

УДК 693.95(075.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИОННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРЕССА С АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСЬЮ**А. Г. Маслов, С. В. Олейник**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kmt@mail.ru

Приведена расчетная схема вибрационного рабочего органа для уплотнения контрольных асфальтобетонных образцов. Разработана математическая модель «Вибрационный рабочий орган–уплотняемая смесь». Асфальтобетонная смесь представлена в виде системы с распределенными параметрами. Реологическая модель уплотняемой смеси состоит из множества последовательно соединенных элементов. Каждый из этих элементов состоит из динамического модуля упругой деформации и коэффициента сопротивления. Коэффициент сопротивления учитывает сцепление, внутреннее трение, затраты энергии на колебания и деформирование асфальтобетонной смеси. Исследован волновой процесс колебаний асфальтобетонной смеси. Установлены законы деформирования уплотняемого материала и колебаний вибрационного рабочего органа в зависимости от динамических характеристик смеси. Определена амплитуда колебаний вибрационного рабочего органа в зависимости от параметров динамической системы. Найден жесткость и приведенная масса уплотняемой смеси для исследования вибрационной ударной динамической системы.

Ключевые слова: вибрационный пресс, уплотнение асфальтобетона, взаимодействие.**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ВЗАЄМОДІЇ ВІБРАЦІЙНОГО РОБОЧЕГО ОРГАНА ПРЕСУ З АСФАЛЬТОБЕТОННОЮ СУМІШСЬЮ****О. Г. Маслов, С. В. Олейник**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kmt@mail.ru

Наведена розрахункова схема вібраційного робочого органу для ущільнення контрольних асфальтобетонних зразків. Розроблена математична модель «Вібраційний робочий орган–ущільнювана суміш». Асфальтобетонна суміш представлена у вигляді системи з розподіленими параметрами. Модель реології ущільнюваної суміші складається з множини послідовно сполучених елементів. Кожний з цих елементів складається з динамічного модуля пружної деформації і коефіцієнта опору. Коефіцієнт опору ураховує зчеплення, внутрішнє тертя, витрати енергії на коливання і деформацію асфальтобетонної суміші. Досліджений хвильовий процес коливань асфальтобетонної суміші. Встановлені закони деформації ущільнюваного матеріалу і коливань вібраційного робочого органу залежно від динамічних характеристик суміші. Визначена амплітуда коливань вібраційного робочого органу залежно від параметрів динамічної системи. Знайдена жорсткість і наведена маса ущільнюваної суміші для дослідження вібраційної ударної динамічної системи.

Ключові слова: вібраційний прес, ущільнення асфальтобетонну, взаємодія..

АКТУАЛЬНОСТЬ РОБОТЫ. В настоящее время для формирования контрольных образцов для испытаний качества приготовленной или уложенной в покрытие асфальтобетонной смеси по ГОСТ 9128–2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон» используются 50-ти или 100 тонные прессы статического действия (Методы испытаний по ГОСТ 12801–98). В результате предварительно проведенных исследований было установлено, что для формирования контрольных асфальтобетонных образцов может быть использован вибрационный пресс, при создании которого необходимо учесть взаимодействие его вибрационного рабочего органа с уплотняемой средой. Поэтому проведение исследований, направленных на создание малогабаритного вибрационного прессы для формирования асфальтобетонных образцов, сочетающего в себе простоту конструкции, малую энергоемкость и небольшую металлоемкость, является важной народнохозяйственной задачей.

На характер колебаний вибрационного рабочего органа и эффективность формирования контрольных асфальтобетонных образцов большое влияние оказывают физико-механические характеристики уп-

лотняемой среды [1]. Правильный учет сил сопротивления асфальтобетонной смеси во многом определяет точность установления закона колебаний рабочего органа вибрационного прессы, выбора его рациональных параметров и технологических параметров вибрационного воздействия на обрабатываемую среду, обеспечивающих эффективное уплотнение. К основным параметрам вибрационного воздействия относятся амплитуда и закон деформирования уплотняемой среды за каждый цикл колебаний, величина напряжений, возникающих в уплотняемом слое, угловая частота колебаний, продолжительность и характер вибрационного воздействия. Наибольший интерес представляет создание вибрационного прессы, работающего в виброударном режиме с нелинейной характеристикой и воздействующего на уплотняемую смесь вибрационными импульсами, обеспечивающими эффективное уплотнение асфальтобетонных образцов до требуемой технологическими нормами плотности [2]. Именно для создания виброударного прессы необходимо на первом этапе исследований определить динамические характеристики уплотняемого асфальтобетонного контрольного образца.

