

*И.А. ЕМЕЛЬЯНОВА*, д-р техн. наук, проф., ХНУСА, Харьков,  
*А.И. АНИЩЕНКО*, асп., ХНУСА, Харьков,  
*А.Н. ПЛУЖНИК*, асп., ХНУСА, Харьков,  
*В.Ю. ШЕВЧЕНКО*, асп., ХНУСА, Харьков

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКТА ОБОРУДОВАНИЯ С БЕТНОСМЕСИТЕЛЕМ ГРАВИТАЦИОННО- ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Приведена методика определения основных показателей работы технологического комплекта оборудования, состоящего из бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия и ленточно-скребкового питателя.

Приготовление строительных смесей высокого качества – один из важных вопросов в строительной индустрии. Для осуществления такой задачи на кафедре механизации строительных процессов Харьковского национального университета строительства и архитектуры создан технологический комплект оборудования (рис. 1), который включает в себя бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия, с помощью которого осуществляется приготовление однородных смесей различного назначения, и ленточно-скребковый питатель, обеспечивающий подачу компонентов смеси.

Смеситель гравитационно-принудительного действия (рис. 2) [1, 2] объединяет в себе два принципа перемешивания – гравитационный и принудительный, что позволяет машине работать в каскадном режиме. Бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия состоит из корпуса цилиндрической формы, к внутренней поверхности которого прикреплены лопатки рядами по всей его длине. В середине корпуса расположен горизонтальный вал с лопатками, которые закреплены на нем по винтовой линии. Лопатки на корпусе расположены под углом  $30^\circ$ , а на валу под  $45^\circ$ . Корпус машины и лопастной вал вращаются в противоположных направлениях.

Техническая характеристика технологического комплекта оборудования:

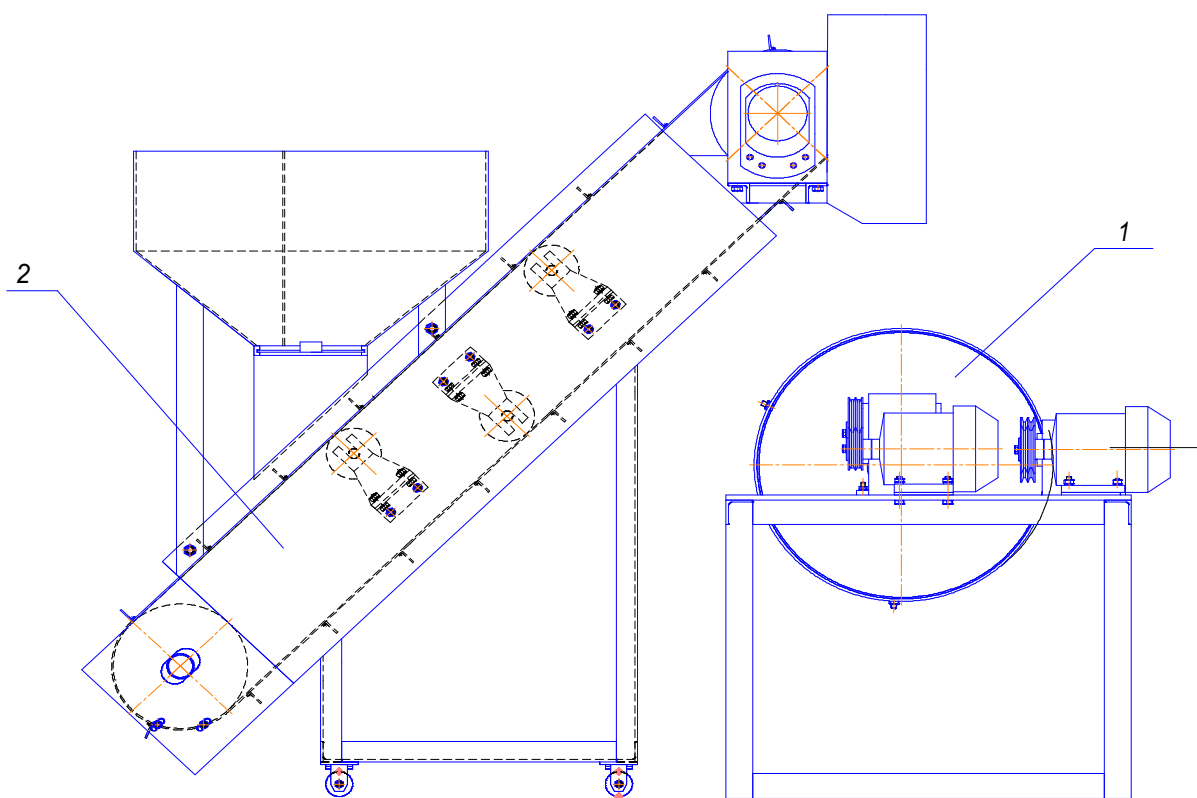
производительность, м<sup>3</sup>/ч 4...4,5

