

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ РАБОЧИМ ОРГАНОМ УКЛАДЧИКА С ДВУМЯ БРУСЬЯМИ, ВИБРОПЛИТОЙ И ПРЕССУЮЩЕЙ ПЛАНКОЙ

Кордов А. А.,

научный руководитель канд. техн. наук Прокопьев А. П.

Сибирский федеральный университет

Асфальтоукладчик применяется для распределения асфальтобетонной смеси на участке строительства или ремонта дорожного покрытия и предварительного ее уплотнения. Асфальтобетонная смесь, доставляемая автосамосвалами, выгружается в бункер укладчика со стороны передней части машины, затем питателями подается из передней в заднюю часть, распределяется шнеком на ширину укладки, профилируется, выравнивается и уплотняется рабочими органами.

Основные элементы рабочего органа:

- трамбуемый брус;
- вибрационная плита;
- прессующая планка (планка под воздействием импульсов гидравлической жидкости оказывает давление на смесь максимум до 130 бар с частотой до 68 Гц).

Возможны исполнения рабочего органа: с одной прессующей планкой; с двумя прессующими планками.

Цель работы: разработать математическую модель процесса уплотнения рабочим органом асфальтоукладчика и реализовать её методами имитационного моделирования.

Задачи исследования:

- выполнить анализ устройства и рабочего процесса асфальтоукладчика;
- составить математическую модель процесса уплотнения;
- составить модель в переменных состояний;
- сформировать исходные данные для имитационного моделирования;
- провести моделирование, получить графические зависимости;
- выполнить анализ результатов.

Основными элементами данного рабочего органа являются два трамбуемых бруса, виброплита и прессующая планка.

Брус предназначен для предварительного уплотнения укладываемого слоя и его профилировки с помощью нижней кромки, а также для возбуждения колебаний плиты, что улучшает уплотнение слоя. Привод трамбуемого бруса осуществляется от эксцентрикового вала. В исследуемом рабочем органе два трамбуемых бруса, которые будут двигаться с разностью фаз равной π .

Плита служит опорой рабочего органа и предназначена для формирования поперечного профиля, уплотнения и отделки укладываемого покрытия. Плита состоит из двух половин, соединенных шарниром и механизмом регулировки поперечного профиля. Раму плиты делают цельносварной из специальных гнутых профилей.

Прессующая планка используется для завершающего уплотнения асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком. Планка приводится в движение от гидравлического генератора импульсов. Планку в исходное положение возвращает пружина. При использовании планок получают высокую степень уплотнения покрытия – до 95...98%, что позволяет сократить последующее количество проходов катка.

Исследуемый вариант исполнения уплотнительного рабочего органа асфальтоукладчика представлен на рис. 1. Здесь x_1 , x_2 , x_3 , x_4 и x_5 – соответственно

перемещение элементов рабочего органа; F_3 – сила гидравлического возбудителя к прессующей планке.

