

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ДОРОЖНЫМИ КАТКАМИ

Клевцова О.Г.

Научный консультант – канд. техн. наук, доцент Прокопьев А.П.

Сибирский федеральный университет

В дорожном строительстве широкое распространение получили вибрационные катки. Рабочий процесс вибрационного катка направлен на достижение требуемой плотности асфальтобетонного покрытия, за счет многократных воздействий вальцом (вальцами) на уплотняемый материал, с повторяющимися проходами. Уплотняемая среда – асфальтобетон, характеризуется существенной нелинейностью, из-за температурной сегрегации, непрерывного изменения характеристик, накопления деформации и других факторов, что требует постоянного внимания со стороны оператора за управлением режимами работы вибрационного катка. Обеспечение эффективной работы катков возможно только за счет автоматизации технологических процессов.

Производство дорожных катков предприятиями России растет. Автоматизированных подсистем на отечественные катки производители не предлагают. Необходимость проведения научных работ по совершенствованию конструкций и систем управления вибрационных катков, определяется наличием большого числа нерешенных научно-исследовательских задач теории рабочего процесса уплотнения среды, а также наличием проблем обеспечения качества дорожного покрытия.

Вибрационный каток как объект управления, на основе известных теоретических положений процесса уплотнения, можно характеризовать как дискретно-непрерывную систему. Дискретность динамической системы характеризуется частотой воздействия вальца на уплотняемую среду, а непрерывность определяется изменением во времени характеристик напряженно-деформированного состояния уплотняемой среды.

Анализ объекта управления предполагает разработку и описание статических и динамических моделей. Наибольшие трудности появляются при идентификации нелинейного объекта. Эти задачи могут решаться на основе экспериментальных данных или дифференциальных уравнений.

Проведение экспериментальных исследований дорожно-строительных машин в реальных условиях эксплуатации строительства асфальтобетонных покрытий, является не эффективным процессом из-за большой трудоемкости, стоимости и сложности организации работ в соответствии с планом испытаний. К наиболее практичным относятся методы компьютерного моделирования с применением мощных математических программных средств, к которым можно отнести пакет программ MATLAB&Simulink.

Целью данной работы является разработка компьютерной имитационной модели процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком на основе пакета программ MATLAB&Simulink. Объектом исследования является процесс уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком.

Основными показателями, характеризующими напряженно-деформированное состояние упруго-вязко-пластичной среды в процессе уплотнения, являются контактное напряжение и величина деформации.

Широкое распространение для описания уплотняемой среды у российских и зарубежных ученых получили методы реологии. Существующие реологические модели не нашли широкого практического применения из-за отсутствия выходных реологических характеристик этих моделей, которые можно получить в результате экспериментальных исследований.

Для решения поставленной задачи в качестве базовой принята теория уплотнения, предложенная в СибАДИ. С учетом конструктивных элементов катка, схема модели вибрационного процесса уплотнения асфальтобетонной смеси приведена на рис. 1. Модель условно можно разделить на две части: первая описывает динамику колебаний вибрационного вальца, вторая – реологические свойства уплотняемой среды.

