

УДК 693.542.52

Пенчук В.А., Лукьянец В.Б., Мирончик Н.А.<sup>1</sup>

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГРАВИТАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЯХ СО СТРУНЫМ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ

*Резюме.* В работе рассматриваются закономерности процессов перемешивания смесей в гравитационном бетоносмесителе со струнным интенсификатором, Даны математические модели и их численный анализ процесса движения струны в смеси процесса падения части смеси с лопаток и ее разделение на мелкие куски струной.

**Актуальность работы.** В последние годы в строительной индустрии произошли определенные структурные изменения, связанные с увеличившимся количеством малообъемных и рассредоточенных объектов. В этих условиях специализированные строительные организации отказываются от громоздкой, шумной и неудобной в работе строительной техники.. На рынке бетоносмесителей идет жесткая конкуренция среди не менее 25 заводов бывшего СССР, а также дальнего зарубежья. На рынке зарубежной техники появилось много экспонатов гравитационных смесителей фирм Франции, Китая и Италии.

**Анализ публикаций.** Особенности приготовления строительных смесей различного назначения даны в работках [1; 2], а влияние технологии процессов загрузки, перемешивания и выгрузки на качество смесей изложено в работе [3].

Анализ конструктивных особенностей смесителей на качество строительных смесей и растворов дан в работах [4; 5].

Цель работы - математически описать особенности технологических процессов смешивания в гравитационных бетоносмесителях со струнным интенсификатором.

Основной материал.

В общем виде производительность гравитационного бетоносмесителя с учетом основных факторов можно представить как

$$P = F(k_6, k_n, k, V_2, \alpha, n, c_n, t_3) \quad (1)$$

где  $k_6$  - аргумент, характеризующий конструкцию собственно барабана;  $k_n$  - коэффициент, учитывающий конструкцию лопастного аппарата;  $k$  - коэффициент загрузки барабана;  $V_2$  - геометрическая емкость барабана;  $\alpha$  - коэффициент, характеризующий установку оси вращения барабана по отношению к горизонту в положении перемешивания;  $n$  - коэффициент, зависящий от частоты вращения барабана;  $c_n$  - коэффициент, учитывающий последовательность подачи исходных компонентов смеси в барабан;  $t_3$  - темп загрузки барабана.

В гравитационном бетоносмесителе со струнным интенсификатором смешивание компонентов происходит аналогичным образом, как и в стандарт-

ном бетоносмесителе, но в данном случае процесс смешивания масс несколько интенсифицирован за счет струн, установленных между лопастями.

После начала вращения барабана смесителя струна входит в массу материала, которая находится в нижней полости бетоносмесителя, и способствует более интенсивному перемещению. На струну, которая выходит из нижней полости бетоносмесителя, затем падает подхваченный лопаткой материал, Соударяясь с струной, порция падающего материала разделяется на более мелкие частицы, в следствие чего материал разбрасывается в полости смесительного барабана.

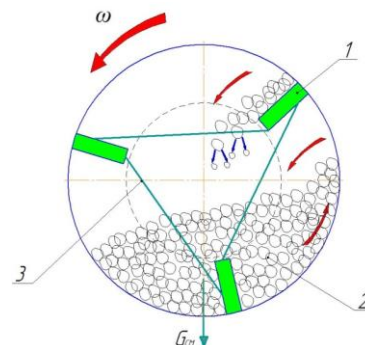


Рис. 1. Схема движения смеси в гравитационном бетоносмесителе с тросовым интенсификатором: 1 - барабан со смесительными лопастями; 2 - бетонная смесь; 3 - струнный интенсификатор.



Рис. 2. Фото модернизированного гравитационного бетоносмесителя.

Движение струнного интенсификатора на ос-

<sup>1</sup> В.А. Пенчук, В.Б. Лукьянец, Н.А. Мирончик.