Целью настоящей работы является разработка высокоэффективного рабочего органа вибрационно-го прессы для уплотнения контрольных асфальтобетонных образцов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для определения характера взаимодействия рабочего органа вибрационного прессы с уплотняемой асфальтобетонной смесью при вертикально направленных колебаниях исследуем динамическую систему "Вибрационный рабочий орган – асфальтобетонная среда" (рис. 1). Вибрационный рабочий орган выполнен в виде виброплиты 1, которая подвешена на упругих амортизаторах 2 к реактивной плите 3. Виброплита 1 контактирует с опорной поверхностью уплотняемого асфальтобетонного образца 4. Форма 5 с уплотняемым асфальтобетонным образцом 4 установлена на жестком основании 6. В процессе уплотнения асфальтобетонного образца на виброплиту 1 действует возмущение в виде вертикально направленной гармонической силы $Q \sin \omega t$, а уплотняемая смесь представлена в виде системы с распределенными параметрами, реологическая модель (рис. 2) которой состоит из $1 \dots n$ элементов.

Здесь: Q – амплитуда возмущающей силы; ω – угловая частота колебаний; t – время.

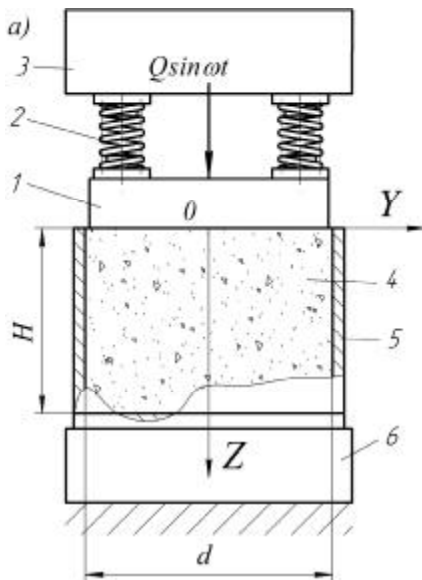


Рисунок 1 – Расчетная схема динамической системы "Вибрационный рабочий орган–асфальтобетонная среда"

Параметры виброплиты, реактивной плиты и упругой подвески подобраны таким образом, что амплитуда колебаний реактивной плиты составляет второй порядок малости по сравнению с амплитудой колебаний виброплиты и ее вынужденные колебания практически не влияют на закон движения виброплиты. При этом, в первом приближении, движение виброплиты можно рассматривать в виде колебаний одномассной системы, взаимодействующей с системой с распределенными параметрами.

На основании представленной реологической модели (рис. 2) зависимость между напряжением и деформацией обрабатываемой асфальтобетонной среды может быть в первом приближении описана следующим уравнением:

$$s(z,t) = E \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} + m \cdot u(z,t), \quad (1)$$

где u и z – эйлерова и лагранжева координаты; E – динамический модуль упругой деформации уплотняемой асфальтобетонной смеси; m – коэффициент сопротивления, учитывающий сцепление и внутреннее трение в асфальтобетонной смеси, затраты энергии на разрушение внутренних связей, вытеснение воздуха, переориентацию частиц и другие явления в уплотняемой среде, сопровождающие вибрационное уплотнение.

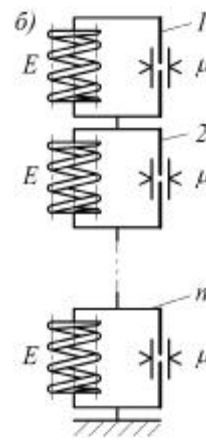


Рисунок 2 – Реологическая модель асфальтобетонной среды

Динамический модуль упругой деформации E асфальтобетонной смеси существенно зависит от ее типа (мало-, средне- или многощебенистая), плотности и температуры [1]. Для диапазона температур от 130–150 °С, при котором обычно осуществляется укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей, зависимость динамического модуля упругой деформации E от относительной плотности

$$e = \frac{r - r_0}{r_k - r_0} \quad (2)$$

может быть представлена в виде следующей показательной функции [1]:

$$E = E_0 \left[1 + \Omega \left(\frac{r - r_0}{r_k - r_0} \right)^z \right], \quad (3)$$

где E_0 – динамический модуль упругой деформации неуплотненного асфальтобетонного слоя смеси при начальной плотности r_0 , значения $E_0 = 0,95; 1,1; 1,2$ МПа принимаются соответственно для малощебенистых, среднещебенистых и многощебенистых асфальтобетонных смесей при температуре 130–150 °С; r_k – значение плотности асфальтобетона в конце

уплотнения (полученное стандартным методом уплотнения); r – текущая плотность асфальтобетона от начального r_0 до конечного r_k значений плотности; Ω и z – экспериментальные коэффициенты, принимаемые соответственно 10 и 3.