© И.А. Емельянова, А.И. Анищенко, А.Н. Плужник, В.Ю. Шевченко, 2012

максимальный размер заполнителя, мм	10
общая мощность двигателей, кВт	4,5
габаритные размеры, мм:	
длина	2200
ширина	1400
высота	1500



а



б

Рис. 1 – Технологический комплект оборудования: а – бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия; б – ленточно-скребковый питатель

Ленточно-скребковый питатель (рис. 3), расположенный относительно бетоносмесителя под углом  $40^\circ$ , предназначен для подачи инертных материалов (щебень, песок, цемент) в рабочее пространство машины, поступающих

из загрузочного бункера.

Основными характеристиками работы технологического комплекта оборудования являются эксплуатационная производительность и мощность.

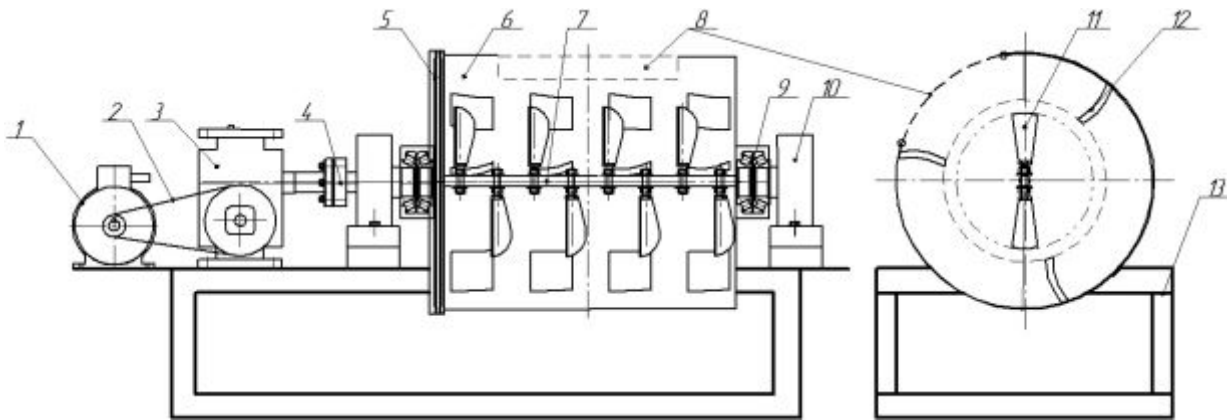


Рис. 2 – Схема бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия: 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – червячный редуктор; 4 – втулочно-пальцевая муфта; 5 – цепная передача; 6 – барабан; 7 – вал; 8 – загрузочно-разгрузочное отверстие; 9 – подшипниковые узлы; 10 – роlikоопоры; 11 – лопатки вала; 12 – лопатки корпуса; 13 – рама бетоносмесителя.

Определение эксплуатационной производительности бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия производится с учетом конструктивных параметров машины и особенностей рабочего процесса (рис. 4):

$$P_{\text{эксpl}} = V_{\text{общ.}} \cdot Z_{\text{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

$$P_{\text{эксpl}} = V_{\text{общ.}} \cdot Z_{\text{ц}} \cdot \rho_0, \text{ т/ч}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{общ}}$  – общий объем смеси, находящийся в корпусе смесителя,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_0$  – средняя плотность бетонной смеси,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Z_{\text{ц}} = 3600/t_{\text{ц}}$  – количество циклов работы машины в час;  $t_{\text{ц}}$  – продолжительность одного цикла, которая состоит из суммы продолжительности загрузки компонентов  $t_1$ , их перемешивания  $t_2$  и разгрузки готовой смеси  $t_3$  ( $t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3$ ), с.

