

CƠ SỞ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ THIẾT BỊ ĐẦM MẶT KHI THI CÔNG LỚP MẶT ĐƯỜNG HỖN HỢP BÊ TÔNG XI MĂNG

Trần Văn Tuấn¹, Nguyễn Tiến Dũng²

Tóm tắt: Bài báo trình bày mô hình nguyên lý máy đầm mặt có tác dụng tạo hình, lèn chặt hỗn hợp bê tông. Xây dựng các mô hình toán học đặc trưng cho mô hình nguyên lý đã đề xuất, tìm lời giải để xác định và khảo sát sự thay đổi biên độ dao động của máy có kể đến sự tương tác giữa máy và hỗn hợp bê tông phù hợp với các điều kiện công nghệ. Tính tin cậy của phương pháp được đánh giá qua các phép tính bằng số và đặc tính kỹ thuật của máy đầm cụ thể. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở để tính toán, thiết kế chế tạo và khai thác hiệu quả thiết bị đầm mặt khi thi công lớp mặt đường hỗn hợp bê tông xi măng.

Từ khóa: Đầm mặt, lớp mặt đường, bê tông xi măng.

Summary: This paper presents the principle model of surface vibrator, which can make form and consolidate the concrete mix. Mathematical model for the characterizing principle model has been established and the answer is used to identify and analyse the changing of vibrating amplitude including the mutual action between the machine and concrete mix which depending suitably on technological conditions. The believability of the method is evaluated on numerical calculation and technological characterize of the real vibrator. The results of the study are principles for designing, calculating and exploiting equipment when executing the road pavement of cement concrete.

Keywords: Surface vibrator, road pavement, cement concrete.

Nhận ngày 18/6/2012, chỉnh sửa ngày 25/7/2012, chấp nhận đăng ngày 30/8/2012

1. Đặt vấn đề

Khi lớp mặt đường bê tông xi măng có chiều dày dưới 25cm có thể chỉ dùng các loại đầm mặt làm chặt và san phẳng. Đặc điểm làm việc của đầm mặt trên tổ hợp rải và hoàn thiện mặt đường bê tông xi măng xem hình 1.

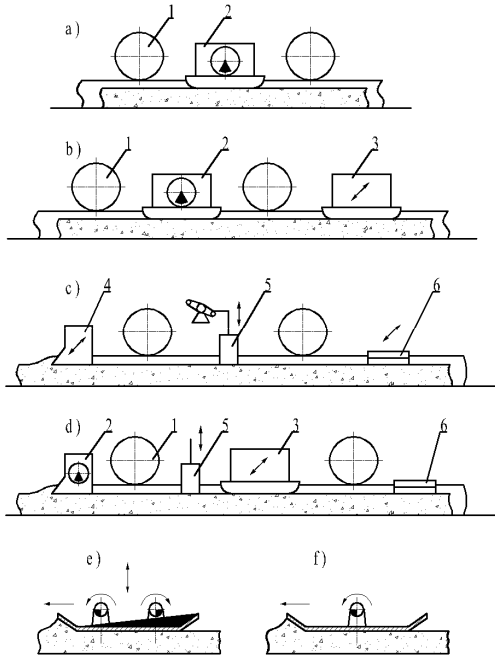
Cụm thiết bị đầm trên tổ hợp máy rải hoàn thiện có thể chỉ có đầm mặt (hình 1a) hoặc có thể có nhiều hơn hai đầm độc lập (hình 1b,c,d). Tăng số lượng đầm bố trí trên tổ hợp sẽ làm tăng chất lượng đầm lèn hỗn hợp bê tông, tuy nhiên mức độ phức tạp kết cấu của thiết bị cũng tăng. Các tấm đầm có thể nhận nguồn rung động có hướng (hình 1e) hoặc vô hướng (hình 1f) bởi các khối lệch tâm quay.

Khi chiều dày lớp mặt đường lớn hơn 25cm cần kết hợp đầm trong (đầm dùi) và đầm mặt, xem hình 2.

