

УДК 693.95(075.8)

РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОГО ПРЕССА ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

**А.Г. Маслов, проф., д.т.н., Ю.С. Саленко, доц., к.т.н., С.В. Олейник, асп.,
Кременчугский национальный университет
имени Михаила Остроградского**

Аннотация. Обоснована актуальность выполненных исследований. Описаны конструкция и принцип действия вибрационного пресса для уплотнения контрольных асфальтобетонных образцов. Определены рациональные параметры вибрационного пресса, работающего в виброударном режиме уплотнения асфальтобетонных образцов. Установлены закономерности движения рабочего органа вибрационного пресса в зависимости от основных параметров вибрационной установки.

Ключевые слова: вибрационный пресс, виброударный режим, уплотнение, асфальтобетон.

РОЗРОБКА ВІБРАЦІЙНОГО ПРЕСА ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ЗРАЗКІВ

**О. Г. Маслов, проф., д.т.н., Ю.С. Саленко, доц., к.т.н., С.В. Олійник, асп.,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського**

Анотація. Обґрунтовано актуальність виконаних досліджень. Описано конструкцію і принцип дії вібраційного преса для ущільнення контрольних асфальтобетонних зразків. Визначено раціональні параметри вібраційного преса, що працює у віброударному режимі ущільнення асфальтобетонних зразків. Встановлено закономірності руху робочого органа вібраційного преса залежно від основних параметрів вібраційної установки.

Ключові слова: вібраційний прес, віброударний режим, ущільнення, асфальтобетон.

DESIGN OF VIBRATING PRESSES FOR COMPACTING ASPHALT TEST SPECIMENS

**A. Maslov, Prof., Dr., Eng. Sc., Ju. Salenko, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc., S. Oleynik,
postgraduate, Mykhailo Ostrohradskyi Kremenchuk National University**

Abstract. The relevance of the research has been proved. The design and operating principle of vibrating presses for compacting asphalt test samples have been described. Reasonable parameters of vibration presses working in vibroimpulsive compacting mode have been identified. Motion regularities of vibrating-press actuating devices depending on the main parameters of the vibration machine, vibroimpulsive mode and physical-mechanical behaviour of mixtures to be compacted have been ascertained.

Key words: vibrating press, vibroimpulsive mode, compaction, asphalt concrete.

Введение

В настоящее время для формирования контрольных образцов для испытаний качества приготовленной или уложенной в покрытие асфальтобетонной смеси по ГОСТ 9128-2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэро-

дромные и асфальтобетон» используются 50- или 100-тонные прессы статического действия (Методы испытаний по ГОСТ 12801-2009).

Анализ публикаций

В результате предварительно проведенных исследований было установлено, что для формирования контрольных асфальтобетонных образцов может быть использован вибрационный пресс [1], обеспечивающий эффективное уплотнение асфальтобетонной смеси до требуемой технологическими нормами плотности без разрушения минеральных составляющих. Поэтому проведение исследований, направленных на создание малогабаритного вибрационного пресса 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 уплотняемой среды [2].

Правильный учет сил сопротивления асфальтобетонной смеси во многом определяет точность установления закона колебаний рабочего органа вибрационного пресса, выбор 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 пресса, работающего в виброударном режиме с нелинейной характеристикой и воздействующего на уплотняемую смесь вибрационными импульсами, обеспечивающими эффективное уплотнение асфальтобетонных образцов до требуемой технологическими нормами плотности.

Цель и постановка задачи

Целью работы является разработка высокоэффективного вибрационного пресса для уплотнения контрольных асфальтобетонных образцов.

Материал и результаты исследования

На рис. 1 изображен предлагаемый вибрационный пресс для формирования асфальтобетонных образцов (общий вид).

