

*И. А. Емельянова, д.т.н., профессор*

*А.П. Ковревский, к.т.н., профессор*

*В.В. Блажко, к. т. н., доцент*

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕУДАРНОЙ СКОРОСТИ ЧАСТИЦ СУХИХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПОСЛЕ КОНТАКТА С ЛОПАТКОЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА БЕТОНОСМЕСИТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО В КАСКАДНОМ РЕЖИМЕ**

*Рассмотрены конструкции смесителей для приготовления сухих строительных смесей работающих в каскадном режиме. На основании Ньютоновской теории удара предложен алгоритм определения скоростей частиц сухой бетонной смеси в процессе их взаимодействия с лопатками вращающихся рабочих органов смесителей.*

*Представлены результаты теоретических исследований взаимодействия частиц сухой бетонной смеси с рабочим органом работающего в каскадном режиме.*

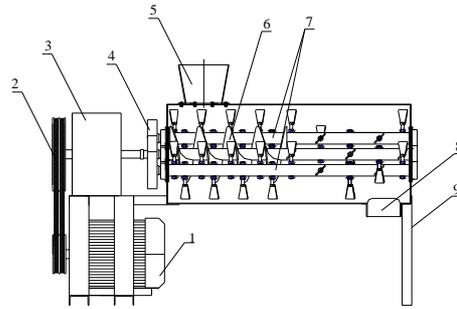
*Ключевые слова:* бетоносмеситель, сухая смесь, каскадный режим, траектория движения

**Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами.** Внутри корпуса смесителей, работающих в каскадном режиме, наблюдается сложное, многоконтурное движение частиц бетонной смеси по пересекающимся траекториям [1, 2, 3].

К этой группе машин, которые могут быть использованы в технологических комплексах оборудования для приготовления сухих строительных смесей, следует отнести трехвальный бетоносмеситель (рис.1, а), бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия (рис.1, б) и двухроторный турбулентный смеситель (рис.1, в).

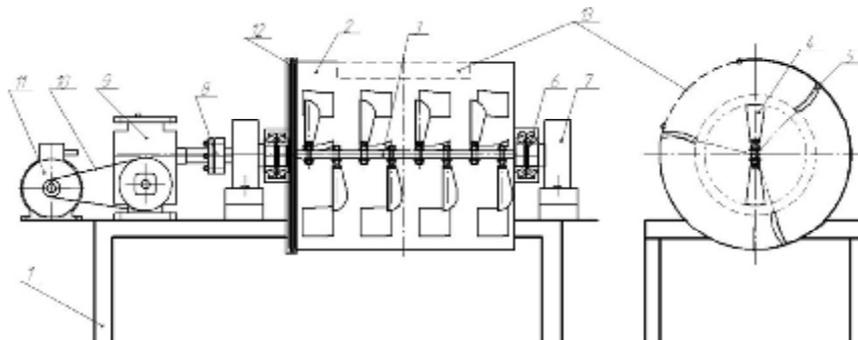
Конструктивные решения указанных машин характеризуются наличием лопаток, которые могут быть прямыми, криволинейной формы. Особенностью конструкции трехвального смесителя является наличие шнекового вала, на который с верхнего лопастного вала при его вращении падают частицы смеси. При сходе их с рабочих органов в корпусах машин следует предположить, что для дальнейшего определения траекторий их движения можно использовать единую универсальную имитационную модель.

Образование сложного контура движения частиц смеси становится возможным, благодаря объединению двух принципов перемешивания (гравитационного и принудительного) компонентов смеси в корпусе машины.



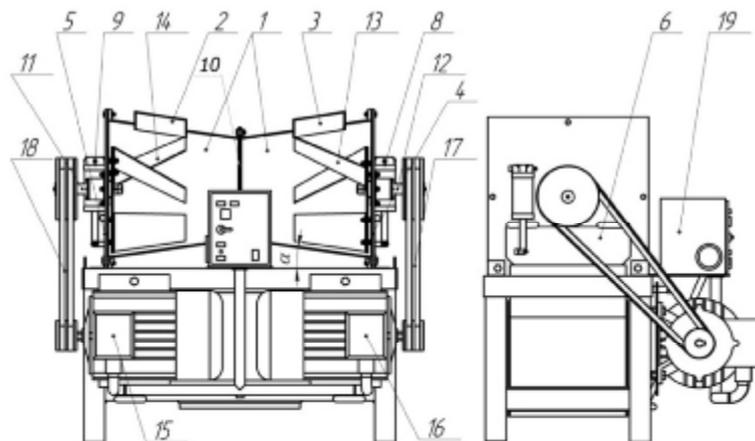
а) трехвалный бетоносмеситель:

