

УДК 693.95(075.8)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОДНОВАЛЬНОГО БЕТНОСМЕСИТЕЛЯ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Маслов А.Г., д.т.н., проф., Саленко Ю.С., асс.
Кременчугский государственный политехнический университет
 39614, г.Кременчуг, ул.Первомайская, 20
 E-mail: kmtu@polytech.poltava.ua

Визначені основні параметри одновальних бетонних змішувачів примусової дії з об'ємом по завантаженню від 100 л до 1500 л, визначено закон руху мінеральних частинок у вільній зоні перемішування.

Ключові слова: бетонозмішувач, параметри, кутова швидкість обертання, закон руху частинок

Basic parameters are definite with one billow of concrete mixers of forced action with volume on the boot from 100 l about 1500 l, a law of motion of mineral particles in the free area of interfusion is definite.

Key words: concrete mixer, parameters, angular speed of rotation, law of motion of particles

Введение. Создание бетоносмесителей принудительного действия, сочетающих в себе высокие показатели производительности и качества приготовляемой смеси с его простотой конструкции и сравнительно малыми значениями металлоемкости и энергоемкости, является важной народнохозяйственной задачей.

Анализ предшествующих исследований. В Кременчугском государственном политехническом университете был разработан одновальный бетоносмеситель принудительного действия [1 – 3], предназначенный для приготовления пластичных и жестких цементобетонных смесей, бетонов с легким заполнителем и строительных растворов. Этот смеситель сочетает в себе высокую эффективность приготовления цементобетонных смесей с простотой конструктивного исполнения. Имеет сравнительно небольшую металлоемкость.

Цель работы. Определение рациональных параметров одновального бетоносмесителя принудительного действия на основе изучения динамики движения минеральных частиц в свободной зоне перемешивания.

Материал и результаты исследований. К одним из основных параметров одновального лопастного смесителя принудительного действия относятся: геометрический объем смесителя по загрузке, объем готового замеса, радиус внутренней полости корпуса смесителя, длина корпуса смесителя, размеры загрузочного зева смесителя, центральные углы g_1 и g_2 (рис.1), определяющие движение смеси в свободной зоне, а также характеристики центральных и периферийных лопаток (ширина, высота и угол наклона) и угловая частота вращения лопастного вала.

Объем смесителя по загрузке $V_{заг}$, равный объему загружаемого материала, задается при проектировании и выбирается из стандартного ряда [4].

Объем готового замеса V_2 определяется из следующего выражения:

$$V_2 = k_g V_{заг} , \tag{1}$$

где k_g - коэффициент выхода цементобетонной смеси, $k_g = 0,65 - 0,66$.

Вычисленное значение объема готового замеса V_2 затем уточняется и выбирается из стандартного ряда [4].

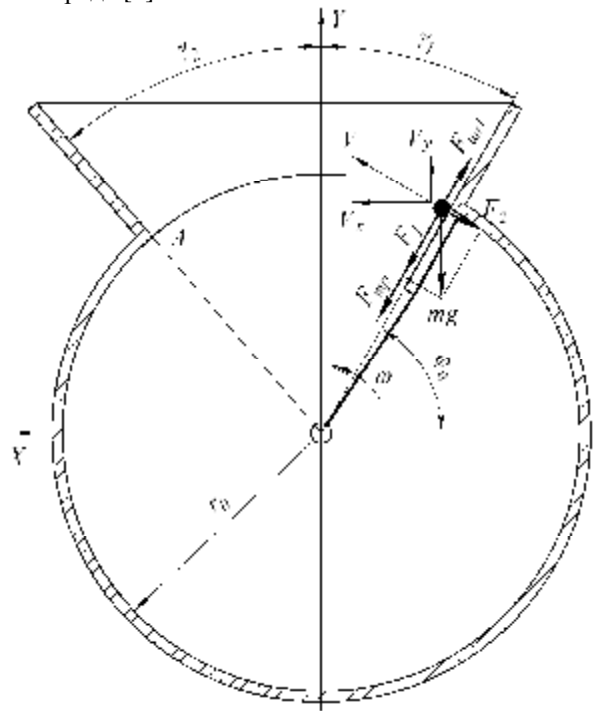


Рисунок 1 – Схема сил и скоростей, действующих на частицу смеси в момент ее выхода в свободную зону перемешивания

В результате предварительной проработки конструктивных исполнений одновального бетоносмесителя принудительного действия нами была предложена зависимость для определения радиуса внутренней полости корпуса смесителя (наружного радиуса вращения периферийной лопатки) r_0 (мм), при котором обеспечивается более компактная конструкция в зависимости от геометрического объема смесительного барабана, т.е.

$$r_0 = 55\sqrt[3]{V_{oc}}, \quad (2)$$

где V_{oc} - геометрический объем смесительного барабана (л),

$$V_{oc} = K_{об} V_{заг}, \quad (3)$$

$K_{об}$ - коэффициент приведения объема смесителя по загрузке к геометрическому объему смесительного барабана, $K_{об} = 1,12 \dots 1,4$.