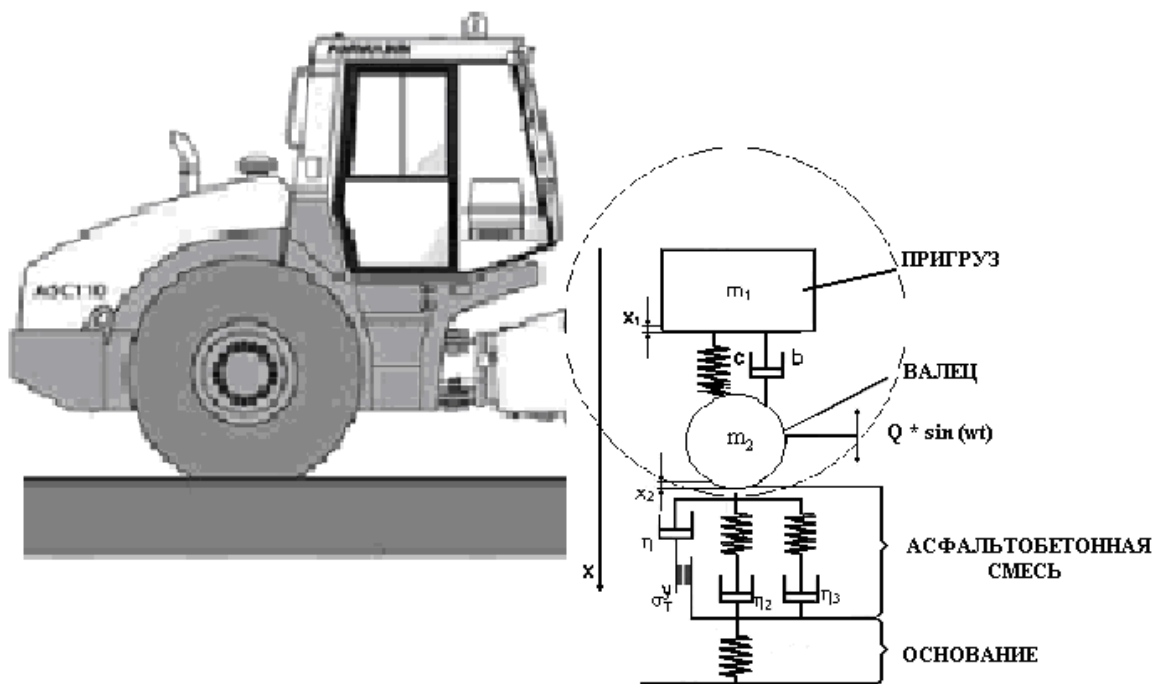


Рисунок 1 - Модель вибрационного уплотнения асфальтобетонной смеси дорожным катком

Дифференциальные уравнения колебательной системы запишутся следующим образом:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} + b \left(\frac{dx_1(t)}{dt} - \frac{dx_2(t)}{dt} \right) + c(x_1(t) - x_2(t)) = m_1 \cdot g; \\ m_2 \cdot \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} - b \left(\frac{dx_1(t)}{dt} - \frac{dx_2(t)}{dt} \right) - c(x_1(t) - x_2(t)) = Q \cdot \sin(\omega t) + m_2 \cdot g - P(t), \end{cases} \quad 1)$$

где m_2 – масса вальца, которому сообщаются гармонические колебания от вибровозбудителя, кг; m_1 – масса пригруза (масса рамы вальца, приходящаяся на

вибрирующий валец), кг; x_1 – вертикальное перемещение корпуса катка, возникающее от вращения дебалансного вала вальца и передающееся через резиновые амортизаторы, м; x_2 – вертикальное перемещение вибровальца, м; b – коэффициент вязкого трения резиновых амортизаторов, Па с/м; c – жесткость резиновых амортизаторов, Н/м; Q – вынуждающая сила вибровозбудителя, Н; ω – угловая частота вращения вала вибровозбудителя, рад/с; t – время вибрационного воздействия на смесь, с; $P(t)$ – реакция на валец со стороны уплотняемой смеси, Н.

Для удобства проведения имитационного моделирования, уравнения, приведенные Пермяковым В.Б., были преобразованы, что позволило более детально исследовать динамические процессы.

После преобразования система уравнений имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d^2 \varepsilon(t)}{dt^2} &= \frac{(m_1 + m_2) \cdot g}{(0,02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сл}}(t)} + \frac{Q}{(0,02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сл}}(t)} \cdot \sin(\omega t) - \\ &\quad - \frac{L_{AB}(t) \cdot B}{(0,02 \cdot m_1 + m_2) \cdot h_{\text{сл}}(t)} \cdot \sigma_k(t); \\ \frac{d^2 \sigma_k(t)}{dt^2} &= - \frac{\theta_2 \cdot n + \theta_3 \cdot m}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m} \frac{[\sigma_k(t) - \sigma_T^y]}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m} + \\ &\quad + \frac{\eta_2 + \eta_3}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m} \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \frac{\eta_2 \cdot \theta_3 + \eta_3 \cdot \theta_2}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot n \cdot m} \cdot \frac{d^2 \varepsilon(t)}{dt^2}, \end{aligned} \right. \quad 2)$$

где B – ширина вальца, м; $h_{\text{сл}}(t)$ – толщина слоя смеси, м; $L_{AB}(t)$ – длина дуги контакта вальца со смесью, м; θ_2, θ_3 – время быстрой и медленной релаксации напряжений, соответственно, с; n, m – коэффициенты, постоянно изменяющиеся в процессе уплотнения; η – вязкость смеси; Па с.

По полученной модели процесса уплотнения проведено моделирование динамики рабочего процесса. Получены зависимости контактного давления вальца и абсолютной деформации смеси от времени контакта вальца с уплотняемой смесью, а также ускорения изменения деформации уплотняемой среды, рис. 2 - 4.

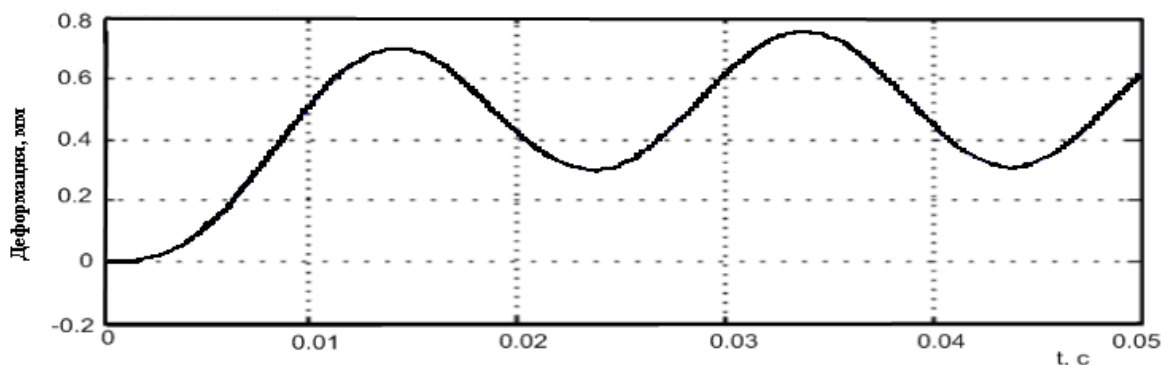


Рисунок 2 - Зависимость контактного давления вальца от времени контакта вальца с уплотняемой смесью

