных температурах.

**Ключевые слова:** лесозаготовительная машина, сборка, сбалансированный манипулятор, отрицательная температура.

**SUMMARY**

The description results of researches of common assembly of the technology equipment of timber machines in condition of below zero temperature.

**Keywords:** timber machines, assembly, balanced manipulator, below zero temperature.

**СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

В работе [1] разработана технология общей сборки лесозаготовительных машин с использованием сбалансированных манипуляторов. Предложенная технология позволяет за счет обеспечения качества сборки повысить надежность отремонтированной техники. При этом технические характеристики сбалансированных манипуляторов выбираются с использованием математической модели процесса общей сборки технологического оборудования лесозаготовительных машин. Модель получена теоретическим путем и экспериментально подтверждена ее адекватность в диапазоне температур воздуха от 15°C до 35°C, характерном для отапливаемых ремонтных помещений. Для применения предложенной технологии сборки лесозаготовительных машин при ремонте их на месте поломки с использованием передвижных ремонтных мастерских необходимо провести дополнительные исследования. Принципиальной особенностью, усложняющей сборку машин в условиях лесосек, является возможность ее проведения при отрицательных температурах воздуха. Для разработки технологии сборки лесозаготовительных машин при

отрицательных температурах на кафедре технологии лесного машиностроения и ремонта Санкт-Петербургской лесотехнической академии им. С. М. Кирова создана специальная модификация пневматического сбалансированного манипулятора. Это позволило сформулировать следующую задачу исследования:

- Экспериментально подтвердить адекватность математической модели процесса общей сборки технологического оборудования лесозаготовительных машин [1] в диапазоне температур от - 25°C до + 20°C.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Для моделирования необходимых температурных условий в лаборатории СПбГЛТА создана термокамера. В термокамере размещена экспериментальная установка, состоящая из измерительной части с 8 датчиками положения и модернизированного сбалансированного манипулятора МПУ-100 со специально разработанной позиционно-аэстатической системой управления. При математическом планировании эксперимента в качестве функции отклика принята величина максимально допустимого смещения осей сборочных единиц шарнирных соединений на сборочной позиции для сборки шарнирного соединения без заклиниваний в (в мм):  $Y = \sum$ . Основываясь на результатах исследования, для проведения активного эксперимента выбраны следующие факторы: диаметральный зазор в соединении Z (мм), угол поворота втулки на сборочной позиции, измеряемый в плоскости наибольшего перекоса  $\varphi$  (град), конусность пальца  $tg \alpha_{\text{п}}$ , конусность втулки  $tg \alpha_{\text{вт}}$ , шероховатость рабочих поверхностей Rz (мкм). Из анализа технологического процесса сборки принято решение провести две серии опытов для двух различных нулевых уровней угла поворота втулки на сборочной позиции, повторенные четыре раза для температур + 20, 0, - 10 и - 25°C. Использован ортогональный композиционный план второго порядка, базирующийся на мелкофакторном эксперименте. Методика проведения эксперимента соответствует методике, приведенной в главе 7 работы [1].

В результате проведенного эксперимента получены 16 уравнений регрессии и доказана их адекватность. Ниже в качестве примера приведены 4 уравнения, соответствующие максимальной и минимальным температурам.

- Для  $\Sigma_{\text{Б}}$  при повороте втулки против часовой стрелки ( $t = 20^\circ\text{C}$ )  
 $\Sigma_{\text{Б}} = 0,258 - 0,846 \cdot Z - 0,106 \cdot \varphi + 0,075 \cdot tg \alpha_{\text{п}} +$   
 $+ 0,066 \cdot tg \alpha_{\text{вт}} + 0,058 \cdot Rz - 2,135 \cdot Z \cdot \varphi +$   
 $+ 0,353 \cdot Z \cdot tg \alpha_{\text{п}} \cdot tg \alpha_{\text{вт}} - 0,106 \cdot tg \alpha_{\text{п}} \cdot tg \alpha_{\text{вт}} +$   
 $+ 1,240 \cdot Z^2 - 0,237 \cdot \varphi^2 - 0,050 \cdot tg^2 \alpha_{\text{п}} -$   
 $- 0,035 \cdot tg^2 \alpha_{\text{вт}} - 0,003 \cdot Rz^2.$

<sup>1</sup> Авторы – соответственно профессор, д.т.н и доцент, к.т.н кафедры технологии лесного машиностроения и ремонта

- Для  $\Sigma_B$  при повороте втулки против часовой стрелки ( $t = -25^\circ\text{C}$ )  

$$\Sigma_B = 0,436 - 1,983 \cdot Z + 0,142 \cdot \varphi + 0,096 \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} +$$

$$+ 0,049 \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} + 0,066 \cdot R_z - 2,342 \cdot Z \cdot \varphi +$$

$$+ 0,803 \cdot Z \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} - 0,240 \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} +$$

$$+ 3,290 \cdot Z^2 - 0,173 \cdot \varphi^2 - 0,056 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{\Pi} -$$

$$- 0,031 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{\text{ВТ}} - 0,003 \cdot R_z^2.$$
- Для  $\Sigma_B$  при повороте втулки по часовой стрелке ( $t = 20^\circ\text{C}$ )  

$$\Sigma_B = 0,183 + 1,607 \cdot Z - 0,344 \cdot \varphi + 0,068 \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} +$$

$$+ 0,058 \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} + 0,039 \cdot R_z + 1,549 \cdot Z \cdot \varphi -$$

$$- 0,037 \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} + 0,376 \cdot Z \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} -$$

$$- 2,529 \cdot Z^2 - 0,124 \cdot \varphi^2 - 0,032 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{\Pi} - 0,023 \cdot$$

$$\text{tg}^2 \alpha_{\text{ВТ}} - 0,002 \cdot R_z^2.$$
- Для  $\Sigma_B$  при повороте втулки по часовой стрелке ( $t = -25^\circ\text{C}$ )  

$$\Sigma_B = 0,257 + 1,314 \cdot Z - 0,405 \cdot \varphi + 0,068 \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} +$$

$$+ 0,061 \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} + 0,023 \cdot R_z + 1,511 \cdot Z \cdot \varphi -$$

$$- 0,037 \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} + 0,370 \cdot Z \cdot \text{tg} \alpha_{\Pi} \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ВТ}} -$$

$$- 1,950 \cdot Z^2 - 0,094 \cdot \varphi^2 - 0,016 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{\Pi} - 0,007 \cdot$$

$$\text{tg}^2 \alpha_{\text{ВТ}} - 0,001 \cdot R_z^2.$$

По этим 16 уравнениям построены графики максимально допустимого смещения осей соединения на сборочной позиции при котором обеспечивается качество сборки. В результате их анализа установлено, что теоретическая область качественной сборки располагается внутри экспериментальных областей. Причем максимальное отклонение от теоретической кривой достигается при  $25^\circ\text{C}$  и не превышает 10%, а при температуре  $-25^\circ\text{C}$  – 4%.

## ВЫВОДЫ

Математическая модель общей сборки технологического оборудования лесозаготовительных машин адекватна в диапазоне температур от  $-25^\circ\text{C}$  до  $20^\circ\text{C}$ . Поэтому ее можно использовать при разработке технологии ремонта лесных машин в условиях лесосеки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов П. И. Развитие научных основ механизации общей сборки технологического оборудования лесозаготовительных машин / П. И. Романов. СПб., 2001. 208 с.