нове уравнений движения, энергии и реологии можно

$$\begin{aligned} \rho Du / Dt &= X + (\partial_x / \partial x + \partial \tau_{xy} / \partial y + \partial \tau_{xz} / \partial z) \\ \rho Dv / Dt &= Y + (\partial_x / \partial x + \partial \tau_{xy} / \partial y + \partial \tau_{xz} / \partial z) \\ \rho Dw / Dt &= Z + (\partial_x / \partial x + \partial \tau_{xy} / \partial y + \partial \tau_{xz} / \partial z) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial}{\partial z}$  оператор дифференцирования; u, v, w – скорости вдоль прямоугольных координат x, y, z;  $\sigma, \tau$  – соответственно нормальные и касательные напряжения.

Связь между напряжением и деформацией установлена на основании реологической модели

$$\sigma = E\varepsilon + \mu d\varepsilon / dt + m_0 d^2\varepsilon / dt^2, \quad (3)$$

или

$$\sigma = E \int \eta dt + \mu \eta + m_0 d\eta / dt \quad \sigma = \mu \eta_0, \quad (4)$$

здесь E - модуль упругости;  $\mu$  – модуль скорости деформации (вязкость);  $m_0$  – модуль ускорения деформаций; скорость деформации  $\eta = d\varepsilon / dt$ , обобщенная скорость деформации

$$\eta_0 = E\mu - 1 \int \eta dt + \eta + m_0 \mu - 1 d\eta / dt$$

В результате представления скорости деформации как скорости смещения уравнения движения струны записаны в виде

$$\begin{aligned} Du / Dt &= -\rho^{-1} \cdot \partial p / dx + v \Delta u^0 \\ Dv / Dt &= -\rho^{-1} \cdot \partial p / dx + v \Delta v^0 \\ Dw / Dt &= -\rho^{-1} \cdot \partial p / dx + v \Delta w^0 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь оператор Лапласа

$$\Delta = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2 + \partial^2 / \partial z^2$$

Динамическая картина состояния струны в бетоне построена на основании исследования уравнения движения при линейных и нелинейных колебаниях

$$m d^2 x / dt^2 + 2T \sin \theta + r dx / dt = F_0 \cos \omega t \quad (6)$$

здесь масса струны в зоне контакта струны с изделием

$$m = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot l,$$

представит в виде [9].

где  $\rho$  – плотность материала струны; R – радиус струны; l – толщина изделия; x – продольная координата перемещения; t – время;  $\omega$  – вынужденная частота возбуждающей силы;  $\theta$  – угол отклонения струны от горизонтального положения, натяжение струны

$$T = T_0 + s \cdot (L - a)$$

где T – начальное натяжение; s – жесткость; 2L – длина растянутой струны; 2a – начальная длина; сопротивление  $\gamma$  оценена формулой

$$r = 3 \cdot \mu \cdot l,$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость.

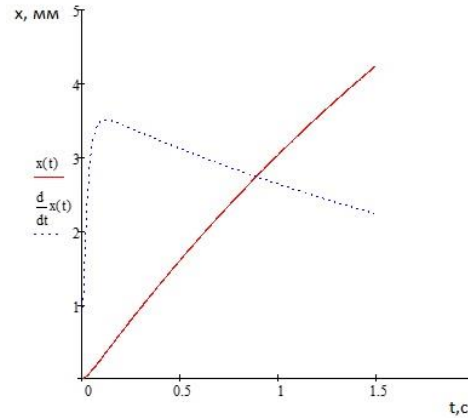


Рис. 3. Динамическая картина состояния струны в бетоне:

x – координата отклонения струны от собственной оси; t – время нахождения струны в бетоне.

На графике рис. 5 можем наблюдать отклонение струны от собственной оси, в виде изгиба, чему способствовала вязкость бетонной смеси, вследствие чего наблюдается сопротивление передвижению струнного интенсификатора.