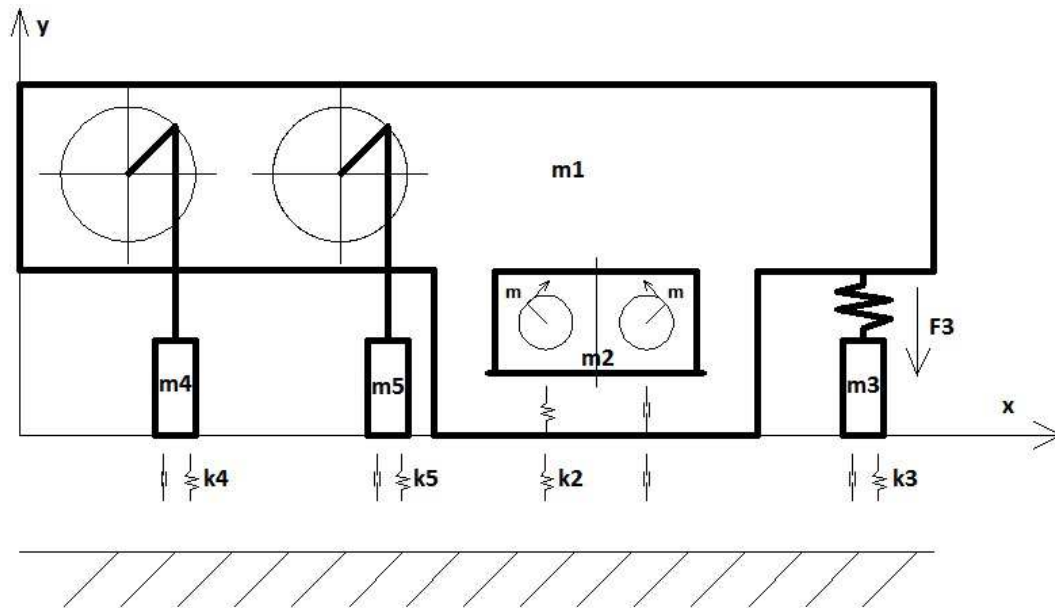


Рисунок 1 – Расчетная схема уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика

В работе выполнен анализ устройства и рабочего процесса асфальтоукладчика. Подготовлена расчетная схема уплотняющего рабочего органа с применением реологической модели уплотняемой среды.

Разработана математическая модель процесса уплотнения среды уплотняющим рабочим органом асфальтоукладчика в виде системы дифференциальных уравнений полученных на основе второго закона Ньютона.

Уравнения учитывают массы элементов, рабочие параметры, а также коэффициенты жёсткости и демпфирования дорожного покрытия.

Реализован алгоритм решения задачи программными средствами MATLAB & Simulink при различной частоте и амплитуде вибрационного процесса.

Согласно второму закону Ньютона уравнение вибратора уравнение прессующей планки

$$m_3 \ddot{x}_3 - c_{f3} \dot{x}_1 + (c_3 + c_{f3}) \dot{x}_3 - k_{f3} x_1 + (k_3 + k_{f3}) x_3 = F_3. \quad (1)$$

Согласно второму закону Ньютона уравнение виброплиты

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 - k_2 x_1 + k_2 x_2 = 2m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t). \quad (2)$$

Согласно второму закону Ньютона уравнения трамбующих брусьев может быть записано

$$m_4 \ddot{x}_4 + c_4 \dot{x}_4 + k_4 x_4 = f_4; \quad (3)$$

$$m_5 \ddot{x}_5 + c_5 \dot{x}_5 + k_5 x_5 = f_5. \quad (4)$$

Согласно принципам относительного движения получим уравнения

$$x_4 = x_1 + e \sin(\omega_4 t); \quad (5)$$

$$x_5 = x_1 + e \sin(\omega_5 t). \quad (6)$$

Переходя от (5) к (3) и от (6) к (4), получим соответственно

$$f_4 = m_4 \ddot{x}_1 + c_4 \dot{x}_1 + k_4 x_1 - m_4 e \omega_4^2 \sin(\omega_5 t) + k_4 e \sin(\omega_4 t) + c_4 e \omega_4 \sin\left(\omega_4 t + \frac{\pi}{2}\right); \quad (7)$$

$$f_5 = m_5 \ddot{x}_1 + c_5 \dot{x}_1 + k_5 x_1 - m_5 e \omega_5^2 \sin(\omega_5 t) + k_5 e \sin(\omega_5 t) + c_5 e \omega_5 \sin\left(\omega_5 t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (8)$$

Уравнение для рамы

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2 + c_{f5}) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 - c_{f5} \dot{x}_5 + (k_1 + k_2 + k_{f5}) x_1 - k_2 x_2 - k_{f5} x_5 = -F_5 - f_3 - f_4. \quad (9)$$