Thiết bị đầm mặt lắp trên máy rải và hoàn thiện (hình 1, 2) khi thi công mặt đường bê tông xi măng gồm nhiều cụm rung cơ sở, các cụm rung cơ sở liên kết với nhau bằng khớp và được dẫn động gây rung bằng thủy lực hoặc bằng điện. Trên mỗi cụm rung cơ sở thường lắp 02 trục lệch tâm quay đồng tốc.

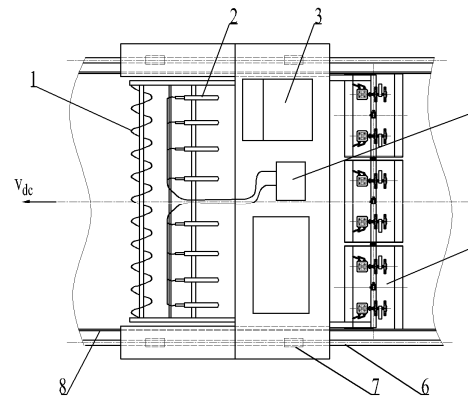
¹PGS.TS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

²KS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: nguyentindung.uce@gmail.com



Hình 1. Bố trí cụm thiết bị đầm trên tổ hợp máy rải và hoàn thiện mặt đường BTXM

1. Bánh xe di chuyển; 2. Đầm mặt;
3. Rung là phẳng; 4. Tấm đầm san;
5. Tấm đầm đập; 6. Băng là phẳng



Hình 2. Nguyên lý cấu tạo máy rải BTXM có sử dụng đầm mặt và đầm dùi

1. Vít tải san hỗn hợp bê tông; 2. Đầm dùi;
3. Cabin; 4. Nguồn động lực; 5. Cụm đầm mặt cơ sở;
6. Ray di chuyển; 7. Bánh xe di chuyển; 8. Ván khuôn trượt

Khái niệm đồng tốc được hiểu là các cơ cấu gây rung làm việc cùng tốc độ, có góc lệch pha là hằng số. Thực tế tốc độ của các động cơ không tuyệt đối bằng nhau, việc chế tạo các khối lệch tâm bao giờ cũng tồn tại những sai lệch về hình dạng, kích thước,... gây ra nhiều tác động trực tiếp đến quá trình dao động của bộ phận công tác, gây ra hiện tượng mất ổn định.

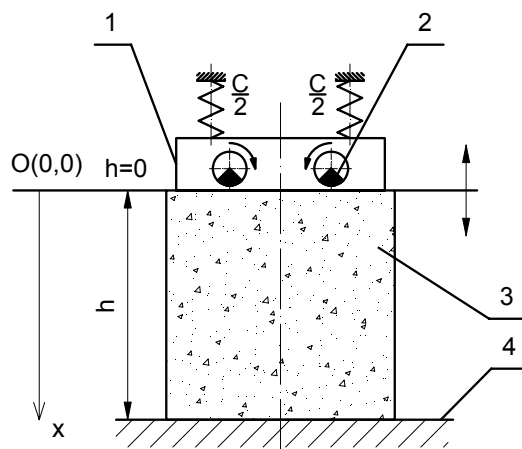
Có thể sử dụng các phương pháp đồng tốc đã được trình bày kỹ ở tài liệu [1] nhằm đảm bảo sự đồng bộ thông số chuyển động của các cơ cấu làm việc (số vòng quay, chiều chuyển động, mô men trên trục của cơ cấu làm việc).

Hiện nay, chưa có những nghiên cứu lý thuyết đầy đủ và cụ thể về máy đầm mặt làm việc trong tổ hợp rải và hoàn thiện lớp bề mặt đường bê tông xi măng.

Thông qua bài toán tương tác giữa máy và hỗn hợp bê tông, bằng công cụ toán học và phần mềm Mathematica có thể thiết lập và khảo sát các phương trình mô tả hoạt động của một cụm rung mặt cơ sở. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở để tính toán, thiết kế và khai thác hiệu quả máy.