1 – двигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор; 4 – открытая зубчатая передача; 5 – загрузочный бункер; 6 – шнековый вал; 7 – лопастные валы; 8 – разгрузочный патрубок; 9 – рама



б) бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия:

1 – рама смесителя; 2 – барабан; 3 – вал; 4 – лопатки вала; 5 – лопатки корпуса; 6, 7 – подшипниковые опоры; 8 – муфта; 9 – редуктор; 10 – клиноременная передача; 11 – электродвигатель; 12 – цепная передача; 13 – загрузочно-разгрузочный люк



в) двухроторный турбулентный смеситель:

1 – корпус; 2, 3 – загрузочное отверстие; 4, 5 – разгрузочные отверстия; 6, 7 – заслонки; 8, 9 – пневмоцилиндры; 10 – фланцы; 11, 12 – валы; 13, 14 – роторы с лопастями; 15, 16 – электродвигатели; 17, 18 – ременные передачи; 19 – блок управления

Рис. 1. Принципиальные схемы смесителей, работающих в каскадном режиме

**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.** В результате ранее проведенных исследований было установлено, что с целью получения однородной строительной смеси частицам исходных компонентов необходимо сообщить такие скорости движения, которые обеспечивали бы наибольшую возможность их пересечения в корпусе смесителя [4].

Теоретические исследования процесса приготовления сухих качественных смесей в смесителях новых конструкций базируются на одних и тех же научных подходах.

Результаты предварительных лабораторных исследований смесителей новой конструкции, работающих в каскадном режиме, подтверждают их эффективность при приготовлении сухих строительных смесей, что требует глубокого изучения как теоретически, так и экспериментально рабочих процессов таких машин в вышеуказанной области [5, 6].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Процесс приготовления сухих строительных смесей отличается от особенностей приготовления бетонных смесей тем, что смесь, состоящая из частиц твердого тела, в динамических процессах ведет себя иначе, чем жидкая фаза [7]. В связи с этим представляет интерес изучение характера движения частиц смеси в рабочем пространстве смесителя с требуемыми скоростями, которые позволят такие смеси приготовить качественными.

**Изложение основного материала исследования с полным обоснованием научных результатов.** На начальной стадии построения имитационной модели рассматривается процесс соударения частиц с движущейся поверхностью лопатки рабочего органа (рис. 2, а).

Положение лопатки в момент соударения характеризуется углами  $\beta$  и  $\gamma$ . При этом:

ОА – радиальная плоскость;

ВС – плоскость лопатки.

Ось  $O_y$  – ось вращения рабочего органа, так что  $\beta = \omega t$ ,

где  $\omega$  – угловая скорость рабочего органа.

Плоскость лопатки рассматривается в системе координат с ортами  $\mathbf{n}_{(1)}^{\mathbf{r}}, \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{r}}, \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{r}}$  (рис. 2, б).

орт  $\mathbf{n}^{\mathbf{r}}$  – перпендикулярен плоскости лопатки;

орт  $\mathbf{h}^{\mathbf{r}}$  – расположен по линии крепления лопатки к угловой поверхности конуса;