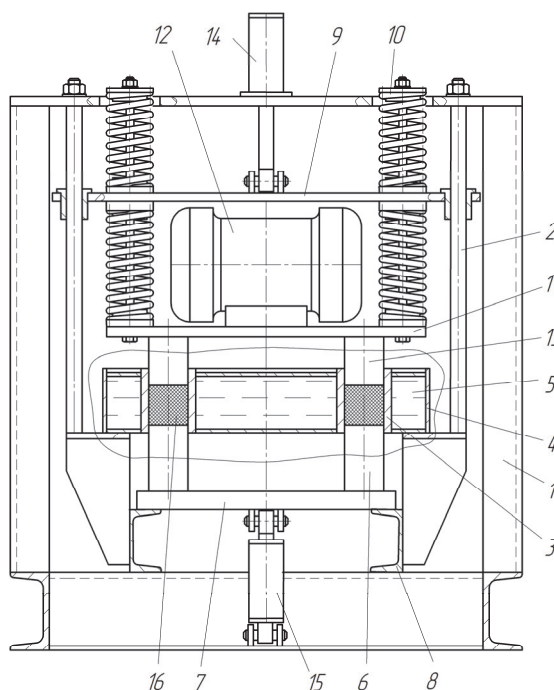


Рис. 1. Вибрационный пресс для формирования контрольных асфальтобетонных образцов

Вибрационный пресс для формирования асфальтобетонных образцов [1] содержит станину 1 с направляющими 2, на которой смонтированы матрица и выталкивающее устройство отформованных образцов. При этом матрица выполнена в виде двух калиброванных стаканов 3, смонтированных в собственном полом корпусе 4, который образует герметичную рубашку, заполненную нагреваемым масляным теплоносителем 5 вокруг калиброванных стаканов 3. Выталкивающее устройство отформованных образцов выполнено в виде выжимных пуансонов 6, смонтированных на жесткой балке 7, которая в нижнем исходном положении опирается на жесткие ограничители 8, закрепленные на станине 1.

Вибрационный пресс дополнительно снабжен связанной с направляющими 2 реактивной плитой 9, к которой при помощи упругих амортизаторов 10 подвешена виброплита 11 с вибровозбудителем колебаний 12, снабженная двумя формующими пуансонами 13, закрепленными на ее нижней стороне. Вы-

жимные пуансоны 6 расположены оппозитно формирующим пуансонам 13, и их концы в нижнем положении перекрывают низ цилиндрических отверстий калиброванных стаканов 3 матрицы. Упругие амортизаторы 10 выполнены в виде цилиндрических пружин, смонтированных по дифференциальной схеме. Реактивная плита 9 соединена с приводом вертикальных перемещений 14, закрепленным на верхней перекладине станины. Выталкивающее устройство приводится в действие приводом 15. Внутри полого корпуса 4 матрицы смонтирован трубчатый электронагреватель (на рисунке не показан).

Работа вибрационного пресса для формирования асфальтобетонных образцов осуществляется следующим образом.

Вначале включается трубчатый электронагреватель, который разогревает масляный теплоноситель, тепло от которого передается матрице и пуансонам 6 и 13. При достижении нагреваемыми элементами рабочей температуры 140–1500 °С приступают к формированию асфальтобетонных образцов. Для этого приводом вертикальных перемещений 14 поднимают реактивную плиту 9 вместе с виброплитой 11 в крайнее верхнее положение. В калиброванные стаканы 3 матрицы загружают определенное количество предварительно нагретой асфальтобетонной смеси 16 и приводом 14 перемещают реактивную плиту 9 вместе с виброплитой 11 до соприкосновения формирующих пуансонов 13 с асфальтобетонной смесью 16 и включают вибровозбудитель колебаний 12, под действием которого перемещающаяся в вертикальном направлении виброплита 11 работает в виброударном режиме и обеспечивает эффективное уплотнение асфальтобетонных образцов до стандартных значений плотности.

После окончания уплотнения выключают вибровозбудитель колебаний 13 и приводом 14 отводят виброплиту 11 вместе с формирующими пуансонами 13 в крайнее верхнее положение. Приводится в действие привод 15, и выталкивающим устройством отформованные образцы удаляются из матрицы, а затем снимаются.

Движение виброударного рабочего органа, включающего виброплиту, вибровозбудитель колебаний и формирующие пуансоны, может

быть в первом приближении описано следующим уравнением

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + b_3 \frac{dz}{dt} + c_3 z + F(t) = Q \sin \omega t, \quad (1)$$

где m – масса виброударного рабочего органа; z – перемещение виброударного рабочего органа; c_3 , b_3 – жесткость и коэффициент неупругого сопротивления амортизаторов; Q – амплитуда возмущающей силы; $F(t)$ – импульсная сила сопротивления, возникающая при взаимодействии виброударного рабочего органа с асфальтобетонной смесью; ω – угловая частота вынужденных колебаний; t – время.