2. Mô hình cơ học, phương trình vi phân và lời giải

Coi hỗn hợp bê tông là đồng chất, áp dụng lý thuyết về truyền sóng để xác định ảnh hưởng của hỗn hợp bê tông lên máy đầm. Sử dụng mô hình tính theo tài liệu [4] ta có hình 3 sau:



Hình 3. Mô hình cơ học đầm mặt hỗn hợp bê tông

1. Cơ cấu công tác; 2. Cụm gây rung; 3. Hỗn hợp bê tông; 4. Nền

Chọn gốc tọa độ như hình 3, ta có phương trình chuyển động của cột bê tông trong bài toán rung mặt là:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{C_B^2(1+i\gamma)} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

trong đó: $C_B = \sqrt{\frac{E}{\rho_b}}$ là vận tốc truyền sóng trong hỗn hợp bê tông; E là mô đun đàn hồi của

hỗn hợp bê tông, theo tài liệu [2] đặc trưng đàn hồi của bê tông tươi (E và C_b) không phụ thuộc vào tần số rung và tỷ lệ nước trên xi măng (N/XM); ρ_b là khối lượng riêng của hỗn hợp bê tông; γ là hệ số hao tán; $u = u(x,t)$ là hàm số đặc trưng cho chuyển động của lớp vi phân bê tông. Theo Fourie thì nghiệm của phương trình (1) có thể được viết dưới dạng:

$$u(x,t) = (u_1 e^{ikx} + u_2 e^{-ikx}) \cdot e^{i\omega t} = X(x) \cdot T(t) \quad (2)$$

trong đó: ω là tần số dao động; u_1, u_2 là các hằng số phụ thuộc vào điều kiện biên của bài toán; k là số sóng ảo. Như vậy, nghiệm của (1) có thể biểu diễn thông qua tích của hai hàm số $X(x)$ phụ thuộc vào tọa độ x và $T(t)$ phụ thuộc vào thời gian t .

Đặt $ik = \alpha + i\beta$, ta có thể xác định k thông qua các hệ số α, β bằng cách thay nghiệm (2) vào phương trình (1), biến đổi theo [3;4], ta có:

$$\alpha = \frac{\omega}{C_B} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2}-1}{2(1+\gamma^2)}}; \quad \beta = \frac{\omega}{C_B} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2}+1}{2(1+\gamma^2)}} \quad (3)$$

trong đó: α là hệ số tắt dần của sóng lan truyền trong hỗn hợp bê tông; β là thông số ảnh hưởng đến bước sóng. Để xác định u_1, u_2 xét các điều kiện biên của phương trình (2):

- Tại $x = 0$, bê tông dao động cùng đế bàn rung, biên độ dịch chuyển của hỗn hợp bê tông và bộ phận công tác là bằng nhau: $u(0,t) = x_0 \cdot e^{i\omega t}$ thay vào phương trình (2) ta có:

$$u_1 + u_2 = x_0 \quad (4)$$

Với x_0 là biên độ rung của máy khi tương tác với hỗn hợp bê tông.

- Tại $x = h$, coi nền là tuyệt đối cứng, do đó biến dạng của lớp bê tông đáy bằng không

$$u(h,t) = 0, \text{ hay biến dạng tương đối: } \varepsilon(x,t) \Big|_{x=h} = \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=h} = 0$$

Từ phương trình (2) ta có:

$$u_1 \cdot e^{(\alpha+i\beta)h} = u_2 \cdot e^{-(\alpha+i\beta)h} \quad (5)$$

Nhờ các biểu thức (4) và (5) ta tìm được u_1 , u_2 rồi thế chúng và $ik = \alpha + i\beta$ vào phương trình (2) ta được:

$$u(x,t) = x_0 e^{i\omega t} \frac{ch(\alpha + i\beta)(x - h)}{ch(\alpha + i\beta)h} \quad (6)$$

Như vậy, biểu thức (6) chính là phương trình mô tả chuyển động tại mặt cắt bất kì của lớp vi phân trong cột hỗn hợp bê tông có tọa độ x .