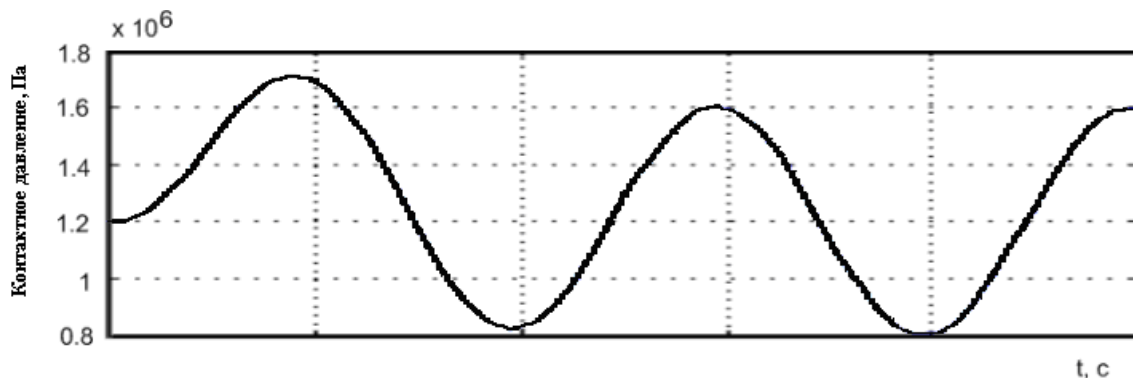


Рисунок 3 - Зависимость абсолютной деформации от времени контакта вальца с уплотняемой смесью

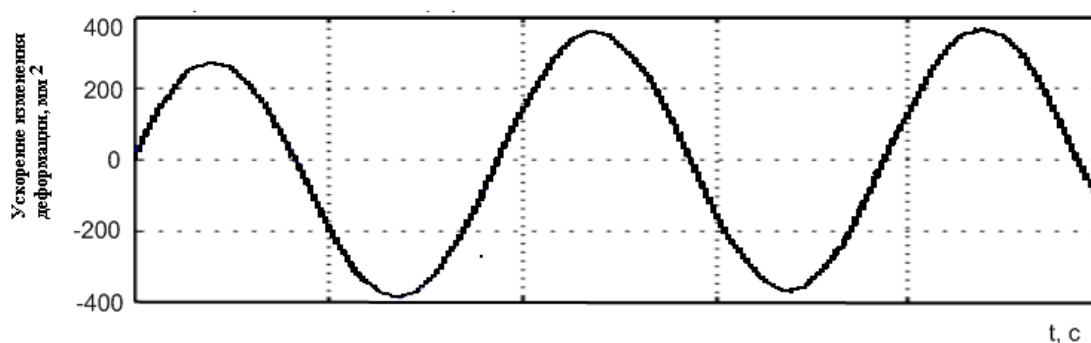


Рисунок 4 - Зависимость ускорения изменения деформации среды от времени контакта вальца с уплотняемой смесью

В работе выполнена обработка результатов исследования методом планирования эксперимента. Для анализа результатов были выбраны следующие параметры, влияющие на реологические свойства уплотняемой среды и динамику вибрационных свойств вальца, а также диапазоны изменения этих параметров:

- время быстрой θ_2 и медленной θ_3 релаксации напряжений, изменяющиеся в диапазонах: $\theta_2 = 0,005 \dots 0,05$ с, $\theta_3 = 0,5 \dots 10$ с;
- вязкость смеси η ($0,1 \dots 0,6$ МПа·с);
- частота вибрации f ($40 \dots 50$ Гц).

Используя опытные данные и указанные факторы, рассчитаны параметры регрессионных моделей. Погрешности вычислений составили:

- для контактного давления 0,1 %;
- для деформации 8 %;
- для ускорения изменения деформации 0,6 %.

В данной работе достигнуты следующие результаты:

модель Пермякова В. Б. преобразована к виду, более удобному для моделирования, позволяющая упростить исследования динамических процессов при изменении параметров катка и среды;

моделирование и результаты исследования методом планирования эксперимента показали адекватность с результатами других ученых;

результаты работы могут использоваться для целей идентификации параметров среды и параметров вибрации при разработке системы автоматического управления процессом уплотнения, в частности для выбора соответствующих датчиков контактного давления, деформации, ускорения изменения деформации.