Подставляем (7) и (8) в (9) получим

$$\begin{aligned} & (m_1 + m_3 + m_4) \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_{f5}) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 - c_{f5} \dot{x}_5 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_{f5}) x_1 - k_2 x_2 - k_{f5} x_5 = \\ & = -F_5 + (m_3 e \omega_3^2 - k_3 e) \sin(\omega t) + (m_4 e \omega_4^2 - k_4 e) \sin(\omega_4 t) - c_3 e \omega_3 \sin\left(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}\right) - c_4 e \omega_4 \sin\left(\omega_4 t + \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned}$$

Разработана модель процесса в терминах переменных состояний.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k_1 + k_2 + k_4 + k_5 + k_{f3}}{m_1 + m_4 + m_5} & \frac{-c_1 + c_2 + c_4 + c_5 + c_{f3}}{m_1 + m_4 + m_5} & \frac{k_2}{m_1 + m_4 + m_5} & \frac{c_2}{m_1 + m_4 + m_5} & \frac{k_{f3}}{m_1 + m_4 + m_5} & \frac{c_{f3}}{m_1 + m_4 + m_5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_1}{m_2} & \frac{c_2}{m_2} & \frac{-k_2}{m_2} & \frac{-c_2}{m_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_{f3}}{m_3} & \frac{c_{f3}}{m_3} & 0 & 0 & \frac{-k_3 + k_{f3}}{m_3} & \frac{-c_3 + c_{f3}}{m_3} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m_1 + m_4 + m_5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m_3} \end{bmatrix};$$

$$U = \begin{bmatrix} -F_3 + (m_4 e \omega_4^2 - k_4 e) \sin(\omega_4 t) + (m_5 e \omega_5^2 - k_5 e) \sin(\omega_5 t) - c_4 e \omega_4 \sin(\omega_4 t + \frac{\pi}{2}) - c_5 e \omega_5 \sin(\omega_5 t + \frac{\pi}{2}) \\ 2m\omega^2 r \sin(\omega t) \\ F_3 \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

На основе модели процесса в терминах переменных состояний разработана имитационная модель на языке MATLAB&Simulink, рис. 2.

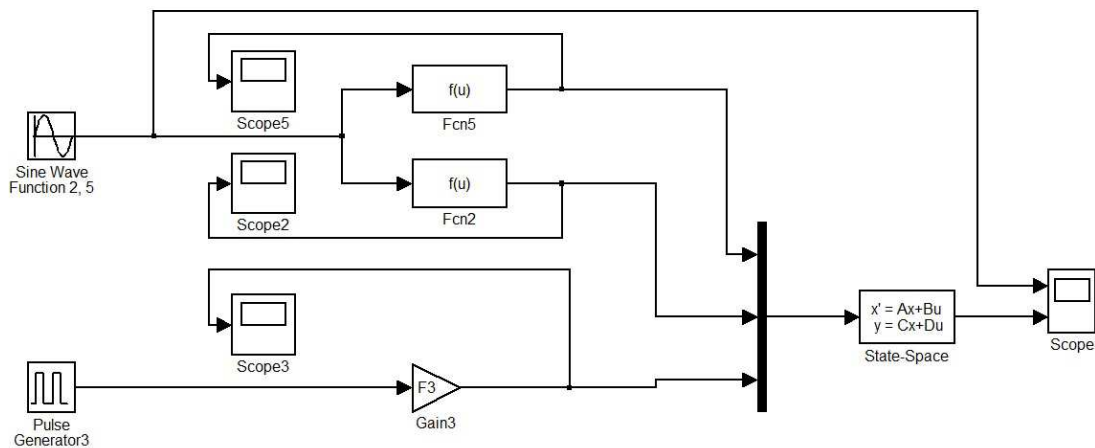


Рисунок 2 – Имитационная модель процесса уплотняющего рабочего органа укладчика

В результате исследовательской работы получена модель процесса уплотнения рабочим органом асфальтоукладчика и имитационная модель на языке MATLAB & Simulink.