Để xác định được biên độ x_0 của lớp bê tông tại vị trí tiếp xúc giữa đế máy và hỗn hợp bê tông, trước hết phải xác định biến dạng tương đối: $\varepsilon(x,t) \Big|_{x=0}$

$$\varepsilon(x,t) = \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = x_0 e^{i\omega t} (\alpha + i\beta) \cdot \frac{-sh(\alpha + i\beta)h}{ch(\alpha + i\beta)h} \quad (7)$$

Theo lý thuyết cơ môi trường liên tục, áp lực tại vùng tiếp xúc giữa máy và hỗn hợp bê tông là:

$$\sigma(0,t) = -E \cdot \varepsilon(0,t)(1 + i\gamma) \quad (8)$$

Thay $\varepsilon(x,t) \Big|_{x=0}$ từ (7) vào (8) ta có :

$$\sigma(0,t) = -E \cdot x_0 e^{i\omega t} (\alpha + i\beta) \cdot (1 + i\gamma) \cdot \frac{-sh(\alpha + i\beta)h}{ch(\alpha + i\beta)h}$$

Biến đổi rồi đồng nhất số phức hai vế, theo [3] ta có :

$$\sigma(0,t) = -\omega^2 \rho_b x_0 e^{i\omega t} \cdot h(a_1 + id_1) \quad (9)$$

trong đó:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\alpha \cdot sh(2\alpha h) - \beta \cdot \sin(2\beta h)}{h(\alpha^2 + \beta^2)(ch2\alpha h - \cos 2\beta h)} \\ d_1 = \frac{\alpha \cdot \sin(2\beta h) + \beta \cdot sh(2\alpha h)}{h(\alpha^2 + \beta^2)(ch2\alpha h - \cos 2\beta h)} \end{cases} \quad (10)$$

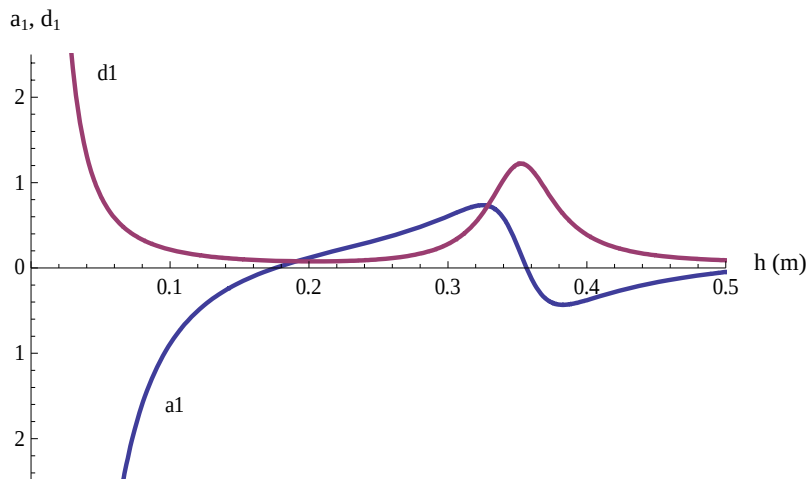
Giá trị của phản lực tại điểm tiếp xúc giữa máy và hỗn hợp bê tông là:

$$R \cdot \sigma(0,t) = S \cdot \sigma(0,t) = x_0 \omega^2 m_b a_1 + ix_0 \omega^2 m_b d_1 \quad (11)$$

trong đó: S là diện tích tiếp xúc giữa bộ phận công tác và bê tông; $\rho_b S_b dx$ là khối lượng bê tông tham gia dao động cùng máy.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

Nhờ phần mềm Mathematica 7 và công thức (10) khảo sát mối quan hệ giữa chiều cao h của hỗn hợp bê tông và các hệ số a_1 và d_1 với các thông số $\omega = 314 \text{ rad/s}$, $C_b = 35 \text{ m/s}$, $\gamma = 0,17$; kết quả khảo sát cho đồ thị hình 4, nhìn đồ thị ta thấy:



Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa a_1, d_1 và chiều cao hỗn hợp bê tông h

1. Mối quan hệ $a_1 = f(h)$; 2. Mối quan hệ $d_1 = f(h)$

Hệ số a_1 có thể dương, âm và nhỏ hơn không. Khi chiều cao hỗn hợp bằng 0,14(m) và 0,278 (m) thì $a_1 = 0$, phản lực khi đó chỉ là hàm của d_1 .