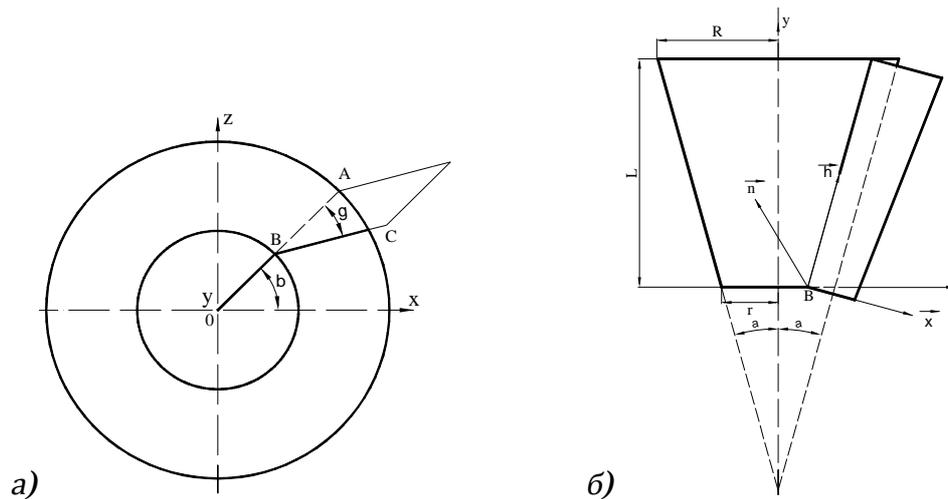


Рис. 2 Расчетная схема взаимодействия лопатки с частицей бетонной смеси

орт  $\vec{x}^{(1)}$  – расположен на поверхности лопатки перпендикулярно к плоскости  $Bnh$ ;

оси  $O_x, O_y, O_z$  – неподвижные.

Проекции ортов местной системы на оси  $O_x, O_y, O_z$  представлены в таблице 1.

Таблица 1. Проекция ортов местной системы на оси  $O_x, O_y, O_z$

Орты	x	y	z
$\vec{n}_{(1)}$	$\sin g \cos a \cos b -$ $-\cos g \sin b$	$-\sin g \sin a$	$\sin g \cos a \sin b +$ $+\cos g \cos b$
$\vec{x}_{(1)}$	$\cos a \sin g \cos b +$ $+\sin g \sin b$	$-\cos g \sin a$	$\cos g \cos a \sin b -$ $+\sin g \cos b$
$\vec{h}_{(1)}$	$\sin a \sin b$	$\cos a$	$\sin a \cos b$

Методом случайной выборки задается точка D контакта частицы с поверхностью лопатки. Ее координаты  $x_D, h_D$  (очевидно, что  $n_D = 0$ ) (рис. 2, б). Вектор доударной скорости частицы обозначается как  $\vec{u}_1 (\vec{u}_{1x}, \vec{u}_{1y}, \vec{u}_{1z})$ .

Частица смеси рассматривается как материальная точка массой  $m$ .

Уравнениями, определяющими ее послеударную скорость  $\vec{V}_2 (\vec{V}_{2x}, \vec{V}_{2y}, \vec{V}_{2z})$ , будут следующие:

1. Выражение для теоремы импульсов имеет вид

$$m(\dot{V}_2 - \dot{U}_1) = \dot{S}, \quad (1)$$

где  $\dot{S}$  – ударный импульс.

Его разложение на нормальную и касательную к поверхности лопатки  $\dot{S} = \dot{S}_n + \dot{S}_t = S_n \times \mathbf{n} + S_t \times \mathbf{t}$ ,

где  $\mathbf{t}$  – орт касательной к поверхности лопатки (он направлен против относительной скорости).

Поскольку данные о связи  $S_n$  и  $S_t$  отсутствуют, то принимается статистическое соотношение [8].

$$2. \quad S_t = f S_n. \quad (2)$$

3. Скалярное выражение для нормальных составляющих послеударных скоростей

$$\dot{V}_1 \times \mathbf{n}_1 + \dot{V}_2 \times \mathbf{n}_2 = -e(\dot{U}_1 \times \mathbf{n}_1 + \dot{U}_2 \times \mathbf{n}_2), \quad (3)$$

где  $\dot{V}_2$  и  $\dot{U}_2$  – послеударная и доударная скорости точки контакта лопатки;  $\mathbf{n}_2$  – орт внутренней нормали к поверхности лопатки ( $\mathbf{n}_2 = -\mathbf{n}_1$ );  $e$  – коэффициент восстановления.

Определяем доударную скорость точки D лопатки как скорость точки вращающегося тела.

Для этого нужно найти радиус вращения  $r_2$  этой точки (рис.3). На рисунке положение  $r_2$  показано при  $b = \frac{\rho}{2}$ .