Общий объем смеси, находящийся в корпусе смесителя при коэффициенте заполнения объема смесителя  $\kappa_{\text{зо}} = 0,5$  (рис. 4), можно определить по формуле,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{к}} - V_{\text{в}} - V_{\text{н}} - V_{\text{лк}} - V_{\text{лв}}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{к}}$  – объем смеси, находящийся в корпусе, при коэффициенте заполнения

объема смесителя  $k_{30} = 0,5 \text{ м}^3$ ;  $V_e$  – объем вала,  $\text{м}^3$ ;  $V_n$  – объем ножки лопатки вала,  $\text{м}^3$ ;  $V_{лк}$ ,  $V_{лв}$  – соответственно объемы лопаток корпуса и вала,  $\text{м}^3$ .

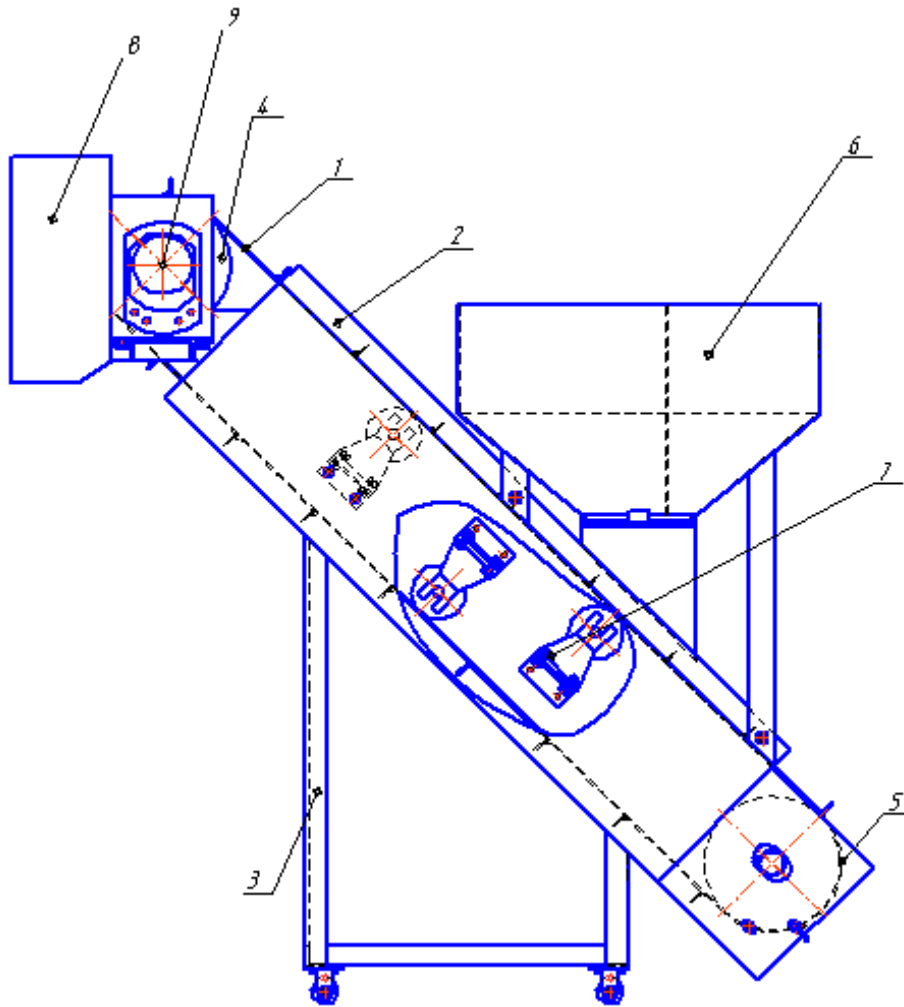


Рис. 3 – Ленточно-скребковый питатель: 1 – лента со скребками; 2 – кожух; 3 – передвижная рама; 4 – приводной барабан; 5 – натяжной барабан; 6 – загрузочный бункер; 7 – ролико-опоры; 8 – направляющий кожух; 9 – мотор-редуктор.