Hệ số d_1 không đổi dấu và luôn dương, do đó thành phần phản lực $x_0 \cdot \omega^2 \cdot m_b \cdot d_1$ do nó sinh ra luôn có xu hướng làm giảm biên độ dao động của bộ phận công tác.

Với đặc tính thay đổi như vậy ta có thể kết luận hệ số a_1 phản ánh tính chất và sự thay đổi của lực cản phản lực, còn hệ số d_1 là lực cản chủ lực.

Từ kết quả trên theo tài liệu [4] tham số độ cứng của hỗn hợp bê tông được biểu diễn qua các tham số của phản lực tại đế máy như sau: $c_b - m_b \omega^2 = m_b \omega^2 a_1$; $b_b \cdot \omega = m_b \cdot \omega^2 d_1$ và độ cứng chung của hệ thống “máy - môi trường” là:

$$K = K_M + K_b = (c - m\omega^2 + \omega^2 m_b a_1) + i(b\omega + \omega^2 m_b d_1) \quad (12)$$

Từ lý thuyết dao động [5] ta có:

$K \cdot x_0 \cdot e^{i(\omega t - \phi_1)} = F_0 \cdot e^{i\omega t}$ suy ra biên độ dịch chuyển của bộ phận công tác có kể đến ảnh hưởng của hỗn hợp bê tông là:

$$x_0 = \frac{F_0}{|K|} = \frac{F_0}{\sqrt{[(m\omega^2) + m_b \omega^2 a_1]^2 + (m_b \omega^2 d_1)^2}} \quad (13)$$

với $F_0 = P$ là biên độ lực kích rung.

3. Cường độ hấp thu năng lượng trong lớp hỗn hợp bê tông xi măng

Ý nghĩa quan trọng trong việc xác định các thông số cơ bản của bộ phận công tác là khả năng đầm chặt của hỗn hợp bê tông. Theo nhiều kết quả nghiên cứu đã chứng tỏ rằng khả năng tạo hình của môi trường hạt nói chung và hỗn hợp bê tông nói riêng cần phải đánh giá

theo công riêng đầm chặt, có nghĩa là theo công tổn hao để đầm chặt một đơn vị khối lượng hỗn hợp. Giá trị cường độ hao tán năng lượng đối với tiết diện bất kỳ của cột hỗn hợp bê tông được xác định bởi biểu thức:

$$E(x) = \frac{dA}{T \cdot \rho_b S dx} \quad (14)$$

trong đó: dA là công của áp lực đối với lớp bê tông vi phân trong một chu kỳ T ; $\rho_b S_b dx$ là khối lượng của lớp bê tông vi phân.

Theo [3] công áp lực đối với lớp bê tông vi phân được xác định theo công thức sau:

$$dA = S_b \sigma dx d\varepsilon$$

Xét cho cả chu kỳ T ta có:

$$dA = \frac{T \cdot S dx \omega}{2} \gamma_b E_b \varepsilon_0^2 \quad (15)$$

Thay (15) vào (14) ta có cường độ hao tán năng lượng $E(x)$ được tìm theo công thức sau:

$$E(x) = \frac{\gamma_b \cdot \omega \cdot C_b^2}{2} \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right|^2 \quad (16)$$

Đặt các hệ số:

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = sh(\alpha x) \cos(\beta x) - sh(\alpha(x-2h)) \cos(\beta(x-2h)) \\ \hat{\beta} = ch(\alpha x) \sin(\beta x) - ch(\alpha(x-2h)) \sin(\beta(x-2h)) \end{cases} \quad (17)$$

