

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТНОСМЕСИТЕЛЯ С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ КОЛЕБАНИЯМИ КОРПУСА

Приведены теоретические исследования однофазного бетоносмесителя принудительного действия с осциллирующими колебаниями в рабочем режиме.

Ключевые слова: бетоносмеситель, крутильные колебания, бетонные смеси.

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами. Создание бетоносмесителей принудительного действия, сочетающих в себе высокие показатели производительности и качества приготовляемой смеси с его простотой конструкции и сравнительно малыми значениями металлоёмкости и энергоёмкости, является важной народнохозяйственной задачей. При этом важную роль в разработке бетоносмесителей нового класса играет внедрение в процесс перемешивания новых эффектов, возникающих при вибрационном воздействии и обеспечивающих повышение качества приготовления жестких и сверхжестких бетонных смесей с низкой энергоёмкостью. Создание принципиально новых конструкций смесителей, удовлетворяющих современному производству, невозможно без точного определения основных параметров вибрационных смесителей и режимов вибрационного воздействия на бетонную смесь в процессе её перемешивания.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых впервые предлагалось решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение не решенных прежде задач общей проблемы, которым посвящается указанная статья. Снижения энергоёмкости и повышения эффективности процесса приготовления можно достичь путем использования технологии, при которой наряду с механическим перемешиванием на бетонную смесь одновременно оказывается вибрационное воздействие в виде сдвиговых деформаций со стороны корпуса бетоносмесителя, совершающего крутильные (осциллирующие) колебания [1]. При этом уменьшаются силы сопротивления перемешиванию за счёт уменьшения внутреннего коэффициента трения смеси и коэффициента трения смеси об обечайку корпуса смесителя. Одновременно ускоряется процесс приготовления смеси и улучшается её качество за счёт виброактивации.

Формулирование целей статьи (постановка задачи). Цель работы – определение основных параметров вибрационного бетоносмесителя, использующего в процессе приготовления бетонной смеси механическое

перемешивание с одновременным вибрационным воздействием в виде осциллирующих колебаний корпуса смесителя.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием научных результатов. На рисунке 1 представлена расчётная схема предлагаемого бетоносмесителя, который работает следующим образом. Включается привод бетоносмесителя и через загрузочное отверстие 2 во внутрь корпуса 1 подают предварительно отдозированные минеральные материалы и воду. Одновременно с заполнением бетоносмесителя минеральными материалами включают вибровозбудитель круговых колебаний 12, который сообщает корпусу осциллирующие (крутильные) колебания относительно оси вращения вала. Во время вращения вала по стрелке, указанной на рис. 1, лопасти интенсивно перемешивают смесь, одновременно перемещая ее по двум противоположно направленным потокам: в центральной части и по периферии.

Под действием центральных лопаток 7 смесь переводится во взвешенное состояние и образуется центральный поток, который перемещается в продольном направлении к задней торцевой стенке корпуса, и одновременно закручивается вокруг продольной оси.

Под действием периферийных лопаток 8 образуется кольцевой периферийный поток, который вращается вокруг продольной оси и одновременно перемещается в продольном направлении к передней торцевой стенке корпуса. При этом каждая частица испытывает вихревые движения и периодически перемещается из одного потока в другой, обеспечивая тем самым интенсивный массообмен. Одновременно под действием вибрационного воздействия со стороны осциллирующего корпуса бетонная смесь испытывает сдвиговые деформации и легко переходит в тиксотропное состояние. Именно под действием сдвиговых деформаций происходит значительное уменьшение сил внутреннего сопротивления и сцепления в бетонной смеси, увеличивается количество перетираний между минеральными частицами, происходит предельное разрушение связей в бетонной смеси. Дополнительно происходит активация поверхностей минеральных частиц и цемента. В результате такого воздействия значительно сокращаются силы сопротивления, действующие на лопастной вал 4 со стороны цементобетонной смеси. При этом также интенсивно разрушаются агрегаты, состоящие: а) из слипшихся частиц цемента, покрытых водной пленкой; б) из капелек воды, на поверхности которых силами поверхностного натяжения удерживаются частицы цемента. Смесь становится более подвижной, ускоряется процесс обволакивания минеральных частиц вяжущим. В результате сокращается продолжительность перемешивания и образуется однородная качественная смесь.

