

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ВИБРАЦИОННЫМ КАТКОМ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОКРЫТИЯ

Кушнарев А.О.,

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

Сибирский федеральный университет

Одним из путей повышения производительности и снижения энергоемкости процесса уплотнения является обоснование рациональных параметров катков и энергоэффективных режимов их работы.

Объект исследования – физико-механические свойства асфальтобетонной смеси, процесс уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком.

Предмет исследования – закономерности изменения физико-механических свойств асфальтобетонной смеси в процессе уплотнения в зависимости от температуры, закономерности взаимодействия вальца вибрационного катка с уплотняемым материалом.

Общая методика исследований предусматривает комплексный экспериментально–теоретический подход, включающий:

– моделирование процесса уплотнения конструктивных слоев дорожных одежд нежесткого типа вибрационным катком с учетом температуры покрытия;

– экспериментальное исследование с целью проверки работоспособности модели.

Цель работы: разработка модели процесса уплотнения конструктивных слоев дорожных одежд нежесткого типа вибрационным катком с учетом температуры покрытия.

Качественно новый уровень выполнения практически всех видов дорожных и дорожно-строительных работ обеспечивает технология спутникового позиционирования на основе систем ГЛОНАСС/GPS, одним из направлений применения которой являются цифровые 3D-цифровые системы автоматического нивелирования, интеллектуальные САУ дорожных катков.

Одним из эффективных методов физических исследований является метод аналогий. Сущность этого метода заключается в том, что некоторым параметрам реальной физической системы сопоставляются параметры вспомогательной физической системы (модели).

Реологическая модель отображает такие свойства смеси, как вязкость, упругость, текучесть. Благодаря такой модели можно с помощью математических моделей, уравнений и современных программ проследить поведение смеси при различных нагрузках и условиях.

Свойства асфальтобетонной смеси в значительной степени определяются ее температурой. В процессе уплотнения сопротивление смеси деформированию возрастает за счет увеличения плотности и снижения температуры. Поэтому очень важно процесс уплотнения провести в благоприятных температурных условиях, когда смесь имеет минимальное сопротивление деформированию.

Уложенный на основание слой горячей смеси остывает не только за счет теплообмена с основанием и воздухом, но и за счет контакта поверхности слоя смеси с рабочим органом уплотняющего средства. Особенно этот процесс идет интенсивно при низких температурах воздуха. В связи с этим некоторые исследователи рекомендуют ограничить контакт поверхности покрытия с холодными металлическими вальцами или проводить предварительный их разогрев или уплотнение весте пневмокатками.

Для обеспечения качества и снижения энергоемкости процесса уплотнения были проведены исследования по изучению интенсивности остывания смеси при взаимодействии с рабочими органами катков.

Процесс остывания поверхности асфальтобетонного покрытия во время уплотнения можно описать дифференциальным уравнением вида [1]:

$$\frac{\partial T(x_1, t)}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 T(x_1, t)}{\partial x_1^2} - S \cdot \frac{\partial T(x_1, t)}{\partial x_1},$$

$$S \cdot t \leq x_1 \leq \infty,$$

где T – температура асфальтобетонной смеси, °С; t – время, ч; α – коэффициент температуропроводности асфальтобетонной смеси, м²/ч; S – скорость уменьшения толщины асфальтобетонного слоя, м/ч; x_1 – толщина слоя смеси, м.

В начальный момент времени слой асфальтобетонной смеси по всей толщине x_1 имеет температуру T_0 :

$$T(x_1, 0) = T_0 = \text{const.}$$

В результате преобразований температуру поверхности асфальтобетонной смеси в цикле «пауза – обжатие» в градусном выражении можно представить уравнением:

$$T(t) = T_0 - V(Bi, \tau) \cdot (T_0 - T_c).$$

Вопрос повышения эффективности процесса уплотнения асфальтобетонных смесей является очень актуальным и перспективным. Для достижения поставленной цели необходимо обосновать параметры и конструкцию уплотняющей машины – вибрационного катка с учетом физико-механических и реологических свойств уплотняемого материала. Рассматриваем колебательную систему «вибровалец – асфальтобетонная смесь» с целью описания ее динамических параметров. Кроме этого, описывается процесс взаимодействия вальца с уплотняемой смесью (с учетом постоянно изменяющихся свойств последней) с целью обоснования рациональных параметров катка, обеспечивающих эффективное уплотнение асфальтобетонной смеси.

Аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком разработано В.Б. Пермяковым, В.В. Дубковым и В.С. Серебренниковым (СибАДИ) [2]. Данное описание отражает зависимости контактных давлений вибрационного вальца и деформаций поверхности смеси под вальцом от времени контакта с уплотняемым материалом.

Результаты исследований различных авторов показывают, что для эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей необходимо, чтобы возникающие под рабочим органом контактные давления σ_k были не меньше их предела текучести σ_T , но не больше предела прочности $\sigma_{пр}$, т.е. $\sigma_T(T(t)) \leq \sigma_k(T(t), t) \leq \sigma_{пр}(T(t))$. Если $\sigma_T(T(t)) > \sigma_k(T(t), t)$, то процесс уплотнения происходит не результативно, т.к. в этом случае под действием уплотняющих средств в смесях медленно накапливаются остаточные деформации.