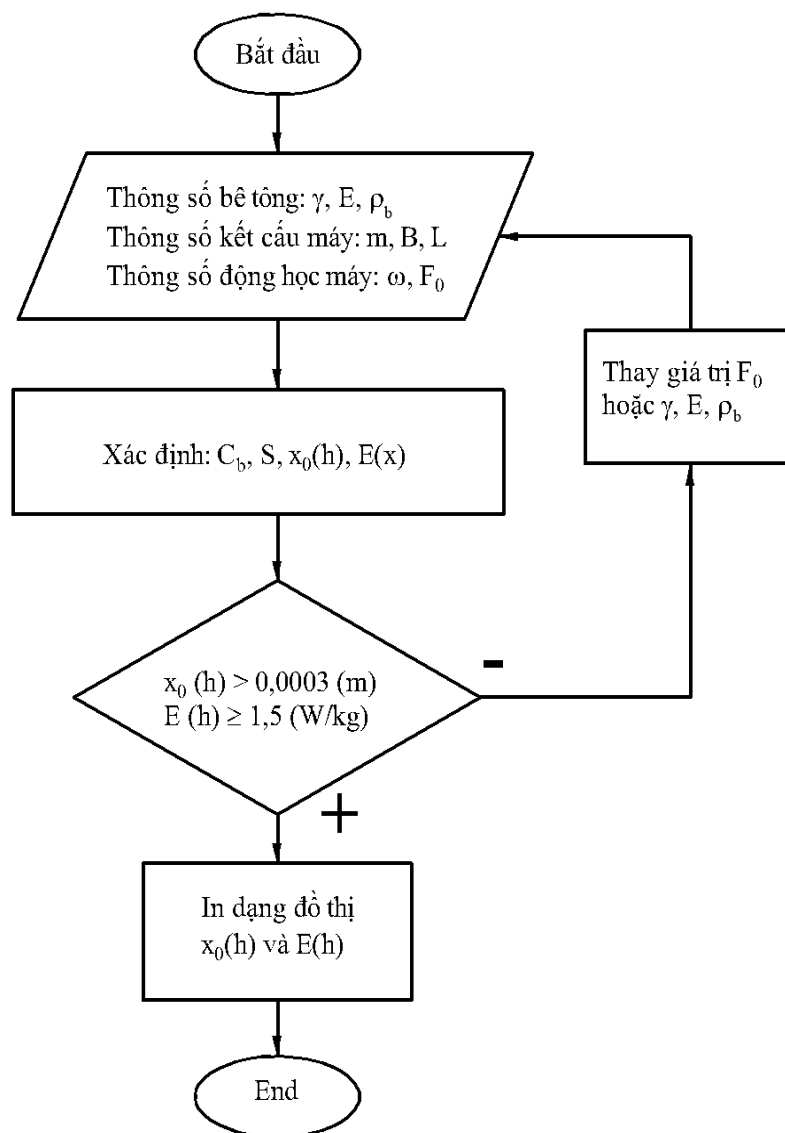
Ta nhận được:

$$E(x) = \frac{\gamma_b \cdot \omega \cdot C_b^2}{2} \left\{ \left[\frac{x_0 (\alpha \hat{\alpha} - \beta \hat{\beta})}{[2ch2(\alpha h) - cos2(\beta h)]} \right]^2 + \left[\frac{x_0 (\alpha \hat{\beta} + \hat{\alpha} \beta)}{[2ch2(\alpha h) - cos2(\beta h)]} \right]^2 \right\} \quad (18)$$

Công thức (18) cho phép tìm được cường độ hấp thụ năng lượng của hỗn hợp bê tông tại mặt cắt bất kỳ. Đồng thời còn cho phép đánh giá độ cao giới hạn (khi $E(x) > 1,5W/kg$) của lớp bê tông có thể được đầm chặt khi biết các thông số của máy.

4. Khảo sát và xác định các thông số cơ bản của thiết bị đầm mặt

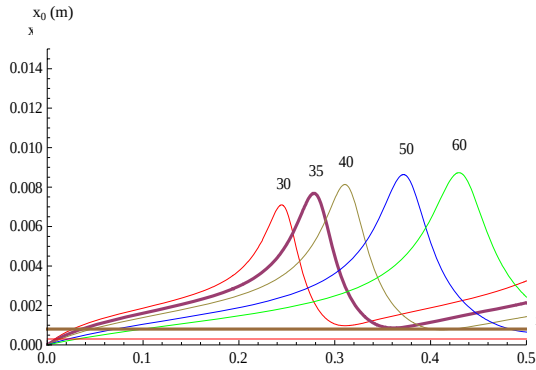
Công thức (13,18) là cơ sở để khảo sát các thông số động học của máy đầm mặt với loại hỗn hợp bê tông cụ thể. Việc khảo sát quá trình làm việc của thiết bị đầm cùng đối tượng công tác cụ thể được thực hiện được tiến hành theo sơ đồ khối theo hình 5.