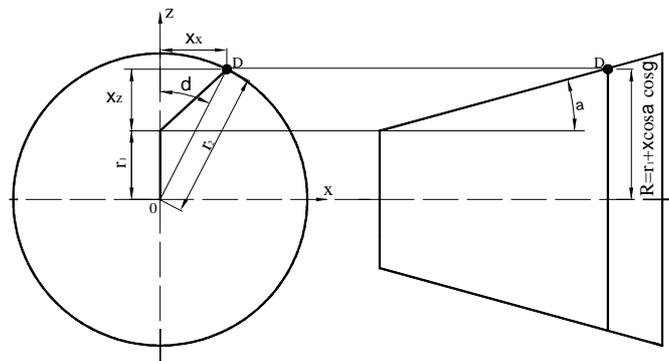


Рис. 3. Расчетная схема к определению радиуса вращения точки контакта

Координаты точки D в системе  $(x \ o \ z)$  будут равны:

$$x_x = x \cos a \sin g, \quad x_z = x \cos a \cos g$$

Угол атаки лопатки  $d$  определяется как

$$\operatorname{tg} d = \frac{x \sin g \cos a}{r + x \cos a \cos g}. \quad (4)$$

Радиус вращения точки контакта

$$r_2 = \sqrt{\chi x^2 + \chi y^2} = \sqrt{\chi^2 \cos^2 a + r^2 + 2r\chi \cos g \cos a}. \quad (5)$$

При  $\beta \neq 0$  проекции скорости  $V_z$  на неподвижные оси имеют вид

$$\begin{aligned} u_{2x} &= -\omega r_2 \sin(b-d) \ddot{y} \\ u_{2z} &= \omega r_2 \cos(b-d) \ddot{y} \\ u_{2y} &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Теперь скалярное выражение (3) можно записать через проекции ортов на оси  $O_x, O_y, O_z$  в виде (учитывая, что  $\dot{V}_2 = \dot{u}_2$  и  $\bar{n}_2 = -\bar{m}$ )

$$\begin{aligned} V_{1x} \times n_{1x} + V_{1y} \times n_{1y} + V_{1z} \times n_{1z} &= -e(u_{1x} n_{1x} + u_{1y} n_{1y} + u_{1z} n_{1z}) + \\ &+ (1+e)(u_{2x} n_{1x} + u_{2y} n_{1y} + u_{2z} n_{1z}). \end{aligned} \quad (7)$$

Величины  $n_{1x} = \sin g \cos b \cos a + \sin b \cos g$ ,  $n_{1y} = -\sin g \sin a$ ,  $n_{1z} = \cos a \sin b \sin g + \cos b \cos g$  определяются конструкцией и могут считаться известными (см. таб.1).

Правая часть уравнения (7), учитывая (6), может быть вычислена заранее. Обозначим ее как  $c$ .

Таким образом, уравнение (7) может быть представлено как

$$V_{1x} n_{1x} + V_{1y} \times n_{1y} + V_{1z} \times n_{1z} = c. \quad (8)$$

При проектировании векторного уравнения (1) на неподвижные оси  $O_x, O_y, O_z$  получены еще 3 скалярных уравнения:

$$m_1 V_{1x} = m_1 u_{1x} + S_n \times n_{1x} + S_t \times t_x; \quad (9)$$

$$m_1 V_{1y} = m_1 u_{1y} + S_n \times n_{1y} + S_t \times t_y; \quad (10)$$

$$m_1 V_{1z} = m_1 u_{1z} + S_n \times n_{1z} + S_t \times t_z. \quad (11)$$

Следует также взять во внимание, что  $S_t = f S_n$ .

Касательная составляющая  $\dot{S}_t$  ударного импульса  $\dot{S}$  лежит в плоскости лопатки и направлена против относительной касательной скорости.

Относительная скорость частицы (по отношению к лопатке) в точке контакта будет равна

$$\dot{u}^p = \dot{u}_1 - \dot{u}_2 = \dot{u}_1 - \omega r_2. \quad (12)$$

Проекция вектора  $\dot{u}^p$  на оси  $O_x, O_y, O_z$  с учетом выражений (6) имеют вид

$$\begin{aligned}
 \mathcal{U}_x &= u_x + wr_2 \sin(b-d) \ddot{u} \\
 \mathcal{U}_y &= u_y \ddot{y} \\
 \mathcal{U}_z &= u_z - wr_2 \cos(b-d) \ddot{p}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Проекция вектора  $\mathbf{U}$  на плоскость  $X_n$  (т.е. на плоскость лопатки) обозначается как  $\mathbf{U}_p$ .