Во время прохождения смеси интенсификатор натягивался и как бы заряжался потенциальной энергией. Покинув вязкую среду струна пытается вернуться в свое исходное положение, вследствие чего совершает свободные затухающие колебания, которые можно описать уравнением [10]:

$$\omega^2 \cdot \frac{dy^2}{dt^2} + \beta \cdot \frac{dy}{dt} = 0 \quad (7)$$

где  $\omega$  - частота колебаний;  $\beta$  - постоянная дифференцирования, определяется из начальных условий

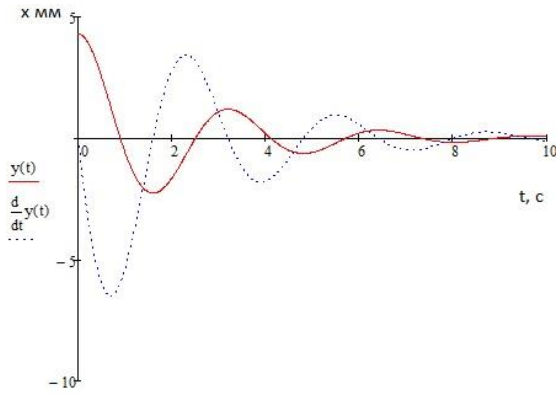


Рис. 4 - Зависимости амплитудных колебаний струны на выходе из бетона.

Рассмотрим ситуацию, когда с лопасти бетоносмесителя на струну падает порция смеси, при условии, что движение точек струны происходит перпендикулярно оси 0x и в одной плоскости.

Предполагая, что натяжение T во всех точках струны одинаковое; рассмотрим элемент струны MM' (рисунок 5)

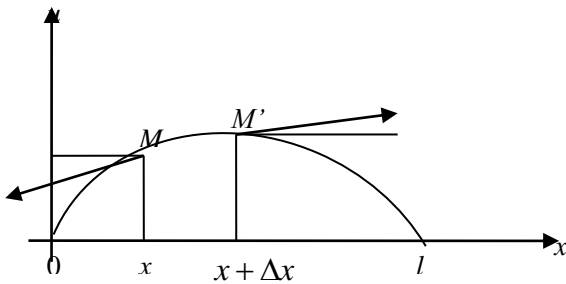


Рис. 5. График сил действующих на участок MM'.

Если касательные образуют осью 0x углы  $\phi$  и  $\phi + \Delta\phi$ , тогда проекция на ось 0x сил, действующих на элемент MM', будет равна  $T \sin(\phi + \Delta\phi) - T \sin \phi$ . Так как угол  $\phi$  мал, то можно положить  $\text{tg} \phi \approx \sin \phi$  и тогда, с учетом теоремы Лагранжа, записать

$$\begin{aligned}
 T \cdot \sin(\phi + \Delta\phi) - T \cdot \sin(\phi) &\approx T \cdot \text{tg}(\phi - \Delta\phi) = \\
 T \left[ \frac{\partial u(x + \Delta x, t)}{\partial x} - \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right] &= \quad (8) \\
 = T \frac{\partial^2 u(x + \theta \Delta x, t)}{\partial x^2} \Delta x &\approx T \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \Delta x \\
 0 < \theta < 1
 \end{aligned}$$

Чтобы получить уравнение движения, нужно внешние силы, приложенные к элементу, приравнять

силе инерции. При массе элемента струны  $\rho \Delta x$  и ускорении элемента равном  $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ , по принципу Даламбера, имеем:

$$\rho \Delta x \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = T \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x \quad (9)$$

Сокращая на  $\Delta x$  и обозначая  $\frac{T}{\rho} = a^2$ , уравнение движения представим как

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (10)$$

Искомая функция  $u(x, t)$  должна удовлетворять граничным условиям, указывающим, что делается на концах струны ( $x=0$  и  $x=l$ ), и начальным условиям, описывающим состояние струны в начальный момент ( $t=0$ ). С учетом краевых условий, уравнение(10) представим как (8):

$$\begin{aligned}
 &u(0, t); \\
 &u(l, t); \\
 &u(x, t) = f(x) \quad (11) \\
 &\left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = \varphi(x)
 \end{aligned}$$

Численный анализ зависимостей (11), представленный на рис.5, показывает, что при принятых размерах и жесткости струнного интенсификатора, перемещения струны составляют в пределах 0.5-1.0 мм.