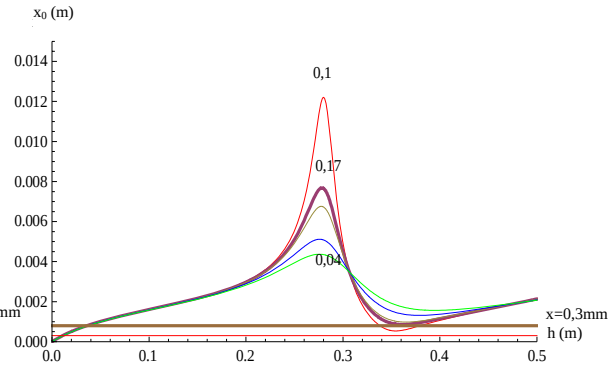
Hình 5. Sơ đồ khối tính toán xác định biên độ rung của đế đầm $x_0(h)$ và năng lượng các lớp bê tông nhận được $E(h)$

Nhờ phần mềm Mathematica 7 và biểu thức (13,18) ta tiến hành khảo sát các thông số động học một cụm đầm mặt cơ sở, có cơ cấu công tác gần giống máy đầm mặt TACOM TPD-40R (do Nhật chế tạo) với các thông số kỹ thuật cụ thể như sau:

Lực kích rung $P = 25000N$; tần số góc $\omega = 314 \text{ rad/s}$; khối lượng máy $m = 100\text{kg}$; kích thước đế đầm $S = L \times B = 1 \times 0,4 = 0,4 \text{ m}^2$. Kết quả khảo sát cho các đồ thị hình 5, hình 6 biểu diễn mối quan hệ giữa biên độ của máy x_0 với chiều cao hỗn hợp bê tông, hình 7 và hình 8 biểu diễn mối quan hệ giữa cường độ hấp thụ năng lượng của hỗn hợp bê tông $E(x)$ tại mặt cắt có độ sâu bất kỳ của hỗn hợp bê tông khi thay đổi các thông số đặc trưng cho từng loại hỗn hợp bê tông γ, C_b .



Hình 6. Đồ thị quan hệ giữa biên độ để máy và chiều cao hỗn hợp bê tông khi $C_b=30,35,40,50,60$ m/s với $\gamma=0,1$

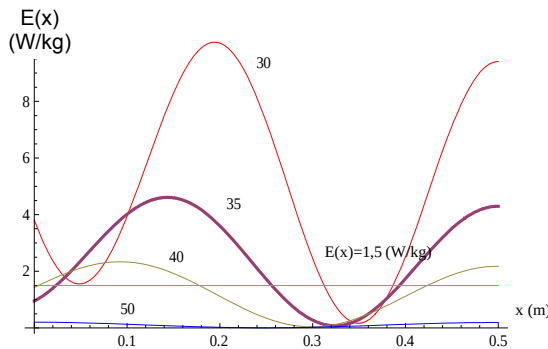


Hình 7. Đồ thị quan hệ giữa biên độ để máy và chiều cao hỗn hợp bê tông khi $\gamma=0,1;0,17;0,2;0,3;0,4$ với $C_b=35$ m/s

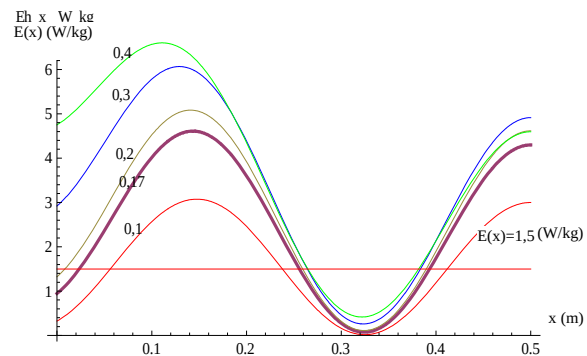
Nhận xét:

- Biên độ làm việc của đầm khi chiều cao hỗn hợp thay đổi phụ thuộc vào vận tốc truyền sóng trong bê tông C_b nhiều hơn so với hệ số tổn hao γ .