При подстановке геометрических параметров машины уравнение (3) принимает вид:

$$\begin{aligned}
 V_{общ} &= \frac{1}{2} \pi \cdot R_k^2 \cdot L_k \cdot k_o - \frac{1}{2} \pi \cdot r_e^2 \cdot L_k - \frac{1}{2} \pi \cdot r_n^2 \cdot l_n \cdot z_n - \frac{1}{2} z_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot c_1 - \frac{1}{2} z_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot c_2 = \\
 &= \frac{1}{2} [\pi \cdot L_k (R_k^2 \cdot k_o - r_e^2) - \pi \cdot r_n^2 \cdot l_n \cdot z_n - z_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot c_1 - z_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot c_2], \text{ м}^3, \quad (4)
 \end{aligned}$$

где  $L_k$  – длина корпуса смесителя, м;  $R_k$  – радиус корпуса смесителя, м;  $k_o$  – коэффициент, учитывающий заполнение корпуса машины смесью (при  $k_{30} = 0,5$ ;  $k = 1$ );  $r_e$  – радиус вала, м;  $r_n$ ,  $l_n$ ,  $z_n$  – радиус, длина ножки лопатки вала и их количество, м;  $z_1$ ,  $b_1$ ,  $h_1$ ,  $c_1$  – количество, длина, высота и толщина ло-

паток корпуса смесителя, м;  $z_2, b_2, h_2, c_2$  – количество, длина, высота и толщина лопаток вала смесителя, м.

При увеличении коэффициента заполнения корпуса машины смесью ( $\kappa_{30}$  до 0,6...0,7) коэффициент  $k_o$ , учитывающий заполнение машины смесью, будет равен  $k_o = 1,2...1,4$ , а при уменьшении коэффициента заполнения объема смесью машины ( $\kappa_{30}$  до 0,4...0,45) –  $k_o = 0,8...0,9$ .

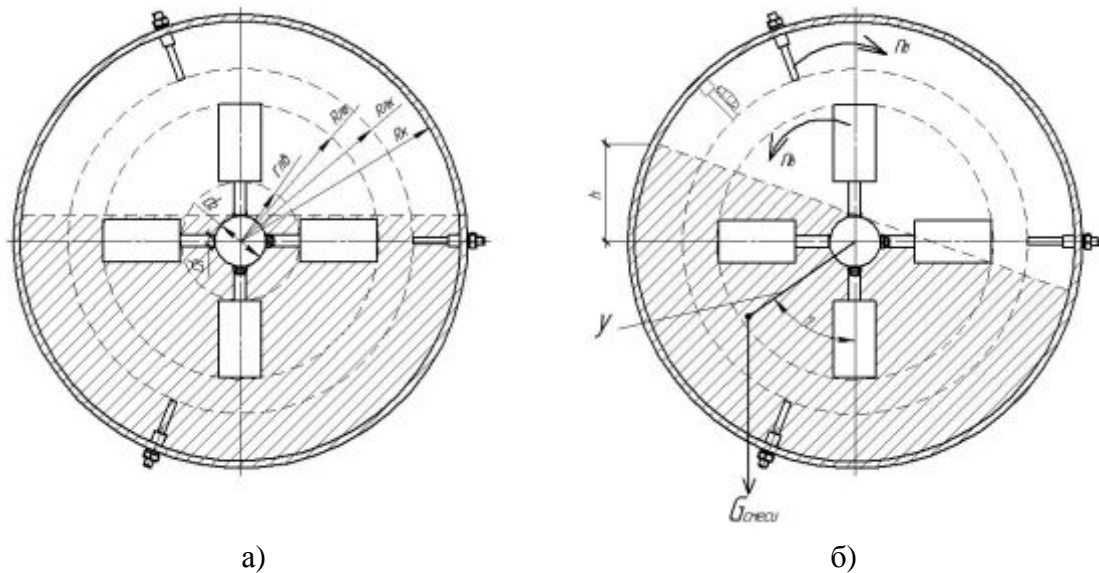


Рис. 4 – Расчетные схемы для определения объема смеси в смесителе: а – первоначальное положение лопаток рабочего органа при  $n_k = 0$  и  $n_b = 0$ ; б – корпус смесителя и лопастной вал вращаются.