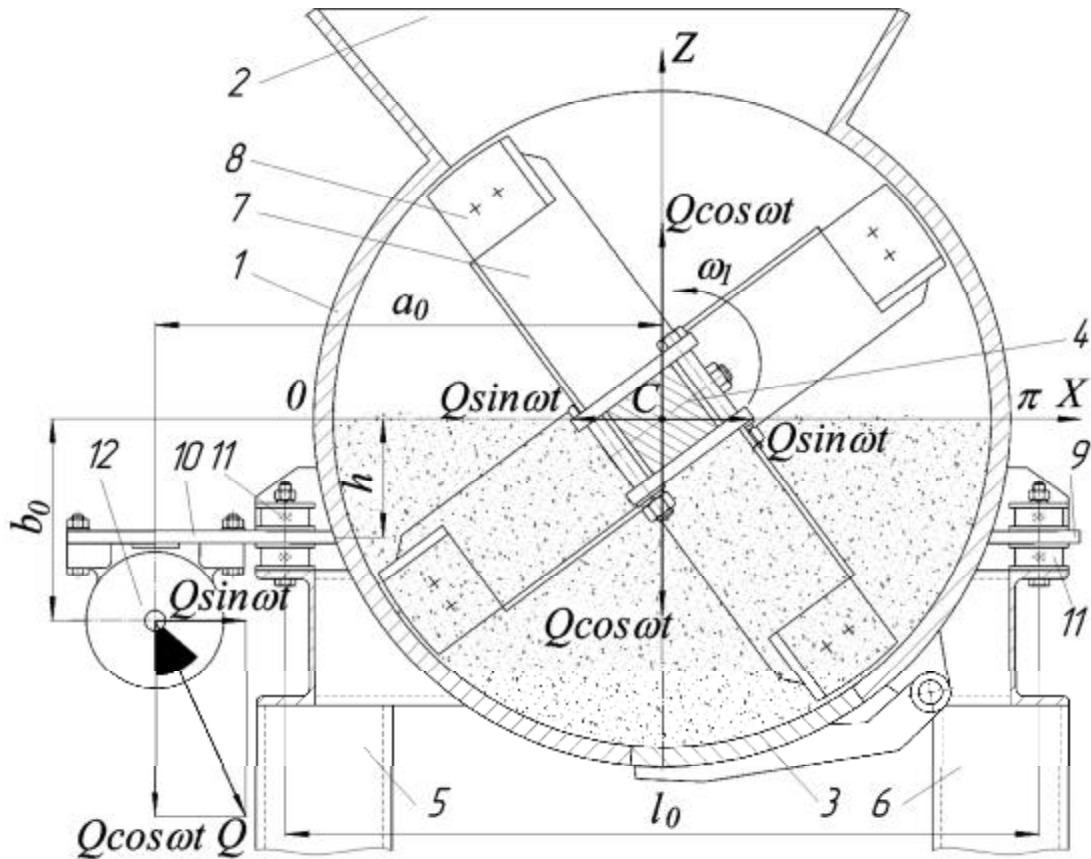


Рис. 1. Расчётная схема бетоносмесителя принудительного действия с осциллирующими колебаниями корпуса: 1 – корпус смесителя; 2 – загрузочная коробка; 3 – люк; 4 – лопастной вал; 5, 6 – стойки рамы; 7 – центральная лопатка; 8 – периферийная лопатка; 9, 10 – кронштейны; 11 – упругие амортизаторы; 12 – вибровозбудитель колебаний

Движение динамической системы «корпус бетоносмесителя – обрабатываемая среда» в рабочем режиме при его полной загрузке цементобетонной смесью (рис. 1) можно описать следующей системой уравнений:

$$J_3 \frac{d^2 \dot{f}_1}{dt^2} + n_3 \frac{d \dot{f}_1}{dt} + k_3 f_1 \pm F_r R = M_1 \cos \omega t + M_2 \sin \omega t; \quad (1)$$

$$(m_k + m_{b1}) \frac{d^2 z_1}{dt^2} + (b_{s1} + b_1) \frac{dz_1}{dt} + c_{s1} z_1 = Q \cos \omega t; \quad (2)$$

$$(m_k + m_{b2}) \frac{d^2 x_1}{dt^2} + (b_{s2} + b_2) \frac{dx_1}{dt} + c_{s2} x_1 = Q \sin \omega t, \quad (3)$$

где \dot{f}_1 – угловое смещение корпуса смесителя относительно координатной оси Y в рабочем режиме;

J_3 – момент инерции массы корпуса смесителя относительно координатной оси Y ;

k_3 – коэффициент крутильной жесткости упругих амортизаторов относительно координатной оси Y ;

m_k – масса корпуса бетоносмесителя;

$$M_1 = Qa_0; M_2 = Qb_0;$$

c_{s1}, b_{s1} і c_{s2}, b_{s2} – суммарные коэффициенты жесткости и неупругого сопротивления амортизаторов в направлении координатных осей Z и X ;

F_{tr} – сила кулонова трения, действующая на обечайку корпуса бетоносмесителя со стороны слоя бетонной смеси;

z_1, x_1 – перемещение корпуса бетоносмесителя в направлении координатных осей Z и X в рабочем режиме;

m_{b1} и b_1 – приведенные масса и коэффициент неупругого сопротивления бетонной смеси в вертикальном направлении;

m_{b2} и b_2 – приведенные масса и коэффициент неупругого сопротивления бетонной смеси в направлении координатной оси X .