- Qua đồ thị hình 7 ta thấy với độ cao $h>0,01$ thì biên độ của máy phù hợp với yêu cầu công nghệ, thỏa mãn điều kiện $x_0>(0,3\pm 0,8)$ mm. Biên độ dao động lớn nhất khi chiều cao hỗn hợp $h=0,28$ (m) với $C_b=35$ m/s và $\gamma=0,1$ bằng 0,013m là khá lớn so với biên độ hợp lý $(0,3\pm 0,8)$ mm.



Hình 8. Đồ thị cường độ hấp thụ năng lượng tại mặt cắt bất kỳ khi $h = 0,5$ m $C_b=30,35,40,50$ m/s với $\gamma = 0,17$



Hình 9. Đồ thị cường độ hấp thụ năng lượng tại mặt cắt bất kỳ khi $h = 0,5$ m $\gamma = 0,1;0,17;0,2;0,3;0,4$ với $C_b=35$ m/s

Nhận xét:

Năng lượng hấp thụ hợp lý của của các lớp trong hỗn hợp bê tông biến thiên phụ thuộc chủ yếu vào vận tốc truyền sóng của hỗn hợp bê tông C_b .

Qua đồ thị hình 9 ta thấy với $C_b=35$ m/s với mọi hệ số tổn hao γ đang khảo sát thì hầu hết các lớp bê tông có độ sâu nhỏ hơn 0,26m đều nhận được năng lượng hợp lý ($E(x)\geq 1,5$ W/kg), ta thấy với $\gamma = 0,17$ cho mức năng lượng hợp lý nhất.

Qua đồ thị hình 8 khi $\gamma = 0,17$ chỉ khi vận tốc truyền sóng $C_b\leq 35$ m/s năng lượng cấp cho các lớp mặt bê tông nhỏ hơn 0,26m đạt yêu cầu.

5. Kết luận

Đối với mỗi loại hỗn hợp bê tông đặc trưng bởi $C_B = \sqrt{\frac{E}{\rho_b}}$ là vận tốc truyền sóng trong

hỗn hợp bê tông; E là mô đun đàn hồi; ρ_b là khối lượng riêng; γ là hệ số hao tán. Nhờ các phần mềm và biểu thức (3, 10, 13, 17, 18) ta có thể xác định các thông số động học một cụm đầm mặt làm cơ sở để tính toán thiết kế, chế tạo và khai thác hiệu quả thiết bị đầm mặt khi thi công lớp mặt đường hỗn hợp bê tông xi măng.

Tài liệu tham khảo

1. Trần Văn Tuấn, Nguyễn Tiến Dũng (2/2012), “Nghiên cứu nguyên lý đồng bộ và tự đồng bộ các cơ cấu kích động bằng lực ly tâm vô hướng và một số ứng dụng”, *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng*, Số 11, 45-51.
2. Савинов О.А., Лавринович Е. В. (1987), *Вибрационная техника уплотнения и формирования бетонных смесей*. Ленинград.
3. Осмаков С.А., Брауле Ф.Г (1976), *Вибрационные Формочные машины*. Ленинград
4. Чубук Ю. Ф., Назаренко И. И. и другие (1985), *Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей*. Киев.
5. Быховский И. И (1969), *Теория вибрационной техники*, Москва.
6. Trần Văn Tuấn (2010), *Nghiên cứu quá trình làm phẳng, nhẵn bề mặt bê tông sau tạo hình và đề xuất một số nguyên lý, tính toán thiết kế các thông số chính của máy*, Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN cấp Bộ GD&ĐT, Mã số: B2010-03-78.