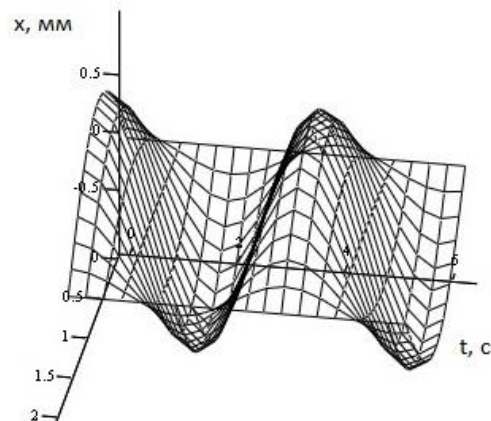


Рис. 6. Зависимости амплитудных колебаний струны после её соударения со смесью.

## Выводы

1. С использованием уже апробированных законов движения, колебаний и реологии смесей можно разработать математические модели процессов гравитационных смесителей со струнными интенсификаторами.
2. Разработанные математические модели процессов позволяют определять кинематические и силовые параметры гравитационных смесителей со струнными интенсификаторами.

## Литература

1. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение [Текст]/ И А. Рыбьев - М.: Высш. шк., 2002. - 701 с.
2. Емельянова И.А. Современные строительные смеси и оборудование для их приготовления [Текст]/ И А. Емельянова, ОЗ. Доброходова, АЛ. Анищенко- Х.: Тимченко, 2010. - 146 с.
3. Рутьнов А.А. Управление организацией производства строительных смесей [Текст]/ А.А. Рутьнов, А.И. Беркут, Я.В. Захаров // Строительные материалы, технологии и оборудование XXI века №11, 2002 - С. 44-45.
4. Богомолов А.А. Теоретические и технические основы совершенствования смесительных машин для приготовления строительных смесей: монография [Текст]/ А.А.Богомолов. - Из-во БГТУ, 2010. - 151 с.
5. Пенчук В.А. Основы механизации малообъемных и рассредоточенных строительных и коммунальных работ [Текст]/ В.А. Пенчук - Донецк: Ноулидж, 2010. - 257 с.
6. Исследование и разработка машин для бетонных работ [Текст]// Науч. тр. ВНИИстройдормаш, 1981, вып. 90. С. 79.
7. Пенчук В.О., Лук'янець В.Б. Гравітаційний змішувач. // Патент на корисну модель № 59769, опубл. 25.05.2011 р, Бюл. № 10, 2011 р.
8. Патент 61066 Украша. Гравітаційний змішувач безперервно! ди [Текст]/ Пенчук В.О., Лук'янець В.Б. - опубл. 11.07.2011 р, Бюл. № 13.
9. А.Н. Соловьев, А.В. Елкин «Технология раскря древесины струной, совершающей ультразвуковые колебания». Системы. Методы. Технологии. УДК 630\*81.001.5
10. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики (5-е изд.). М.: Наука, 1977
11. Нестационарные колебания стержневых систем при соударении с препятствием / Ю. Н. Санкин, Н. А. Юганова; под общ. ред. Ю. Н. Санкина. –Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 174 с.
12. Малых М.Д. Уравнения математической физики. – М., 2012. – 177 с.
13. Уравнения математической физики. Сборник примеров и упражнений /Сост. А.А.Рогов, Е.Е. Семенова, В.И.Чернецкий, Л.В.Щеголева. ПетрГУ. Петрозаводск, 2001. 220с.