

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ РАБОЧИМ ОРГАНОМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКА С ОДНИМ ТРАМБУЮЩИМ БРУСОМ

Тиунова И. А.,

научный руководитель канд. техн. наук Климов А. С.

Сибирский федеральный университет

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.

Асфальтоукладчик применяется для эффективного распределения асфальтобетонной смеси на участке строительства или ремонта дорожного покрытия.

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 прессующей планкой. Завершающее уплотнение осуществляется вибрационной плитой.

Основной функцией рабочего органа асфальтоукладчика является равномерное уплотнение смеси по всей рабочей ширине. Уплотнительные агрегаты рабочего органа должны обеспечить высокое предварительное уплотнение, чтобы при окончательной укатке дорожными катками различная толщина уложенного слоя оказывала малое влияние на ее изменение.

Основные элементы рабочего органа асфальтоукладчика:

- трамбуемый брус (за счет эксцентрикового вала трамбуемый брус перемещается по вертикали);
- вибрационная плита (вибрация выглаживающей плиты вызывается дебалансным валом, расположенным в поперечном направлении);

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

Рассматривается вариант исполнения уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика с одним трамбуемым брусом, рис. 1

Основными элементами данного рабочего органа являются трамбуемый брус и виброплита.

Трамбуемый брус предназначен для предварительного уплотнения асфальтобетонной смеси, а также для возбуждения колебаний плиты, что улучшает уплотнение слоя.

Плита служит для получения плоского горизонтального, односкатного или двухскатного профиля. Плита по длине разделена на две части, соединенные внизу шарниром, а сверху – винтовой стяжкой. Винтами края выглаживающей плиты поднимаются или опускаются, благодаря чему производится регулировка толщины укладываемого слоя смеси по всей ширине полосы.

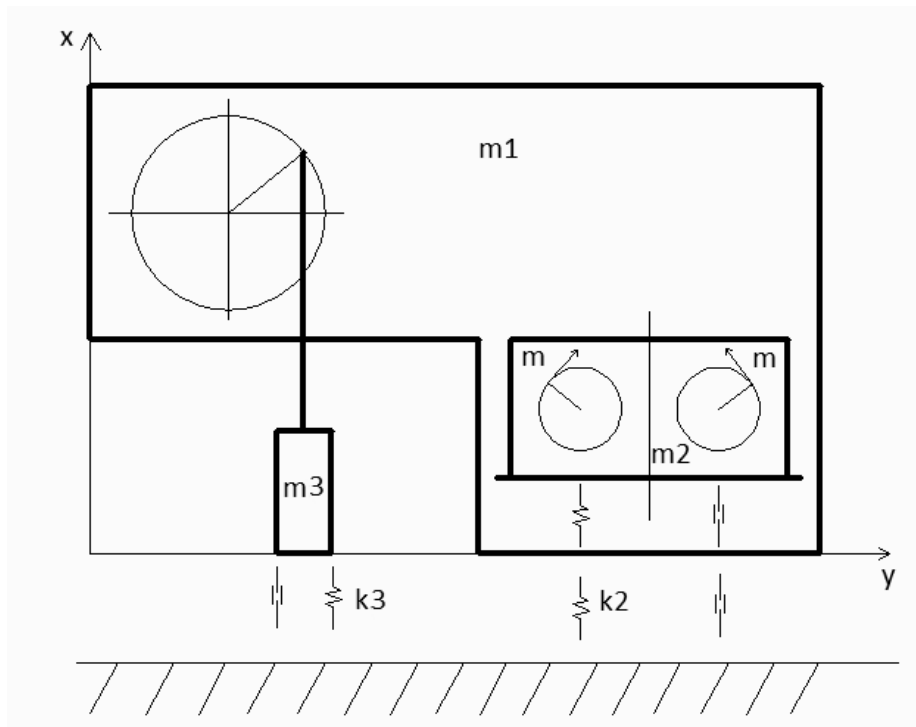


Рисунок 1 – Расчетная схема уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика

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.

Для решения полученной системы дифференциальных уравнений применен алгоритм численного метода. Уравнения преобразованы в модель процесса в терминах переменных состояний.

Реализован численный алгоритм решения задачи программными средствами MATLAB&Simulink при различной частоте и амплитуде вибрационного процесса. Где x_1 , x_2 и x_3 – соответственно перемещение элементов.