На рис. 2 показан закон деформирования поверхности асфальтобетонной смеси при виброударном воздействии в зависимости от угла поворота φ возмущающей силы Q (кривая 1), который с достаточной степенью точности может быть представлен в виде синусоидальной функции $A_1 \sin \varphi$ (кривая 2), где A_1 – амплитуда деформирования поверхности асфальтобетона.

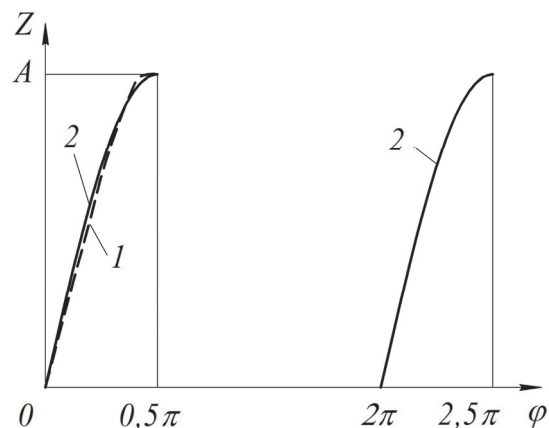


Рис. 2. Кривые деформирования поверхности асфальтобетонных образцов при виброударном режиме: 1 – экспериментальная зависимость; 2 – заменяющая теоретическая зависимость, представленная синусоидальной функцией

При этом периодическую с периодом 2π функцию $F(\varphi)$ (рис. 2) можно описать следующими уравнениями:

$$F(\varphi) = A_1 c_1 \sin \varphi \quad \text{при} \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}; \quad (2)$$

$$F(\varphi) = 0 \quad \text{при} \quad \frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq 2\pi, \quad (3)$$

где c_1 – приведенная жесткость уплотняемого асфальтобетона [4].

Функцию $F(\varphi)$, описываемую выражениями (2) и (3), представим в виде разложения в ряд Фурье [3]

$$F(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \varphi + b_n \sin \varphi). \quad (4)$$

Коэффициенты разложения в ряд Фурье для функции $F(\varphi)$ будут иметь следующий вид:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) \cdot d\varphi = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} A_1 c_1 \sin \varphi \cdot d\varphi + \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{2\pi} 0 \cdot d\varphi = \frac{A_1 c_1}{\pi}; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(\varphi) \cos n\varphi \cdot d\varphi = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} A_1 c_1 \sin \varphi \cos n\varphi \cdot d\varphi = \\ &= \frac{A_1 c_1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{\sin[\varphi(n+1)] - \sin[\varphi(n-1)]\} d\varphi = \\ &= \frac{A_1 c_1}{2\pi} \cdot \left\{ -(n-1) \left[\cos \frac{\pi}{2}(n+1) - 1 \right] + \right. \\ &\left. + (n+1) \left[\cos \frac{\pi}{2}(n-1) - 1 \right] \right\} / [(n+1)(n-1)], \quad (6) \end{aligned}$$

откуда:
для нечетных чисел

$$a_1, a_5, a_9 \dots = \frac{1}{n+1} \cdot \frac{A_1 c_1}{\pi}; \quad (7)$$

$$a_3, a_7, a_{11} \dots = -\frac{1}{n-1} \cdot \frac{A_1 c_1}{\pi}; \quad (8)$$

для четных чисел

$$a_n = -\frac{A_1 c_1}{\pi} \cdot \frac{1}{(n+1)(n-1)}; \quad (9)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F(\varphi) \sin n\varphi \cdot d\varphi =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{A_1 c_1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi \sin n\varphi \cdot d\varphi = \\ &= \frac{A_1 c_1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{\cos[\varphi(n-1)] - \cos[\varphi(n+1)]\} d\varphi = \\ &= \frac{A_1 c_1}{2\pi} \cdot \left[(n+1) \sin \frac{\pi}{2}(n-1) - \right. \\ &\left. - (n-1) \sin \frac{\pi}{2}(n+1) \right] / [(n-1)(n+1)], \quad (10) \end{aligned}$$

