УДК 626.08.89

В. И. Сёмчен; С. Б. Партнов, канд. техн. наук, доц.
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В статье рассмотрены вопросы использования реологического моделирования физических сред для установления связи между параметрами вибрационных катков и физико-механическими свойствами материалов в процессе уплотнения.

Известно, что наибольшее влияние на характеристики рабочего оборудования дорожно-строительных машин к которым относят и вибрационные катки оказывает среда с которой взаимодействует рабочий орган.

Рассмотрим как происходит уплотнение асфальтобетонной смеси. Нагружение уплотняемого материала вызывает два вида деформаций – упругую и остаточную. Первоначально остаточная деформация является преобладающей, но по мере увеличения силовых воздействий, остаточная деформация уменьшается и приближается к 0, а упругая к максимуму. На этом этапе целесообразно изменить величину силовой нагрузки в сторону увеличения, что снова приведет к остаточным деформациям. Это правило, по возможности, должно выдерживаться в течение всего процесса уплотнения. Трудность его соблюдения состоит в том, что предел прочности и другие свойства материала в процессе уплотнения непрерывно изменяются под воздействием факторов окружающей среды и рабочего органа вибрационного катка и, следовательно, требуется соответствующее повышение действующей нагрузки.

Для установления связи между характеристиками вибрационного катка, напряжениями и деформациями в асфальтовом покрытии была составлена следующая реологическая модель (рисунок 1) описывающая процессы, протекающие при уплотнении асфальтобетонной смеси.

В принятой реологической модели можно выделить два блока, которые характеризуют комплекс свойств асфальтобетонного слоя.

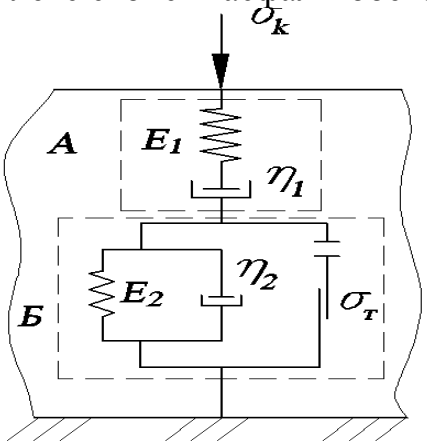

Рис. 1. Реологическая модель

Блок «А», предлагаемой реологической модели, представляет собой тело Максвелла, состоящее из последовательно соединенных элементов Гука, характеризуемого модулем упругости E_1 и элемента Ньютона, характеризуемого коэффициентом динамической вязкости η_1. Этот блок описывает с качественной стороны важное свойство асфальтобетонной смеси, заключающееся в ослаблении со временем напряженного состояния слоя при неизменной деформации.

Последовательно с блоком «А» включен блок «Б». Блок «Б» представляет собой модель упруго-вязкого тела Кельвина (среду Фойгта), состоящего из жесткой пружины E_2 и вязкого сопротивления η_2, соединенных параллельно. Новым в рассматриваемом блоке «Б» является то, что он дополнен жестко-пластическим телом Сен–Венана, характеризуемым пределом текучести σ_T. Данный элемент учитывает необратимые пластические деформации асфальтобетонной смеси и изображается в виде площадки сухого трения. При напряжениях ниже предела текучести блок работает как вязко-упругий элемент, а пластические деформации по данной модели развиваются при напряжениях удовлетворяющих условию текучести $\sigma_K \geq \sigma_T$. Таким образом при нагружении слоя асфальтобетонной смеси, блок «Б» ведет себя как простой амортизатор, но при разгрузке, достигнутая пластическая деформация фиксируется и остается постоянной.

Вследствие малой толщины уплотняемого слоя асфальтобетонной смеси можно считать, что физико-механические свойства уплотняемого материала неизменны по толщине слоя, тогда $E_1 = E_2 = E$ *и* $\eta_1 = \eta_2 = \eta$.

Так как общая деформация при последовательном соединении элементов реологической модели будет равна сумме деформаций во всех элементах, то реологическое уравнение, описывающее напряженное состояние слоя асфальтобетонной смеси по представленной выше модели, запишется в виде:

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{\sigma_K}{E} + \frac{\sigma_K}{\eta} \cdot t + \frac{(\sigma_K - \sigma_T)}{E}(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_o}}), \qquad (1)$$

где ε_{Π} – полная относительная деформация слоя; E – модуль упругой деформации; η – коэффициент динамической вязкости; t_1 – период времени с момента приложения нагрузки; τ_0 – период запаздывания упругой деформации

После снятия нагрузки при $\sigma_K = 0$ упругая часть деформации будет восстанавливается согласно уравнению:

$$\varepsilon_Y = \frac{-\sigma_T}{E}(1 - e^{-\frac{t_2}{\tau_o}}) \quad , \qquad (2)$$

где ε_Y – полная относительная деформация слоя; t_2 – период времени с момента снятия нагрузки.

С учетом восстановления обратимой деформации формула (1) для определения остаточной деформации запишется в виде:

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_K}{E} + \frac{\sigma_K}{\eta} \cdot t + \frac{(\sigma_K - \sigma_T)}{E}(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_o}}) - \frac{\sigma_T}{E}(1 - e^{-\frac{t_2}{\tau_o}}) \qquad (3)$$

Рассмотрим схему взаимодействия жесткого вальца катка с уплотняемой средой, представленной на рис. 2.