Силу кулонова трения можно определить из следующей зависимости:

$$F_{tr} = m_{ba} g f_{v1} = q_k R L r g f_{v1}, \quad (4)$$

где m_{ba} – физическая масса бетонной смеси в корпусе смесителя при рабочем режиме;

q_k – центральный угол, характеризующий объем заполнения корпуса смесителя бетонной смесью, при угле заполнения корпуса смесителя от 0 до ρ (рис. 1), $q_k = \rho$;

f_{v1} – коэффициент трения бетонной смеси о корпус смесителя при вибрационном воздействии;

L – длина внутренней полости корпуса смесителя.

Приведенные массы бетонной смеси m_{b1} и m_{b2} определим из следующих выражений:

$$m_{b1} = RL \frac{l^2 r (a + kctgkH_r)}{w^2}, m_{b2} = \frac{m_{b1}}{2(1+c)}. \quad (5)$$

Приведенные коэффициенты неупругого сопротивления бетонной смеси определим из следующей зависимости:

$$b_1 = RLh(a + kctgkH_r), b_2 = b_1 / [2(1+c)]. \quad (6)$$

Выражение (1) является нелинейным уравнением, поскольку содержит нелинейную функцию $f(t) = \pm F_{tr} R$.

Для решения уравнения (1) применим метод линеаризации, поскольку с уверенностью можно предположить, что корпус смесителя под действием гармонического возбуждения $M_1 \cos \omega t + M_2 \sin \omega t$ будет совершать периодические колебания с частотой ω . В этом случае при стационарных (вынужденных) колебаниях корпуса смесителя нелинейную

функцию $f(t) = \pm F_{tr} R$ с достаточной степенью точности можно представить в виде ряда Фурье [2]

$$f(t) = \frac{4F_{tr}R}{\rho} \left[\sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots + \frac{\sin[(2n\omega+1)t]}{2n+1} \right] \ddot{y}. \quad (7)$$

Подставляя функцию (7) в выражение (1), получим уравнение колебаний, описывающее крутильные колебания корпуса бетоносмесителя в следующем виде:

$$J_3 \frac{d^2 j_1}{dt^2} + n_3 \frac{dj_1}{dt} + k_3 j_1 = M_1 \cos \omega t + M_2 \sin \omega t - \frac{4F_{tr}R}{\rho} \left[\sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots + \frac{\sin[(2n\omega+1)t]}{2n+1} \right] \ddot{y}. \quad (8)$$

Решение уравнения (1) для стационарных крутильных колебаний корпуса бетоносмесителя будет иметь следующий вид:

$$j_1(t) = F_3 \cos(\omega t + \alpha_3) - F_{11} \sin(\omega t - \alpha_3) - F_{13} \sin(3\omega t - \alpha_{13}) - F_{15} \sin(5\omega t - \alpha_{15}) - \dots - F_{1(2n+1)} \sin[(2n+1)\omega t - \alpha_{1(2n+1)}]. \quad (9)$$

Здесь $F_3, F_{11}, F_{13}, F_{15}, \dots, F_{1(2n+1)}$ – амплитуды крутильных колебаний корпуса бетоносмесителя относительно координатной оси Y на соответствующей гармонике;

$\alpha_3, \dots, \alpha_{1(2n+1)}$ – углы сдвига фаз;

$$F_3 = \sqrt{F_{31}^2 + F_{32}^2 - 2F_{31}F_{32} \sin 2\alpha_{31}}; \quad \alpha_3 = \arctg \frac{F_{31} \sin \alpha_{31} - F_{32} \cos \alpha_{31}}{F_{31} \cos \alpha_{31} - F_{32} \sin \alpha_{31}};$$

$$F_{31} = \frac{M_1}{\sqrt{(k_3 - J_3 \omega^2)^2 + n_3^2 \omega^2}}; \quad F_{32} = \frac{M_2}{\sqrt{(k_3 - J_3 \omega^2)^2 + n_3^2 \omega^2}};$$

$$F_{1(2n+1)} = \frac{4F_{tr}R}{\rho(2n+1)\sqrt{[k_3 - (2n+1)^2 J_3 \omega^2]^2 + (2n+1)^2 n_3^2 \omega^2}};$$

$$\alpha_{1(2n+1)} = \arctg \frac{(2n+1)n_3 \omega}{k_3 - (2n+1)^2 J_3 \omega^2}.$$

На основании выражения (9) определим закон осциллирующих колебаний обечайки корпуса смесителя, контактирующей с бетонной смесью в рабочем режиме

$$l_1(t) = Rf_1(t). \quad (10)$$

Полученное выражение (9) позволит установить осциллирующий закон движения корпуса смесителя в рабочем режиме и определить основные параметры предлагаемого вибрационного бетоносмесителя. Анализ полученных результатов показывает, что в зависимости (9), с достаточной для инженерных расчётов степенью точности, можно ограничиться первыми тремя или четырьмя членами, стоящими в фигурных скобках. Установлено, что амплитуды вынужденных линейных

колебаний корпуса бетоносмесителя в рабочем режиме в направлении координатных осей Z и X имеют значительно меньшие значения, чем значение амплитуды осциллирующих колебаний.

