

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ РАБОЧИМ ОРГАНОМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКА С ДВУМЯ ТРАМБУЮЩИМИ БРУСЬЯМИ

Московских А. А.,

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

Сибирский федеральный университет

Асфальтоукладчик – сложная дорожно-строительная машина, основное назначение которой – укладка асфальтобетонной смеси слоем заданной толщины, требуемой ширины с необходимой ровностью поверхности.

Сгруженная из грузового автомобиля асфальтобетонная смесь питателем перемещается к уплотняющему рабочему органу.

Уплотняющие агрегаты рабочего органа должны обеспечить высокое предварительное уплотнение, чтобы при окончательной укатке толщина слоя соответствовала проектной.

Основные элементы уплотняющего рабочего органа:

– трамбуемый брус (за счет эксцентрикового вала трамбуемый брус перемещается по вертикали);

– вибрационная плита (вибрация выглаживающей плиты вызывается дебалансным валом, расположенным в поперечном направлении);

– прессующая планка (планка под воздействием импульсов гидравлической жидкости оказывает давление на смесь максимум до 130 бар с частотой до 68 Гц).

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

Рассматриваемый вариант исполнения уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика представлен на рис. 1

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

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.

Цель работы: разработать математическую модель уплотнительного рабочего органа асфальтоукладчика и реализовать её методами имитационного моделирования.

Задачи исследования:

- проанализировать рабочий процесс уплотнения смеси асфальтоукладчиком;
- составить схему рабочего органа (динамическую модель);
- составить модель в переменных состояний;
- построить имитационную модель в среде Simulink;
- сформировать исходные данные динамической системы;
- провести имитационное моделирование, получить графические зависимости;
- выполнить анализ результатов.

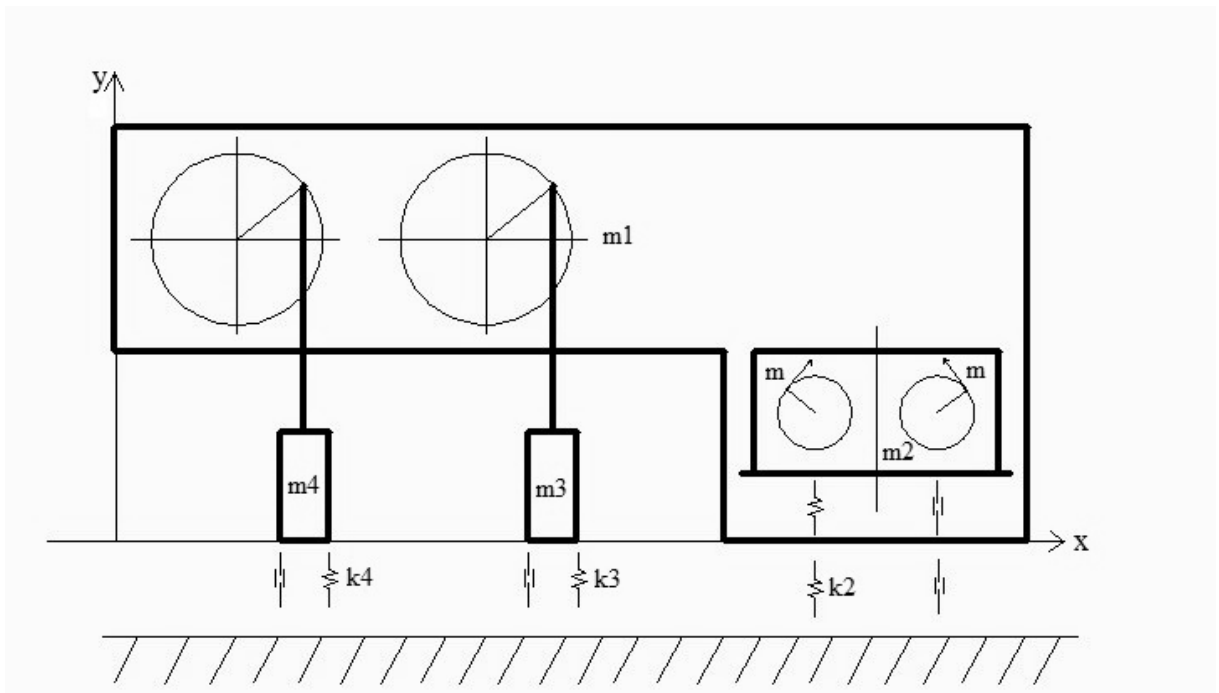


Рисунок 1 – Схема рабочего органа асфальтоукладчика

Где m_1 – масса рамы, m_2 – масса вибрационной плиты, m_3 – масса второго трамбующего бруса, m_4 – масса первого трамбующего бруса; x_1, x_2, x_3, x_4 – соответственно перемещения элементов.

На основе второго закона Ньютона получены дифференциальные уравнения.