В окончательном виде формулы для определения производительности бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия, при коэффициенте заполнения объема смесителя  $\kappa_{30} = 0,5$ , имеют вид:

$$P_{\text{экспл}} = \frac{1}{2} [\pi \cdot L_k (R_k^2 \cdot k_o - r_n^2) - \pi \cdot r_n^2 \cdot l_n \cdot z_n - z_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot c_1 - z_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot c_2] \cdot Z_{\text{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

$$P_{\text{экспл}} = \frac{1}{2} [\pi \cdot L_k (R_k^2 \cdot k_o - r_n^2) - \pi \cdot r_n^2 \cdot l_n \cdot z_n - z_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot c_1 - z_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot c_2] \cdot Z_{\text{ц}} \cdot \rho_0, \text{ т/ч}. \quad (6)$$

Таким образом, зависимость (5) позволяет определить производительность бетоносмесителя с учетом количества смеси, находящейся в рабочем пространстве по чисто конструктивным параметрам смесителя, а зависимость (6) – с учетом средней плотности приготавливаемой бетонной смеси.

Производительность комплекта оборудования с учетом работы ленточно-скребкового питателя также может быть определена исходя из зависимостей:

$$P'_{\text{экспл}} = 3600 \cdot B_{\text{ленты}} \cdot h_{\text{скребка}} \cdot \cos\beta_1 \cdot V_{\text{пит}} \cdot \psi_{\text{яч}}, \text{ М}^3/\text{ч}, \quad (7)$$

$$P'_{\text{экспл}} = 3600 \cdot B_{\text{ленты}} \cdot h_{\text{скребка}} \cdot \cos\beta_1 \cdot V_{\text{пит}} \cdot \psi_{\text{яч}} \cdot \rho_0, \text{ Т/ч}, \quad (8)$$

где  $B_{\text{ленты}}$  – ширина ленты питателя, м;  $h_{\text{скребка}}$  – высота скребка, м;  $\beta_1$  – угол наклона питателя;  $V_{\text{пит}}$  – скорость ленты питателя, м/с;  $\psi_{\text{яч}}$  – коэффициент заполнения ячейки питателя.

Общая мощность технологического комплекта оборудования, (рис. 1):

$$N_{\text{тех.комп.}} = N_{\text{смесителя}} + N_{\text{питателя}}, \text{ кВт} \quad (9)$$

Мощность бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия, затрачиваемая на процесс приготовления бетонной смеси, состоит из мощности, необходимой для вращения корпуса смесителя ( $N_{\text{корпуса}}$ ) и мощности, обеспечивающей вращение лопастного вала ( $N_{\text{вала}}$ ), кВт:

$$N_{\text{смесителя}} = N_{\text{корпуса}} + N_{\text{вала}}. \quad (10)$$

Мощность, необходимая для вращения корпуса смесителя, состоит из двух составляющих: мощности, которая тратится на перемещение бетонной смеси во вращающемся корпусе смесителя ( $N_{\text{К}}^{(1)}$ ) и мощности, которая тратится на преодоление сил трения, возникающих при перемещении массы бетонной смеси лопатками корпуса ( $N_{\text{К}}^{(2)}$ ), кВт:

$$N_{\text{корпуса}} = N_{\text{К}}^{(1)} + N_{\text{К}}^{(2)}. \quad (11)$$

Мощность, которая тратится на перемещение смеси во вращающемся корпусе смесителя, определяется согласно формуле, кВт:

$$N_{\text{К}}^{(1)} = \frac{0,85 \cdot G_{\text{см}} \cdot h \cdot Z \cdot n_{\text{к}}}{\eta_{\text{к}} \cdot 1000}, \quad (12)$$

где  $G_{\text{см}}$  – вес бетонной смеси, поднимаемой под действием сил трения, Н;  $h$  – вертикальная координата смещения массы смеси в корпусе,  $h = 0,7 \cdot R_{\text{к}}$ , м (рис. 4 б);  $Z$  – количество циркуляций смеси в корпусе машины;  $n_{\text{к}}$  – частота вращения корпуса смесителя,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\eta_{\text{к}}$  – к.п.д. привода корпуса.