Тогда орт  $\mathbf{t}$  можно определить как (рис. 4)

$$\mathbf{t} = \frac{\mathbf{U}_p}{|\mathbf{U}_p|}.
 \tag{14}$$

Проекция вектора  $\mathbf{U}$  на плоскость лопатки определяется как разность вектора  $\mathbf{U}$  к его нормальной (к плоскости) составляющей

$$\begin{aligned}
 \mathbf{U}_p &= \mathbf{U} - \mathbf{U}_n \\
 \mathbf{U}_n &= (\mathbf{U} \times \mathbf{n}_{(1)}) \times \mathbf{n}_{(1)}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

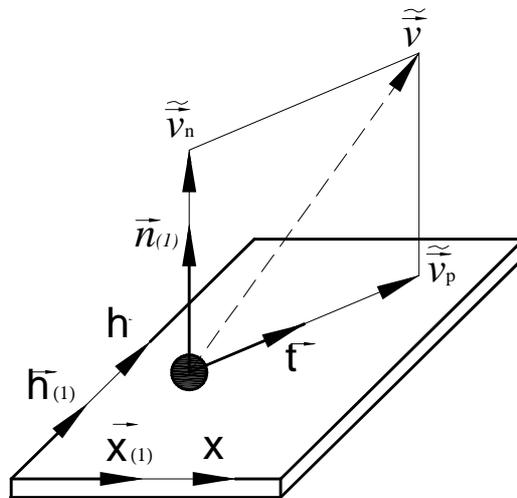


Рис. 4. Схема к определению проекции вектора скорости частицы смеси на плоскость лопатки

Скалярное произведение  $\mathbf{U} \times \mathbf{n}_{(1)}$  определяет величину нормальной составляющей

$$\mathbf{U} \times \mathbf{n}_{(1)} = \mathcal{U}_x n_{1x} + \mathcal{U}_y \times n_{1y} + \mathcal{U}_z \times n_{1z}.$$

Проекции орта  $\mathbf{n}$  на оси x, y, z указаны в табл. 1.

С учетом этих проекций уравнение примет вид

$$\mathbf{u}^{\mathbf{r}} \times \mathbf{n}_{(1)}^{\mathbf{r}} = -\mathcal{C}_x \cos a \times \sin(b-g) - \mathcal{C}_y \sin g \times \sin a + \mathcal{C}_z \times \cos a \cos(b-g). \quad (16)$$

Если скорость частицы до удара известна,  $\mathbf{u}^{\mathbf{r}}(u_x, u_y, u_z)$ , то величину  $\mathbf{u}^{\mathbf{r}} \times \mathbf{n}_{(1)}^{\mathbf{r}}$  также можно считать известной.

Найдем теперь проекции скорости  $\mathbf{u}_p^{\mathbf{r}}$  на оси местной системы  $\mathbf{x}$  и  $\mathbf{h}$ , для чего умножим скалярно все члены векторного выражения (15) на орты  $\mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}}$  и  $\mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}}$ .

Проекции этих ортов указаны в табл. 1.

$$\mathcal{C}_{px} = \mathcal{U}_n^{\mathbf{i}} \times \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}} - \mathcal{U}_n^{\mathbf{r}} \times \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{r}}; \quad \mathcal{C}_{ph} = \mathcal{U}_n^{\mathbf{i}} \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}} - \mathcal{U}_n^{\mathbf{r}} \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{r}}. \quad (17)$$

Выразим скалярные произведения через их проекции на оси  $O_x, O_y, O_z$ .

$$\begin{aligned} \text{Учитывая, что } \mathcal{U}_n^{\mathbf{i}} \times \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}} &= (\mathbf{u}_n^{\mathbf{r}} \times \mathbf{n}_{(1)}^{\mathbf{r}}) \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}} \times \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}} = 0; \\ \mathcal{U}_n^{\mathbf{r}} \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{r}} &= (\mathbf{u}_n^{\mathbf{r}} \times \mathbf{n}_{(1)}^{\mathbf{r}}) \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{r}} \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{r}} = 0, \end{aligned}$$