При $\sigma_k(T(t), t) > \sigma_{пр}(T(t))$ процесс уплотнения переходит в процесс разуплотнения, когда превышает в смеси запас деформативной способности, и она разрушается на отдельные части.

Для исследования вопроса о влиянии температура на вязкость асфальтовых смесей в процессе уплотнения, асфальтобетон при температурах 60, 80, 100 и 120°C был подвергнут вибрированию с амплитудой колебаний 0,25 мм и частотой 2000, 36000, 51000 и 63000 кол/мин.

В результате регрессионного анализа получена однофакторное уравнение зависимости вязкости асфальтобетонной смеси от температуры смеси:

$$\eta = 3 \cdot 10^{20} \cdot T(t)^{-8,6497}$$

$$R^2 = 0,98 .$$

Двухфакторная модель зависимости вязкости от температуры асфальтобетонной смеси и частоты вибрирования.

В процессе уплотнения асфальтобетонной смеси изменяется частота вибрирования, которая существенно влияет на вязкость смеси. Рассмотрим двухфакторную модель: зависимость вязкости асфальтобетонной смеси от температуры смеси и от величины частоты (см. табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные для построения двухфакторной модели зависимости вязкости от температуры асфальтобетонной смеси и частоты колебаний

Температура, °C	Частота, Гц	Вязкость, Па·с
60	33,3	$1,6 \cdot 10^8$
60	60	$1,4 \cdot 10^8$
60	85	$6,5 \cdot 10^7$
60	105	$3,0 \cdot 10^7$
80	33,3	$1,8 \cdot 10^7$
80	60	$8,5 \cdot 10^6$
80	85	$4,0 \cdot 10^6$
80	105	$1,2 \cdot 10^6$
100	33,3	$2,0 \cdot 10^6$
100	60	$9,6 \cdot 10^5$
100	85	$3,0 \cdot 10^5$
100	105	$7,5 \cdot 10^4$
120	33,3	$1,5 \cdot 10^6$
120	60	$1,7 \cdot 10^5$
120	85	$2,6 \cdot 10^5$
120	105	$8,8 \cdot 10^4$

Построение двухфакторной модели зависимости вязкости от температуры асфальтобетонной смеси и частоты колебаний основано на регрессионном анализе имеющихся опытных данных, полученных из исследований С.К. Носкова [3].

В регрессионном анализе вычисляется экспоненциальная кривая, аппроксимирующая данные и возвращается массив значений, описывающий эту кривую. Поскольку данная функция возвращает массив значений, она должна вводиться как формула массива.

Уравнение кривой имеет вид $y = b \cdot (m_1^{x_1}) \cdot (m_2^{x_2})$ (в случае двух значений x), где зависимые значения y являются функцией независимых значений x . Значения m являются основанием, возводимым в степень x , а значения b постоянны. Заметим, что y , x и m могут быть векторами. Функция MS EXCEL ЛГРФПРИБЛ возвращает массив $\{mn; mn-1; \dots; m1; b\}$.

В результате корреляционно-регрессионного анализа получены данные представленные в табл. 2.

Таблица 2. Результаты регрессионного анализа двухфакторной модели.

m_2	m_1	b	R^2
0,958554536	0,904551639	5,21454E+11	0,907093888

На основе полученного решения составим функцию зависимости вязкости от температуры смеси и от частоты вибрирования:

$$\eta(T(t), \nu) = 5,21454 \cdot 10^{11} \cdot (0,958554536^{T(t)}) \cdot (0,904551639^{\nu}),$$

где ν – частота вибрирования, Гц.

При этом, коэффициент детерминации (качественная оценка степени связи полученных переменных) $R^2=0,91$.

В дальнейшем аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком, в рамках учета изменения физико-механических свойств смеси (вязкости) рассматривается на основе двух моделей: однофакторной и двухфакторной.

Используя полученные зависимости изменения температуры асфальтобетонной смеси в процессе уплотнения и контактного давления вибрационного катка получена модель:

$$K_y(T(t), t) = 0,00434 \cdot (T_0 - V(Bi, \tau) \cdot (T_0 - T_c)) + 0,548 + \\ + \ln\left(\frac{(m_1 + m_2) \cdot g}{L_{AB}(t) \cdot B} + \frac{Q}{L_{AB}(t) \cdot B} \cdot \sin \omega t - \frac{(0,02 \cdot m_1 + m_2)}{L_{AB}(t) \cdot B} \cdot h_{cl}(t) \frac{d^2 \varepsilon}{dt^2}\right).$$

Вывод: в результате аналитического анализа разработана зависимость коэффициента уплотнения от температуры, физико-механических свойств асфальтобетонной смеси и технических характеристик вибрационного дорожного катка.

Список литературы

1. Пермяков В.Б., Дубков В.В. Аналитическое исследование изменения температуры поверхности асфальтобетонной смеси в процессе уплотнения // Известия вузов. Строительство. – 1999. №11. – С. 88–92.
2. Пермяков В.Б., Дубков В.В., Серебренников В.С. Аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком // Омский научный вестник №1 (64). – С. 67–71.
3. Носков С.К. Упруго–пластично–вязкие свойства битума и асфальтовых смесей. В кн.: Исследования. Гидро– и теплоизоляционные материалы и конструкции. М., Изд–во литературы по строительству и архитектуре, 1955. – С. 86–116.