Вес бетонной смеси, находящейся в машине, можно определить, зная общий объем смеси (4) с учетом её средней плотности смеси:

$$G_{см} = V_{общ} \cdot \rho_0 \cdot g, \quad (13)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Мощность, которая тратится на преодоление сил трения, возникающих при перемещении массы бетонной смеси по лопаткам корпуса, определяется согласно формуле, кВт:

$$N_K^{(2)} = \frac{F_{тр.к} \cdot V_{абс.к} \cdot z_1}{1000 \cdot \eta_k}, \quad (14)$$

где  $F_{тр.к}$  – сила трения материала, возникающая при движении частиц бетонной смеси по поверхности лопатки корпуса смесителя, Н:

$$F_{тр.к} = G_{лоп.корп} \cdot (f_1 \cos \varphi_k + \sin \varphi_k), \quad (15)$$

где  $G_{лоп.корп}$  – сила тяжести смеси, которая находится на лопатках корпуса  $G_{лоп.корп} = z_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot c_1 \cdot \rho_0 \cdot g$ , Н;  $f_1$  – коэффициент трения смеси при движении частиц бетонной смеси по поверхности лопатки корпуса смесителя;  $\varphi_k$  – угол подъема смеси, с которого частицы смеси начинают сходжение с лопатки корпуса.

Абсолютная скорость движения частиц смеси по лопаткам корпуса определяется по формуле:

$$V_{абс.к} = \omega_k R_k \sqrt{2 - \frac{R_{лк}^2}{R_k^2}}, \text{ м/с}, \quad (16)$$

где  $\omega_k$  – частота вращения корпуса, с<sup>-1</sup>;  $R_{лк}$  – радиус по торцу лопаток корпуса, м.

Мощность, необходимая для работы лопастного вала в процессе перемешивания компонентов бетонной смеси, включает две составляющие: мощности, которая затрачивается на приобретение лопастным валом крутящего момента ( $N_3$ ) и мощности, которая затрачивается на преодоление сил трения, возникающих при взаимодействия массы бетонной смеси с лопастным валом ( $N_4$ ), кВт:

$$N_{\text{вала}} = N_B^{(1)} + N_B^{(2)}. \quad (17)$$

Мощность, которая затрачивается на приобретение лопастным валом крутящего момента, можно определить по формуле, кВт:

$$N_B^{(1)} = \frac{M_{\epsilon} \cdot \omega_{\epsilon}}{\eta_B \cdot 1000}, \quad (18)$$

где  $\omega_{\epsilon}$  – частота вращения лопастного вала,  $\text{с}^{-1}$ ;  $M_{\epsilon}$  – крутящий момент лопастного вала, Н·м, определяется как:

$$M_{\epsilon} = P_{\text{бс}} \cdot R_{\text{лв}}, \text{ Н·м}, \quad (19)$$

где  $P_{\text{бс}}$  – усилие, возникающее при действии бетонной смеси на лопастки лопастного вала, Н:

$$P_{\text{бс}} = q \cdot z_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot c_2 \cdot \cos \varphi_{\epsilon} \cdot R_{\text{лв.ср}}, \text{ Н}, \quad (20)$$

где  $q$  – давление бетонной смеси на лопатку вала, Па:

$$q = C_0 \cdot \rho_0 \cdot V_{\epsilon}, \quad (21)$$

где  $C_0$  – коэффициент сопротивления движению лопатки при взаимодействии с бетонной смесью,  $C_0 = 5 \dots 7$ ;  $R_{\text{лв.ср}}$  – средний радиус лопастного вала,

$R_{\text{лв.ср}} = \frac{R_{\text{лв}} + r_{\text{лв}}}{2}$ , м;  $V_{\epsilon}$  – окружная скорость лопастного вала,  $V_{\epsilon} = \omega_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon}$ , м/с.

Мощность, которая затрачивается на преодоление сил трения, возникающих при взаимодействии лопастного вала с бетонной смесью, определяется по формуле, кВт:

$$N_B^{(2)} = \frac{F_{\text{тр.в}} \cdot V_{\text{абс.в}} \cdot z_2}{1000 \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (22)$$

где  $F_{\text{тр.в}}$  – сила трения, возникающая при движении частиц бетонной смеси по поверхности лопатки, Н:

$$F_{\text{тр}} = (G_{\text{лоп.вал}} + G'_{\text{лоп.корн}}) \cdot (f \cos \varphi_2 + \sin \varphi_2), \quad (23)$$



где  $G_{\text{лоп.вал}}$  – вес смеси, которая находится на лопатках вала при перемешивании ( $G_{\text{лоп.вал}} = z_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot c_2 \cdot \rho_0 \cdot g$ ), Н;  $G'_{\text{лоп.корп}}$  – вес смеси, которая сбрасывается с лопаток корпуса на лопатки вала  $G'_{\text{лоп.корп}} = \frac{1}{3} z_1 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot c_1 \cdot \rho_0 \cdot g$ , Н;  $f_1$  – коэффициент трения смеси о поверхность лопатки;  $\varphi_2$  – угол подъема смеси, с которого смесь начинает сходжение с лопатки вала;  $z_2$  – количество лопаток на валу;  $\eta_v$  – к.п.д. привода вала.