эти произведения будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathcal{C}_{px} &= \mathcal{C}_x \times x_{(1)x} + \mathcal{C}_y \times x_{(1)y} + \mathcal{C}_z \times x_{(1)z} \quad \ddot{u} \\ \mathcal{C}_{ph} &= \mathcal{C}_x \times h_{(1)x} + \mathcal{C}_y \times h_{(1)y} + \mathcal{C}_z \times h_{(1)z} \quad \ddot{y}. \end{aligned} \quad (18, 19)$$

$$\text{Теперь можно найти } |\mathcal{C}_p| = \sqrt{\mathcal{C}_{px}^2 + \mathcal{C}_{ph}^2}. \quad (20)$$

Вектор скорости  $\mathbf{u}_p^{\mathbf{r}}$  разложим на две составляющие вдоль осей  $\mathbf{x}$  и  $\mathbf{h}$ :

$$\mathbf{u}_p^{\mathbf{r}} = \mathbf{u}_{px}^{\mathbf{r}} \times \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}} + \mathbf{u}_{ph}^{\mathbf{r}} \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}}. \quad (21)$$

Обозначим орты неподвижных осей  $Ox, y, z$  как  $\mathbf{i}^{\mathbf{i}}, \mathbf{j}^{\mathbf{i}}, \mathbf{k}^{\mathbf{i}}$ .

Проекции вектора  $\mathbf{u}_p^{\mathbf{r}}$  на эти оси получаются скалярным умножением данных вектора на составляющий орт

$$\mathbf{u}_{px}^{\mathbf{r}} = \mathcal{U}_p^{\mathbf{i}} \times \mathbf{i}^{\mathbf{i}} = \mathcal{C}_{px} \times \mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}} \times \mathbf{i}^{\mathbf{i}} + \mathcal{C}_{ph} \times \mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}} \times \mathbf{i}^{\mathbf{i}}. \quad (22)$$

Но  $\mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}} \times \mathbf{i}^{\mathbf{i}}$  и  $\mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}} \times \mathbf{i}^{\mathbf{i}}$  есть проекции ортов  $\mathbf{x}_{(1)}^{\mathbf{i}}$  и  $\mathbf{h}_{(1)}^{\mathbf{i}}$  на ось  $O_x$ .

Отсюда

$$\mathcal{C}_{px} = \mathcal{C}_{px} (\cos a \times \cos g \times \cos b + \sin g \sin b) + \mathcal{C}_{ph} \times \sin a \times \cos b. \quad (23)$$

Аналогично для двух других проекций получаем

$$\mathcal{C}_{py} = -\mathcal{C}_{px} \cos g \sin a + \mathcal{C}_{ph} \times \cos a; \quad (24)$$

$$\mathcal{C}_{pz} = \mathcal{C}_{px} (\cos a \times \cos g \times \sin b - \sin g \times \cos b) + \mathcal{C}_{ph} \times \sin a \times \sin b. \quad (25)$$

Наконец можно записать проекции касательного ударного импульса на неподвижные оси

$$\begin{aligned} S_{tx} &= - \frac{fS_n}{|\tilde{u}_p|} \tilde{u}_{px} (\cos a \times \cos g \times \cos b + \sin g \times \sin b) + \tilde{u}_{px} \times \sin g \times \cos b \ddot{y} \\ S_{ty} &= - \frac{fS_n}{|\tilde{u}_p|} \tilde{u}_{py} \cos g \times \sin a + \tilde{u}_{ph} \times \cos a \ddot{y} \\ S_{tz} &= - \frac{fS_n}{|\tilde{u}_p|} \tilde{u}_{pz} (\cos a \times \cos g \times \sin b - \sin g \times \cos b) + \tilde{u}_{ph} \times \sin a \times \sin b \ddot{y} \end{aligned} \quad (26)$$