Предложенная конструкция бетоносмесителя с осциллирующими колебаниями корпуса позволяет достаточно простыми способами обеспечить предельное разрушение связей и структуры бетонной смеси за счёт создания сдвиговых деформаций в обрабатываемом объеме смеси. В результате осциллирующих колебаний между внутренней поверхностью корпуса смесителя и бетонной смесью создается тонкий смазывающий слой из «цементного молочка», что уменьшает силы внешнего трения бетонной смеси о корпус и снижает износ обечайки корпуса смесителя. Это обстоятельство не требует установки на обечайке корпуса смесителя защитных броневых листов.

Данную конструкцию целесообразно использовать на бетоносмесителях периодического действия с объемом по загрузке 100 – 250 л.

Выводы из данного исследования. Впервые теоретическим путем определен закон осциллирующих колебаний корпуса смесителя. Полученные выражения позволяют обосновать рациональные параметры предлагаемого бетоносмесителя. Использование бетоносмесителя с осциллирующими колебаниями корпуса позволяет вдвое уменьшить установленную мощность привода лопастного вала и обеспечить качественное приготовление жестких бетонных смесей за 30...35 с.

Литература

1. Пат. 63259 Україна, МПК (2011.01) B28C 5/00, E01C 19/00. Вібротехнічний бетонозмішувач з осцилюючими коливаннями / Маслов О.Г., Саленко Ю.С.; заявник і патентовласник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № и201015764; заявл. 27.12.10; опубл. 10.10.11, Бюл. № 19.
2. Араманович И.Г. Уравнение математической физики / И.Г. Араманович, В.И. Левин – М.: Наука, 1969. – 288 с.
3. Королев К.М. Методика расчета лотковых смесителей / К.М. Королев // Строительные и дорожные машины. – 1985. – №1. – С. 14–16.
4. Кузьмичев В.А. Смесители принудительного действия с вибровозбудителями / В.А. Кузьмичев // Строительные и дорожные машины. – 1987. – № 12. – с. 9–10.
5. Маслов А.Г. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве / А.Г. Маслов, В.М. Пономарь – К.: Будівельник, 1985. – 128 с.
6. Маслов А.Г. Теоретические и экспериментальные исследования вибрационного оборудования бетоносмесителя принудительного действия для обработки цементобетонных смесей / А.Г. Маслов, Л.Н. Саленко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип. 6/(23).

7. Пат. 63258 Україна, МПК (2011.01) В28С 5/00. Вібромеханічний спосіб приготування цементобетонної суміші / Маслов О.Г., Саленко Ю.С.; заявник і патентовласник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u201015761; заявл. 27.12.10; опубл. 10.10.11, Бюл. № 19.

8. Пат. 63733 Україна, МПК (2011.01) В28С 5/00, E01С 19/00. Вібромеханічний змішувач з крутильними коливаннями / Маслов О.Г., Саленко Ю.С.; заявник і патентовласник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u20101576; заявл. 27.12.10; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20.

9. Пат. 51865 Україна, МПК (2009) В28С 5/14 (2006.01), E01С 19/00. Одновальний вібраційний змішувач бетону / Саленко Ю.С.; заявник і патентовласник Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u200913165; заявл. 17.12.09; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© Ю. С. Саленко

УДК 693.95(075.8)

*Саленко Ю.С., к.т.н., доц.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНОЗМІШУВАЧА З ОСЦИЛЮЮЧИМИ КОЛИВАННЯМИ КОРПУСУ

Наведено теоретичні дослідження одновального бетонозмішувача примусової дії з осцилюючими коливаннями в робочому режимі.

Ключові слова: бетонозмішувач, крутильні коливання, бетонні суміші.

UDC 693.95(075.8)

*Salenko Y., Ph. D., Associate Professor
Kremenchug National University named in honour of Michael Ostrogradskiy*

THEORETICAL STUDY OF THE CONCRETE MIXER WITH OSCILLATING FLUCTUATIONS CORPS

Theoretical study of single-shaft mixer forced action of oscillating fluctuations in operating mode.

Keywords: concrete mixer, torsional oscillations, concrete mixtures.