Дифференциальное уравнение движения уплотняемой смеси в направлении координаты z за время t будет иметь вид:

$$\frac{\partial s(z,t)}{\partial z} = r \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial t^2} \quad (4)$$

или с учетом зависимости (1) –

$$E \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z^2} + m \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} = r \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial t^2} \quad (5)$$

Решение волнового уравнения колебаний (5) будем отыскивать при следующих граничных условиях:

$$-m_1 \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial t^2} - c_3 u(0,t) + EF \frac{\partial u(0,t)}{\partial z} + mFu(0,t) = -Q \sin wt; \quad (6)$$

$$u(H,t) = 0, \quad (7)$$

где m_1 – масса виброплиты; c_3 – коэффициент жесткости упругих амортизаторов в вертикальном направлении; F – площадь дна виброплиты, контактирующая с асфальтобетонной смесью; H – высота уплотняемого слоя смеси.

Для решения уравнения (5) представим функцию $u(z,t)$ в виде [3]:

$$u(z,t) = U(z) \sin wt, \quad (8)$$

где $U(z)$ – комплексная амплитуда колебаний, определяемая из граничных условий (6) и (7).

Подставляя выражение (8) в уравнение (5), получим уравнение

$$\frac{\partial^2 U(z)}{\partial z^2} + 2d_1 \frac{\partial U(z)}{\partial z} + k^2 U(z) = 0, \quad (9)$$

где k – волновое число, $k = w\sqrt{r/E}$; d_1 – коэффициент затухания возмущения в уплотняемом слое цементобетонной смеси, $d_1 = m/(2E)$.

Решение уравнения (9) будет иметь следующий вид:

$$U(z) = e^{-d_1 z} (M \sin k_1 z + N \cos k_1 z). \quad (10)$$

Поставляя полученное решение (10) уравнения (9) в выражение (8), получим зависимость для определения функции $u(z,t)$ в следующем виде:

$$u(z,t) = e^{-d_1 z} (M \sin k_1 z + N \cos k_1 z) \sin wt. \quad (11)$$

Здесь M и N – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий (7) и (8);

$$k_1 = \sqrt{k^2 - d_1^2}.$$

Подставляя выражение (11) в граничное условие (7), найдем соотношение между постоянными интегрирования M и N :

$$N = -M \sin k_1 H / \cos k_1 H. \quad (12)$$

Подставляя зависимость (12) в выражение (11), найдем решение волнового уравнения колебаний (5), удовлетворяющее граничному условию (7):

$$u(z,t) = M e^{-d_1 z} \frac{\sin[k_1(H-z)]}{\cos k_1 H} \sin wt. \quad (13)$$

Для отыскания постоянной интегрирования M подставим выражение (13) в граничное условие (6). Получим

$$M = \frac{Qctgk_1 H}{c_3 - m_1 w^2 + EFk_1 ctgk_1 H - 0,5mF}. \quad (14)$$

Подставляя полученное выражение (14) в зависимость (13), найдем искомое решение волнового уравнения колебаний (5), удовлетворяющего граничным условиям (6) и (7):

$$u(z,t) = \frac{Qctgk_1 H}{c_3 - m_1 w^2 + EFk_1 ctgk_1 H - 0,5mF} \times e^{-d_1 z} \frac{\sin k_1(H-z)}{\cos k_1 H} \sin wt. \quad (15)$$

Анализ полученного выражения показывает, что амплитуда колебаний уплотняемой среды

$$U(z) = \frac{Qctgk_1 H}{c_3 - m_1 w^2 + EFk_1 ctgk_1 H - 0,5mF} \times e^{-d_1 z} \frac{\sin k_1(H-z)}{\cos k_1 H}. \quad (16)$$

изменяется по некоторому экспоненциальному закону с изменением координаты z и носит волновой характер.