Коэффициенты при  $S_n$  в этих выражениях обозначим соответственно как  $(a_1, a_2, a_3)$ :

$$a_1 = \frac{f}{|\tilde{u}_p|} \tilde{u}_{px}; \quad a_2 = \frac{f}{|\tilde{u}_p|} \tilde{u}_{py}; \quad a_3 = \frac{f}{|\tilde{u}_p|} \tilde{u}_{pz}.$$

В сокращенном виде система уравнений (26) имеет вид

$$\begin{aligned} S_{tx} &= - S_n \times a_1 \ddot{y} \\ S_{ty} &= - S_n \times a_2 \ddot{y} \\ S_{tz} &= - S_n \times a_3 \ddot{y} \end{aligned} \quad (27)$$

Уравнения (9), (10), (11) с учетом выражений (27) и таблицы 1 можно записать так:

$$V_{1x} = u_{1x} + \frac{S_n}{m} (n_{1x} - a_1) \ddot{y} \quad (28)$$

$$V_{1y} = u_{1y} + \frac{S_n}{m} (n_{1y} - a_2) \ddot{y} \quad (29)$$

$$V_{1z} = u_{1z} + \frac{S_n}{m} (n_{1z} - a_3) \ddot{y} \quad (30)$$

Систему полученных уравнений следует рассматривать с учетом уравнения (8).

Для сокращения записи вводятся обозначения:

$$b_1 = \frac{1}{m} (n_{1x} - a_1); \quad b_2 = \frac{1}{m} (n_{1y} - a_2); \quad b_3 = \frac{1}{m} (n_{1z} - a_3). \quad (31)$$

В этом случае уравнения (28) – (30) примут такой вид:

$$V_{1x} = u_{1x} + S_n \times b_1; \quad V_{1y} = u_{1y} + S_n \times b_2; \quad V_{1z} = u_{1z} + S_n \times b_3. \quad (32)$$

Подставив эти выражения в уравнение (8), получаем одно уравнение для определения  $S_n$

$$(u_{1x} + S_n \times b_1) \times n_{1x} + (u_{1y} + S_n \times b_2) \times n_{1y} + (u_{1z} + S_n \times b_3) = c.$$

В конечном итоге  $S_n$  определяется, исходя из зависимости

$$S_n = \frac{c - u_{1x} \times n_{1x} - u_{1y} \times n_{1y} - u_{1z} \times n_{1z}}{b_1 \times n_{1x} + b_2 \times n_{1y} + b_3 \times n_{1z}}. \quad (33)$$

Зная  $S_n$  и подставив это выражение в формулу (32), можно определить  $V_{Ix}, V_{Iy}, V_{Iz}$ .

Таким образом, вектор послеударной скорости  $\dot{V}_1$  вычисляется при следующем порядке операций:

– находится согласно формуле (5) угол  $d$ , радиус вращения точки контакта  $r_2$  согласно формуле (6), проекции доударной скорости точки контакта лопасти – формуле (7);

– величину  $c$  при этом следует определять по формуле (8)

$$c = -e \times (u_{1x} \times n_{1x} + u_{1y} \times n_{1y} + u_{1z} \times n_{1z}) + (1+e) \times (U_{2x} \times n_{1x} + U_{2y} \times n_{1y} + U_{2z} \times n_{1z});$$

– проекции относительной скорости  $\tilde{u}_x, \tilde{u}_y, \tilde{u}_z$  – по формуле (13);

– скалярное произведение  $\dot{\mathbf{u}} \times \mathbf{n}_{(1)}$  следует определять по формулам (16);

– по формулам (18), (19), (20) вычисляются проекции относительной скорости на местные оси координат  $\tilde{u}_{px}, \tilde{u}_{ph}$  и модуль  $|\mathcal{O}_p|$ ;

– величины  $a_1, a_2, a_3$  как коэффициенты при  $-S_n$  определяются согласно формуле (26);

– величины  $v_1, v_2, v_3$  вычисляются по формуле (31);

– величина проекции ударного касательного импульса  $S_n$  определяется по формуле (33);

– после подстановки  $S_n$  в формулы (32) вычисляется скорость частицы смеси относительно неподвижной системы координат  $V_{Ix}, V_{Iy}, V_{Iz}$ .

**Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших исследований в этом направлении.** На основании ньютоновской теории удара с учетом приведенной последовательности выполняемых операций может быть предложен алгоритм расчета доударной и послеударной скоростей частиц сухой бетонной смеси в процессе их взаимодействия с лопатками вращающихся рабочих органов смесителей, работающих в каскадном режиме.