Согласно второму закону Ньютона уравнение вибратора

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 - k_2 x_1 + k_2 x_2 = 2m\omega^2 r \sin(\omega t). \quad (1)$$

По второму закону Ньютона уравнение бруса

$$m_3 \ddot{x}_3 + c_3 \dot{x}_3 + k_3 x_3 = f_3. \quad (2)$$

Согласно принципам относительного движения

$$x_3 = x_1 + e \sin(\omega_3 t). \quad (3)$$

Переходя от (3) к (2), получаем следующее уравнение

$$f_3 = m_3 \ddot{x}_1 + c_3 \dot{x}_1 + k_3 x_1 + m_3 e \omega_3^2 \sin(\omega_3 t) + k_3 e \sin(\omega_3 t) + c_3 e \omega_3 \sin\left(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (4)$$

Согласно второму закону Ньютона, уравнение рамы

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2) x_1 - k_2 x_2 = -f_1. \quad (5)$$

Переходя от (4) к (5) получим следующее уравнение (6)

$$\begin{aligned} (m_1 + m_3) \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2 + c_3) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2 + k_3) x_1 - k_2 x_2 = \\ = (m_3 e \omega_3^2 - k_3 e) \sin(\omega_3 t) - c_3 e \omega_3 \sin\left(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

Таблица 1. Параметры исследуемой динамической системы

| Показатель | Обозначение/единица измерения | Величина |
|--|-------------------------------|----------------------|
| Коэффициент жесткости слоя дорожного покрытия под плитой | $k_4 / \text{Н м}^{-1}$ | $4,2 \times 10^6$ |
| 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 x 2 x 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 трамбующего бруса | $m_5 / \text{кг}$ | 260 |
| Коэффициент жесткости слоя дорожного покрытия под трамбующим брусом | $k_5 / \text{Н м}^{-1}$ | $8,4 \times 10^5$ |
| Коэффициент демпфирования слоя дорожного покрытия под трамбующим брусом | $c_5 / \text{Н с м}^{-1}$ | 1200 |
| Рабочее усилие трамбующего бруса | $f_5 / \text{Н}$ | |
| Эксцентриситет трамбующего бруса | $e / \text{м}$ | 3×10^{-3} |
| Угловая скорость вращения эксцентрикового вала привода трамбующего бруса | $\omega_5 / \text{с}^{-1}$ | |

Модель в пространстве состояний связана с записью дифференциальных уравнений в стандартной форме Коши (в виде системы уравнений первого порядка):

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu; \\ y &= Cx + Du. \end{aligned}$$

Здесь x – вектор переменных состояния размера $n \times 1$, u – вектор входных сигналов (вектор управления) размера $m \times 1$ и y – вектор выходных сигналов размера $p \times 1$. Кроме того, A, B, C и D – постоянные матрицы. Согласно правилам матричных вычислений, матрица A должна быть квадратной размера $n \times n$, матрица B имеет размер $n \times m$, матрица C – $p \times n$ и матрица D – $p \times m$. Для систем с одним входом и одним выходом матрица D – скалярная величина.

Получены матрицы постоянных

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

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}; D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; U = \begin{bmatrix} (m_3 e \omega_3^2 - k_3 e) \sin(\omega_3 t) - c_3 e \omega_3 \sin(\omega_3 t + \frac{\pi}{2}) \\ 2m\omega^2 r \sin(\omega t) \end{bmatrix}.$$

Получена имитационная модель процесса уплотнения смеси рабочим орган асфальтоукладчика.

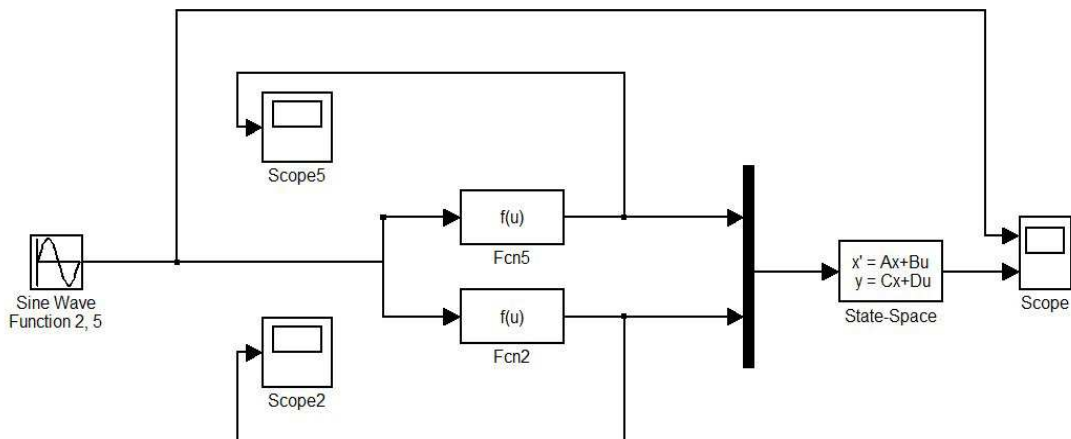


Рисунок 2 – Имитационная модель процесса уплотнения рабочим органом асфальтоукладчика на языке Simulink

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

Дальнейшее исследование и компьютерное моделирование предполагается провести для различных типов укладочных машин.