Уравнение виброплиты:

$$m\ddot{x}_2 - c_2\dot{x}_1 + c_2\dot{x}_2 - k_2x_1 + k_2x_2 = 2m\omega^2 r \sin(\omega t). \quad (1)$$

Уравнение второго трамбующего бруса:

$$m_3\ddot{x}_3 + c_3\dot{x}_3 + k_3x_3 = f_3. \quad (2)$$

Уравнение первого трамбующего бруса:

$$m_4\ddot{x}_4 + c_4\dot{x}_4 + k_4x_4 = f_4; \quad (3)$$

Согласно принципам относительного движения получены уравнения:

$$x_3 = x_1 + e \sin(\omega_3 t); \quad (4)$$

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

Подставляем уравнение (4) в уравнение (2) и (5) в (3) получаем:

$$f_3 = m_3\ddot{x}_1 + c_3\dot{x}_1 + k_3x_1 - m_3e\omega_3^2 \sin(\omega_3 t) + k_3e \sin(\omega_3 t) + c_3e\omega_3 \sin\left(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}\right); \quad (6)$$

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

Уравнение движения рамы:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2) x_1 - k_2 x_2 = -f_3 - f_4. \quad (8)$$

Подставим уравнения (6) и (7) в уравнение (8):

$$\begin{aligned} & (m_1 + m_3 + m_4) \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) x_1 - k_2 x_2 = \\ & = (m_3 e \omega_3^2 - k_3 e) \sin(\omega t) + (m_4 e \omega_4^2 - k_4 e) \sin(\omega_4 t) - c_3 e \omega_3 \sin\left(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}\right) - c_4 e \omega_4 \sin\left(\omega_4 t + \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \quad (9)$$

Получены матрицы для модели в переменных состояниях.

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

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

$$U = \begin{bmatrix} (m_3 e \omega_3^2 - k_3 e) \sin(\omega t) + (m_4 e \omega_4^2 - k_4 e) \sin(\omega_4 t) - c_3 e \omega_3 \sin(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}) - c_4 e \omega_4 \sin(\omega_4 t + \frac{\pi}{2}) \\ 2m\omega^2 r \sin(\omega t) \end{bmatrix};$$

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

Построим модель на языке Simulink, рис. 2.

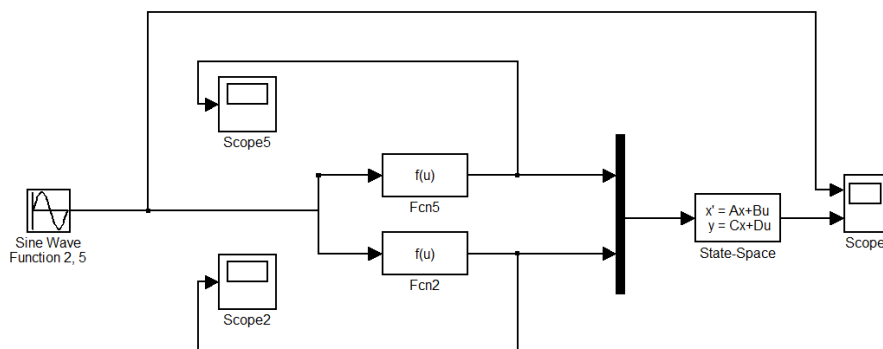


Рисунок 2 – Имитационная модель на языке программы Simulink

Сформированы исходные данные динамической системы процесса уплотнения.

Таблица 1 – Параметры динамической системы

| Показатель | Обозначение/единица измерения | Величина |
|--|-------------------------------|---------------------------|
| Коэффициент жесткости слоя дорожного покрытия под плитой | $k_1/ \text{Н м}^{-1}$ | $4,2 \times 10^6$ |
| Коэффициент демпфирования слоя дорожного покрытия под плитой | $c_1/ \text{Н с м}^{-1}$ | 3160 |
| Масса плиты | $m_1/ \text{кг}$ | 3×10^3 |
| Угловая скорость вибратора | $\omega/ \text{с}^{-1}$ | $25 \times 2 \times 3,14$ |
| Масса дебаланса | $m/ \text{кг}$ | 6 |
| Эксцентриситет дебаланса | $r/ \text{м}$ | $3,5 \times 10^{-2}$ |
| Масса вибратора | $m_2/ \text{кг}$ | 70 |
| Коэффициент жесткости вибрационного устройства | $k_2/ \text{Н м}^{-1}$ | $1,03 \times 10^7$ |
| Коэффициент демпфирования вибрационного устройства | $c_2/ \text{Н с м}^{-1}$ | $1,74 \times 10^4$ |
| Масса второго трамбующего бруса | $m_3/ \text{кг}$ | 260 |
| Коэффициент жесткости слоя дорожного покрытия под вторым трамбующим брусом | $k_3/ \text{Н м}^{-1}$ | $8,4 \times 10^5$ |
| Коэффициент демпфирования слоя дорожного покрытия под вторым трамбующим брусом | $c_3/ \text{Н с м}^{-1}$ | 1200 |
| Эксцентриситет второго трамбующего бруса | $e/ \text{м}$ | 3×10^{-3} |
| Угловая скорость вращения эксцентрикового вала привода второго трамбующего бруса | $\omega_3/ \text{с}^{-1}$ | |
| Масса первого трамбующего бруса | $m_4/ \text{кг}$ | 260 |
| Коэффициент жесткости слоя дорожного покрытия под первым трамбующим брусом | $k_4/ \text{Н м}^{-1}$ | $8,4 \times 10^5$ |
| Коэффициент демпфирования слоя дорожного покрытия под первым трамбующим брусом | $c_4/ \text{Н с м}^{-1}$ | 1200 |
| Эксцентриситет первого трамбующего бруса | $e/ \text{м}$ | 3×10^{-3} |
| Угловая скорость вращения эксцентрикового вала привода первого трамбующего бруса | $\omega_4/ \text{с}^{-1}$ | |

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