откуда:
для нечетных чисел

$$b_n = b_1, b_3, b_5 \dots = 0; \quad (11)$$

для четных чисел

$$b_n = b_2, b_6, b_{10} \dots = \frac{n}{(n-1)(n+1)} \cdot \frac{A_1 c_1}{\pi}; \quad (12)$$

$$b_n = b_4, b_8, b_{12} \dots = -\frac{n}{(n-1)(n+1)} \cdot \frac{A_1 c_1}{\pi}. \quad (13)$$

Подставляя значения коэффициентов (7)–(9) и (12)–(13) в ряд Фурье (5), определим функции $F(\varphi)$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} F(\varphi) &= \frac{A_1 c_1}{2\pi} + \frac{A_1 c_1}{2} \left[\frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\cos 2\varphi}{3} + \right. \\ &+ \frac{2 \sin 2\varphi}{3} - \frac{\cos 3\varphi}{2} - \frac{\cos 4\varphi}{15} - \frac{4 \sin 4\varphi}{15} + \\ &\left. + \frac{5 \cos 5\varphi}{6} - \frac{\cos 6\varphi}{35} + \frac{6 \sin 6\varphi}{35} \dots \right]. \quad (14) \end{aligned}$$

В полученной зависимости (14) произведем следующую замену переменной

$$\varphi = \omega t. \quad (15)$$

Тогда

$$\begin{aligned} F(t) &= \frac{A_1 c_1}{2\pi} + \frac{A_1 c_1}{2} \left[\frac{\cos \omega t}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{3} + \right. \\ &+ \frac{2 \sin 2\omega t}{3} - \frac{\cos 3\omega t}{2} - \frac{\cos 4\omega t}{15} - \frac{4 \sin 4\omega t}{15} + \\ &\left. + \frac{5 \cos \omega t}{6} - \frac{\cos 6\omega t}{35} + \frac{6 \sin \omega t}{35} \dots \right]. \quad (16) \end{aligned}$$

На основании выражения (16) приведем уравнение (1) к следующему виду:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + b_3 \frac{dz}{dt} + c_3 z + \frac{A_1 c_1}{2\pi} = Q \sin \omega t + \frac{A_1 c_1}{\pi} \times \left[-\frac{\cos \omega t}{2} + \frac{\cos 2\omega t}{3} - \frac{2 \sin 2\omega t}{3} + \frac{\cos 3\omega t}{2} + \frac{\cos 4\omega t}{15} + \frac{4 \sin 4\omega t}{15} - \frac{5 \cos 5\omega t}{6} + \frac{\cos 6\omega t}{35} - \frac{6 \sin 6\omega t}{35} \dots \right]. \quad (17)$$

Для решения уравнения (17) произведем в нем замену переменной

$$z = x - \frac{A_1 c_1}{2\pi c_3}. \quad (18)$$

Затем после несложных преобразований приведем полученное уравнение относительно переменной x к следующему виду:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b_3 \frac{dx}{dt} + c_3 x = Q_1 \sin(\omega t - \lambda) + \frac{A_1 c_1}{\pi} \cdot \left[\frac{\sqrt{5} \cos(2\omega t + \xi_2)}{3} + \frac{\cos 3\omega t}{2} + \frac{\sqrt{17} \cos(4\omega t - \xi_4)}{15} - \frac{5 \cos 5\omega t}{6} + \frac{\sqrt{37} \cos(6\omega t + \xi_6)}{35} \dots \right], \quad (19)$$

где

$$Q_1 = \sqrt{Q^2 + \left(\frac{A_1 c_1}{2\pi}\right)^2}; \quad \lambda = \arctg \frac{A_1 c_1}{2\pi \cdot Q}; \quad (20)$$

$$\xi_2 = \arctg 2; \quad \xi_4 = \arctg 4; \quad \xi_6 = \arctg 6.$$

Ограничиваясь 6 членами разложения, найдем решение уравнения (19) для стационарных колебаний в следующем виде:

$$x = A_{11} \sin(\omega t - \lambda - \lambda_1) + A_2 \cos(2\omega t + \xi_2 + \lambda_2) + A_3 \cos(3\omega t + \lambda_3) + A_4 \cos(4\omega t - \xi_4 + \lambda_4) - A_5 \cos(5\omega t + \lambda_5) + A_6 (\cos 6\omega t + \xi_6 + \lambda_6), \quad (21)$$