Абсолютная скорость движения частиц смеси по лопатке вала может быть представлена зависимостью:

$$V_{\text{абс.в}} = \omega_v R_{\text{лв}} \sqrt{2 - \frac{r_{\text{лв}}^2}{R_{\text{лв}}^2}}, \quad (24)$$

где  $R_{\text{лв}}$  – максимальный радиус лопастного вала, м;  $r_{\text{лв}}$  – минимальный радиус лопастного вала, м.

Мощность ленточно-скребкового питателя определяется как:

$$N_{\text{питателя}} = (0,003 \cdot P' \cdot h + 0,00015 \cdot P' \cdot l + 0,03 \cdot V_{\text{ленты}} \cdot V_{\text{пит.}} \cdot 1) \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ кВт} \quad (25)$$

где  $P'$  – производительность питателя, м<sup>3</sup>/ч;  $h$  – высота, на которую транспортируется материал, м;  $l = h/\sin \beta$  – длина питателя, м;  $V_{\text{ленты}}$  – ширина ленты, м;  $V_{\text{пит}}$  – скорость ленты, м/с;  $K_1, K_2$  – коэффициенты, которые учитывают силу сопротивления соответственно на приводном и натяжном барабанах.

**Выводы.** Найдены зависимости для определения эксплуатационной производительности и общих затрат мощности технологического комплекта оборудования

**Список литературы:** 1. Емельянова И.А. Современные строительные смеси и оборудование для их приготовления / И.А. Емельянова, О.В. Доброходова, А.И. Анищенко. – Х.: Гимченко, 2010. – 152 с. 2. Емельянова И.А. Особенности приготовления строительных смесей в смесителях, работающих в каскадном режиме [И.А. Емельянова, В.В. Блажко, А.И. Анищенко и др.] // Вісник НТУ «ХП». – 2011. – № 50. – С. 89 – 97.

Поступила в редколлегию 01.08.12

**Определение основных показателей работы технологического комплекса оборудования с бетоносмесителем гравитационно=принудительного действия / И.А. ЕМЕЛЬЯНОВА, А.И. АНИЩЕНКО, А.Н. ПЛУЖНИК, В.Ю. ШЕВЧЕНКО // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 46 – 55. – Библиогр.: 2 назв.**

Приведена методика визначення основних показників роботи технологічного комплексу обладнання, що складається з бетонозмішувача гравітаційно-примусової дії та стрічково-скребкового живильника.

A method for determining the basic performance of the techno-sky set of equipment consisting of a mixer gravitational force of the belt and scraper feeder.

УДК 621.926.5:539.215:531.36

**К.Ю. ДЕЙНЕКА**, магістр, НУВГП, Рівне

## **ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПУЛЬСАЦІЙ ВНУТРІШНЬОКАМЕРНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ БАРАБАННОГО МЛИНА**

Розглянуто перехідні режими руху завантаження під час самозбудження пульсацій в камері стаціонарно обертового барабана. Для візуалізації картин руху в перерізі камери використані розрахункові сітки. На основі аналізу отриманих результатів встановлено умови інтенсифікації прояви пульсацій.

Низька енергетична ефективність барабанних млинів спричинена обмеженістю циркуляції завантаження в обертовій камері. Активізувати процес в млинах традиційних конструкцій дозволяє самозбудження пульсацій [1]. Було одержано умову асимптотичної стійкості усталеного руху млина [2] та умову стійкості течії зернистого внутрішньокамерного завантаження [3].

Чинниками нестійкості є варіації моменту інерції, моменту опору обертанню барабана та дилатансія або розпорошення завантаження [4 – 6].

Відомий теоретичний метод розрахунку змінного моменту інерції завантаження [7, 8] не відповідає фізичній сутності задачі, оскільки враховує лише його «приєднану» до барабана частину.

Натомість було розроблено метод розрахунку інерційних параметрів завантаження при візуалізації картин руху в поперечному перерізі обертової

© К.Ю. Дейнека, 2012