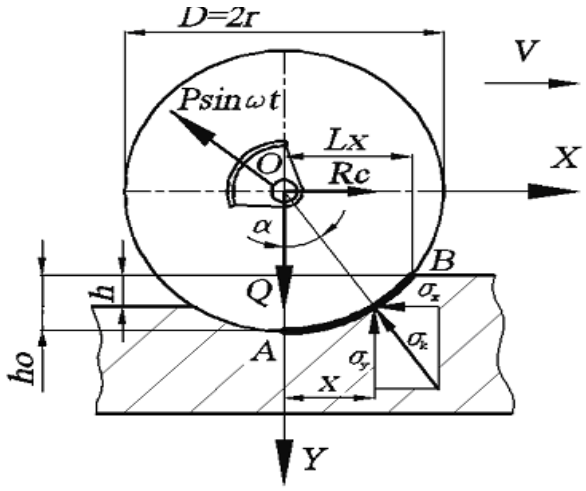

Рис. 2. Схема определения давлений под вальцом катка

Под действием вертикальной нагрузки Q и вертикальной составляющей вынуждающей силы вибратора валец деформирует уплотняемый материал и, передвигаясь со скоростью V, образует колею глубиной h_0. По дуге контакта L возникает реактивное давление распределенное по площади контакта вальца с уплотняемым слоем асфальтобетонной смеси. Реакция уплотняемого материала является радиальным напряжением $\sigma_к$ которое раскладывается на вертикальную $\sigma_В$ и горизонтальную $\sigma_Г$ составляющие.

Как видно из схемы (рис. 2) нормальную составляющую контактного напряжения можно определить по формуле

$$\sigma_к = \frac{Q + P\sin\omega t}{B\sqrt{Dh_0 - h_0^2}} \quad , \tag{4}$$

где Q – вес приходящийся на валец; $Psin\omega t$ –вертикальная составляющая инерционной сила вибратора; B – ширина пятна контакта равная ширине вальца; $\sqrt{Dh_0 - h_0^2}$ – горизонтальная проекция линии контакта.

С учетом того, что инерционная сила вибратора связана с параметрами вибровозбудителя зависимостью $P=m_Д r_Д \omega^2$, выражение (4) запишется в виде:

$$\sigma_к = \frac{Q + (m_Д r_Д \cdot \omega^2)\sin\omega t}{B\sqrt{Dh_0 - h_0^2}} \quad , \tag{5}$$

где $m_Д$ – неуравновешенная масса дебаланса; $r_Д$ – расстояние от оси вращения до центра тяжести дебаланса; ω – частота вращения дебаланса.

Полученная зависимость выражает связь между контактными давлениями $\sigma_к$ под вальцом катка и его основными параметрами.

Подставив выражение (5) в реологическое уравнение (4), и умножив его на толщину слоя асфальтобетонной смеси до прохода катка, получим выражение для определения осадки под вальцом катка за один проход в зависимости от геометрических размеров вальца, параметров вибровозбу-

дителя и физико-механических свойств асфальтобетонной смеси:

$$h_0 = H \cdot \frac{(Q + m_Д r_Д \cdot \omega \cdot \sin \omega t)(2 - e^{-\frac{\tau}{\tau_o}})\eta + E_Д}{E_Д \eta B \sqrt{Dh_0 - h_0^{\,2}}} + H \cdot \frac{\sigma_T}{E_Д}(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_o}}) \quad . \qquad (6)$$

Необходимую продолжительность уплотнения можно определить исходя из зависимости:

$$t = c/\mathrm{n}\,, \qquad (7)$$

где c – необходимое число приложений нагрузки для достижения деформации соответствующей необходимой плотности смеси; n – частота колебаний вибратора в единицу времени.

Необходимое число приложений вибрационной нагрузки за один проход по длине горизонтальной проекции дуги контакта вальца с материалом катка определим по формуле

$$\mathrm{c} = \mathrm{h}_0/\mathrm{A}\,, \qquad (8)$$

где h – осадка материала под вальцом равная абсолютной остаточной деформации ε; А – амплитуда колебаний вальца катка.

Определим амплитуду колебаний рабочего органа исходя из условия равенства инерционной силы колебаний дебаланса и вальца катка:

$$\mathrm{m_Д r_Д}\omega^2 = m_B \mathrm{A}\omega^2\,;$$

$$\mathrm{A} = \mathrm{m_Д r_Д}/\,\mathrm{m_B}\,, \qquad (9)$$

где $m_В$ – масса вальца катка и приходящейся на него части рамы; ω – частота колебаний вибратора.

Подставим выражения (8 и 9) в выражение (7) и получим:

$$t = \frac{h \cdot m_B \cdot \omega}{\pi \cdot m_Д \cdot r_Д} \quad . \qquad (10)$$

Рациональная скорость катка будет определяться зависимостью

$$V_K = L/t \quad . \qquad (11)$$

С учетом выражений (6) и (10) формула (11) запишется в виде:

$$V_K = \frac{\sqrt{Dh_0 - h_0^2} \cdot \omega \cdot m_Д \cdot r_Д}{\pi \cdot m_B \left(H \cdot \frac{(Q + m_Д r_Д \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t)(2\eta + Et - e^{-\frac{t}{\tau_o}})\eta + E}{E\,\eta B \sqrt{Dh_0 - h_0^{\,2}}} + H \cdot \frac{2\sigma_T}{E}(1 - e^{-\frac{t}{\tau_o}})\right)} \qquad (12)$$

Полученное выражение (12) представляет собой взаимосвязь скорости движения катка от установленных параметров вибровозбудителя и физико-механических свойств уплотняемого материала.

Варьируя различные параметры машины с помощью представленных зависимостей, можно выбрать необходимую для достижения заданной плотности оптимальную скорость движения катка на всех этапах уплотнения, либо, решая обратную задачу, выбрать оптимальные параметры вибровозбудителя для заданной скорости движения катка, при этом в обоих случаях, согласно полученным выражениям, учитывается и изменение в процессе уплотнения физико-механических свойств асфальтобетонной смеси.