где

$$A_{11} = \frac{\sqrt{Q^2 + (A_1 c_1 / 2\pi)^2}}{\sqrt{(c_3 - m\omega^2)^2 + b_3^2 \omega^2}};$$

$$A_2 = \frac{\sqrt{5} A_1 c_1}{3\pi \sqrt{(c_3 - 4m\omega^2)^2 + 4b_3^2 \omega^2}};$$

$$A_3 = \frac{A_1 c_1}{\pi \sqrt{(c_3 - 9m\omega^2)^2 + 9b_3^2 \omega^2}};$$

$$A_4 = \frac{\sqrt{17} A_1 c_1}{15\pi \sqrt{(c_3 - 16m\omega^2)^2 + 16b_3^2 \omega^2}};$$

$$A_5 = \frac{5 A_1 c_1}{6\pi \sqrt{(c_3 - 25m\omega^2)^2 + 25b_3^2 \omega^2}};$$

$$A_6 = \frac{\sqrt{37} A_1 c_1}{35\pi \sqrt{(c_3 - 36m\omega^2)^2 + 36b_3^2 \omega^2}};$$

$$\lambda_1 = \arctg \frac{b_3 \omega}{c_3 - m\omega^2};$$

$$\lambda_2 = \arctg \frac{2b_3 \omega}{c_3 - 4m\omega^2};$$

$$\lambda_3 = \arctg \frac{3b_3 \omega}{c_3 - 9m\omega^2};$$

$$\lambda_4 = \arctg \frac{4b_3 \omega}{c_3 - 16m\omega^2};$$

$$\lambda_5 = \arctg \frac{5b_3 \omega}{c_3 - 25m\omega^2};$$

$$\lambda_6 = \arctg \frac{6b_3 \omega}{c_3 - 36m\omega^2}.$$

Подставляя выражение (21) в зависимость (18), найдем искомое решение уравнения (1) в следующем виде:

$$z = A_{11} \sin(\omega t - \lambda - \lambda_1) + A_2 \cos(2\omega t + \xi_2 + \lambda_2) + A_3 \cos(3\omega t + \lambda_3) + A_4 \cos(4\omega t - \xi_4 + \lambda_4) - A_5 \cos(5\omega t + \lambda_5) + A_6 (\cos 6\omega t + \xi_6 + \lambda_6) - A_1 c_1 / (2\pi c_3). \quad (21)$$

Таким образом, определен закон движения виброударного рабочего органа вибрационного пресса в зависимости от основных параметров установки и физико-механических характеристик обрабатываемой среды. Это позволяет определить рациональный режим вибрационного воздействия на обрабатываемую смесь.

Использование предлагаемого вибрационного пресса для формования асфальтобетонных образцов позволяет заменить статический 50–100-тонный пресс, который обычно используется для формования асфальтобетонных образцов давлением 40 МПа, обеспечить качественное формование асфальтобетонных образцов из мало-, средне- и

многощебенистых асфальтобетонных смесей без разрушения крупных минеральных частиц, наблюдаемого в случае использования статического пресса.

Выводы

Впервые предложена конструкция вибрационного пресса, работающего в виброударном режиме и обеспечивающего качественное формование асфальтобетонных образцов из мало-, средне- и многощебенистых асфальтобетонных смесей до стандартных значений плотности без разрушения крупных минеральных частиц. Определены рациональные параметры вибрационного пресса и режимы вибрационного воздействия на уплотняемую смесь.

Литература

1. Пат. 63259 Україна. В28В 3/06 2006.01. Вібраційний прес для формування асфальтобетонних зразків / Маслов О.Г., Олійник С.В.; заявник і патентовласник

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u201209231; заявл. 27.07.12; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1.

2. Маслов А.Г. Исследование характера взаимодействия вибрационного рабочего органа пресса с асфальтобетонной смесью / А.Г. Маслов, С.В. Олейник // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського: зб. наук. ст. – 2012. – Вип. 6 (77). – С. 70–73.
3. Араманович И.Г. Уравнение математической физики / И.Г. Араманович, В.И. Левин. – М.: Наука, 1969. – 288 с.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 11 июня 2014 г.