Таким образом, получено выражение, описывающее закон движения динамической системы "Вибрационный рабочий орган – асфальтобетонная среда". При $z > 0$ выражение (16) описывает колебания уплотняемой среды.

При $z = 0$ выражение (16) описывает колебания виброплиты:

$$u(0,t) = \frac{Q}{c_3 - m_1 w^2 + EFk_1 ctgk_1 H - 0,5mF} \sin wt. \quad (17)$$

Анализ полученного закона движения виброплиты (16) показывает, что выражение

$$A = \frac{Q}{c_3 - m_1 w^2 + F(Ek_1 ctgk_1 H - 0,5m)} \quad (18)$$

представляет собой амплитуду вынужденных колебаний виброплиты. При этом выражение

$$c_1 = FEk_1 ctgk_1 H \quad (19)$$

определяет жесткость, а выражение

$$m_2 = 0,5mF/w^2 \quad (20)$$

приведенную массу уплотняемой асфальтобетонной смеси.

Из выражения (18) следует, что амплитуда деформирования поверхности уплотняемого асфальтобетонного образца, во многом определяющая эффективность уплотнения, будет зависеть от массы виброплиты, жесткости упругой подвески и динамического модуля упругости уплотняемой среды, толщины уплотняемого слоя и фазовой скорости распространения волн деформаций, площади уплотняемой поверхности образца и коэффициента сопротивления m .

Полученные выражения (19) и (20) для определения жесткости и приведенной массы уплотняемого асфальтобетонного образца позволят определить основные параметры и режим работы рабочего органа вибрационного пресса, работающего в виброударном режиме.

ВЫВОДЫ. Получены аналитические выражения, позволяющие определить основные параметры рабочего органа вибрационного пресса для формирования контрольных асфальтобетонных образцов в за-

висимости от физико-механических характеристик формируемой асфальтобетонной смеси.

На основании волновой теории колебаний определены жесткость и приведенная масса уплотняемой среды, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве дискретной модели при определении рациональных параметров сложной двухмассовой нелинейной динамической системы, работающей в виброударном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Маслов А.Г., Пономарь В.М. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве. – Київ: Будівельник, 1985. – 128 с.
- 2 Маслов А.Г. Теоретические основы вибрационного уплотнения асфальтобетонных смесей // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. – 1983. – № 8. – С. 122–126.
- 3 Маслов А.Г., Иткин А.Ф. Исследование процесса уплотнения цементобетонной смеси на вибративной площадке с вертикально направленными колебаниями // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – Вип. 6/2004 (29). – Кременчук, 2004. – С. 86–91.

STUDY OF INTERACT BETWEEN THE PRESS EXECUTIVE DEVICE AND ASPHALT MIX

A. Maslov, S. Oleynik

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: kmt@mail.ru

The calculated scheme of vibrating executive device for compaction of asphalt test specimens is presented. The 'vibrating executive device – compactible mixture' mathematical model is developed, where asphalt mix is shown as a distributed parameters system. The rheological model of compacted mixture is composed of many cells in series. Each of them consists of the dynamic modulus of elastic deformation and resistance coefficient. Resistance coefficient takes into account the adhesion, internal friction, energy loss for fluctuations and deformation of asphalt mixture. The wave oscillation of asphalt mix is investigated. Laws of deformation of compactible material and vibrating executive device depending on the dynamic characteristics of mixture are established. The oscillatory amplitude of executive device is determined depending on the parameters of dynamic system. The compactible mixture stiffness and reduced mass for studying the vibration shock dynamical system are found.

Key words: vibrating press, asphalt compaction, interaction.

REFERENCES

1. Maslov A., Ponomar V. *Vibration machines and processes in road construction*. – Kyiv: Budivelnik, 1985. – 128 p. [in Russian]
2. Maslov A. Theoretical basis of vibrational compaction of asphalt mixes // *News of Universities. Construction and Architecture*. – 1983. – № 8. – PP. 122–126. [in Russian]
3. Maslov A. Study of the compaction of cement concrete mix at the vibration platform with vertical

vibrations // *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*. – 2004. – № 6/2004 (29). – Kremenchuk: KSPU, 2004. – PP. 86–91. [in Russian]

Стаття надійшла 05.12.2012.

Рекомендована до друку
д.т.н., проф. Саленко О.Ф.