*Надійшла до редакції 20.11.2014*

© И. А. Емельянова, А.П. Ковревський, В.В. Блажко

## Литература

1. Емельянова И.А. Новый принцип создания бетоносмесителей принудительного действия раб. Баранов А.Н., Блажко В.В. // Труды международной научно-технической конференции «Интерстроймех–2005», ч. 1. – Тюмень, 2005. – С. 38 – 43.
2. Емельянова И. Особенности рабочего процесса принудительно-гравитационного бетоносмесителя / Блажко В. В., Анищенко А. И. // Науковий вісник будівництва. – Харків, ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – Вып. 52. – С. 317 – 325.
3. Особенности работы бетоносмесителей в каскадном режиме / Емельянова И. А., Блажко В. В., Доброходова О. В., Анищенко А. И. // Материалы Международной научно-технической конференции «Интерстроймех – 2009». – Бишкек, 2009. – С. 398 – 403.
4. Блажко В.В. Трехвальный бетоносмеситель для приготовления малоподвижных бетонных смесей : дис. канд. тех. наук: 05.05.02. / – Харьков, 2007. – 160 с.
5. Емельянова И.А. Влияние рабочих параметров трехвального бетоносмесителя на однородность бетонной смеси / Блажко В.В. // Науковий вісник будівництва. – Вып. 42. – Харьков, 2007. – С. 124 – 128.
6. Емельянова И.А. Определение рациональных режимов работы бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия / И.А. Емельянова, А.И. Анищенко, Ф.А. Стоянов // Новые материалы и технологии в машиностроении.: сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Вып. 16. – Брянск: БГИТА, 2012. – С. 137 – 140.
7. Перемешивание и аппараты с мешалками / Стренк Ф., пер. с польск. / Под ред. Щупляка И.А. – Л.: Химия, 1975.
8. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел: монография / Гольдсмит В. — М.: Изд-во л-ры по строительству, 1965. — 449 с.

УДК 666.983

*І. А. Ємельянова, д.т.н., проф.*

*А.П. Ковревський, к.т.н., проф.*

*В.В. Блажко, к. т. н., доц.*

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПІСЛЯУДАРНОЇ ШВИДКОСТІ ЧАСТОК СУХИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ ПІСЛЯ КОНТАКТУ З ЛОПАТКОЮ РОБОЧОГО ОРГАНА БЕТОНОЗМІШУВАЧА, ЩО ПРАЦЮЄ У КАСКАДНОМУ РЕЖИМІ**

*Розглянуто конструкції змішувачів для приготування сухих будівельних сумішей, що працюють в каскадному режимі. На підставі Ньютонівської теорії удару запропонований алгоритм визначення швидкостей частинок сухої бетонної суміші в процесі їх взаємодії з лопатками обертових робочих органів змішувачів.*

*Представлені результати теоретичних досліджень взаємодії часток сухої бетонної суміші з робочим органом, що працює у каскадному режимі.*

**Ключові слова:** *бетонозмішувач, суха суміш, каскадний режим, траєкторія руху.*

UDC 666.983

*I. A. Emelianova, Doctor of Technical Sciences, Professor*

*A.P. Kovrevsky, Ph.D., Professor*

*V.V. Blazhko, Ph. D., Associate Professor*

*Kharkov National University Construction and Architecture*

## **DETERMINATION OF IMPACTED PARTICLES VELOCITY OF DRY CONCRETE MIXTURES AFTER THE CONTACT WITH THE BLADE OF THE WORKING BODY OF CONCRETE MIXER THAT OPERATES IN CASCADE MODE**

*The designs of mixers for preparation of dry building mixtures that operate in cascade mode are revealed. On the basis of the Newtonian impact theory it was proposed the algorithm for determining the velocity of the particles of dry concrete mix in the process of their interaction with the rotating blades of the working bodies of mixers.*

*The results of theoretical studies of the interaction of particles of a dry concrete mix with the working body of the mixer that operates in cascade mode are presented in the article.*

**Keywords:** *concrete mixer, dry mix, cascade mode, the trajectory.*