Значение коэффициента $K_{об}$ зависит от объема смесителя по загрузке $V_{заг}$ и с достаточной степенью точности может быть определен из графика, представленного на рис.2.

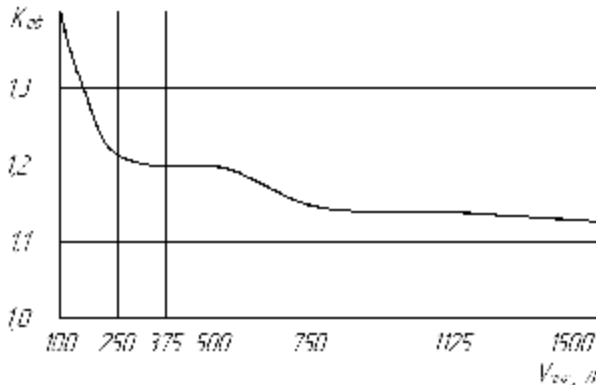


Рисунок 2 – Изменение коэффициента приведения $K_{об}$ в зависимости от объема смесителя по загрузке $V_{заг}$

Рабочая длина корпуса смесителя L (мм) определяются из следующего выражения:

$$L = \frac{10^6 V_{oc}}{pr_0^2}. \quad (4)$$

Для определения ширины периферийных лопаток b_1 может быть использована следующая зависимость:

$$b_1 = \frac{L}{z_n \cos a}, \quad (5)$$

где z_n - число пар лопастей; a - угол наклона периферийных лопаток, $a = 30^\circ \dots 35^\circ$.

С целью обеспечения равномерности нагрузки на привод число пар лопастей z_n должно быть четным.

Ширина центральных лопаток b_2 может быть определена из следующего выражения [1]:

$$b_2 = (0,3 \div 0,4)r_0. \quad (6)$$

При этом обязательным является выполнение условия, при котором ширина периферийных лопаток b_1 должна находиться в диапазоне

$$b_1 = (1,2 \div 1,5)b_2, \quad (7)$$

С большей точностью ширину центральных лопаток b_2 можно определить из следующей зависимости:

$$b_2 = K_{b2} b_1,$$

где K_{b2} - коэффициент ширины центральных лопаток, его рациональное значение находится в диапазоне $K_{b2} = 0,67 \dots 0,83$ и зависит от объема смесителя по загрузке (рис. 3).

Геометрические размеры вычисленные по формулам (1 - 7) позволяют создать более компактную конструкцию бетоносмесителя с наименьшими энергетическими затратами на перемешивание цементобетонной смеси.

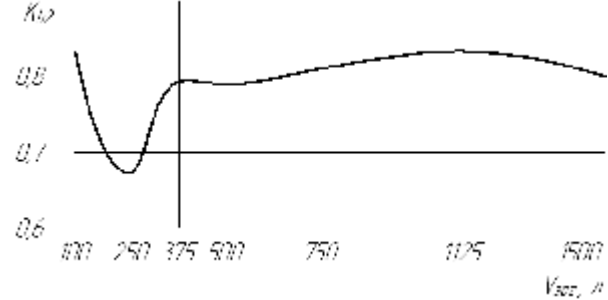


Рисунок 3 – Изменение коэффициента ширины центральных лопаток в зависимости от объема смесителя по загрузке

При определении максимально возможной угловой скорости вращения лопастного вала, при которой наблюдается кольцевое перемещение смеси в свободной зоне и эффективное ее перемешивание, требуется выполнение условия, обеспечивающего недопустимость заклинивания минерального материала между корпусом смесителя и периферийными лопатками в момент их выхода из свободной зоны перемешивания.

Для определения угловой скорости вращения лопастного вала рассмотрим расчетную схему (рис.1), на которой показано действие сил инерции, трения и составляющей силы тяжести на частицу, находящуюся на периферии лопатки. Для удержания периферийной частицы на лопатке необходимо выполнить условие, при котором сила инерции не должна превышать сумму сил трения и составляющей силы тяжести вдоль лопатки, действующих на частицу, т.е.

$$F_{u1} - F_1 - F_{mp} \leq 0, \quad (8)$$

где F_{u1} - сила инерции, действующая на частицу, находящуюся на конце периферийной лопатки,

$$F_{u1} = mw_g^2 r_0, \quad (9)$$

m - масса рассматриваемой частицы; w_g - угловая скорость вращения лопастного вала; r_0 - наружный радиус вращения лопатки; F_1 - составляющая сила тяжести, направленная вдоль лопатки,

$$F_1 = mg \sin j_0, \quad (10)$$

g - ускорение свободного падения; j_0 - угол наклона лопатки в момент ее выхода в свободную зону; F_{mp} - приведенная сила трения частицы о лопатку, учитывающая сцепление рассматриваемой частицы, как с лопаткой, так и с другими частицами, находящимися ниже на лопатке,

$$F_{mp} = mgf_2 \cos j_0, \quad (11)$$

f_2 - приведенный коэффициент трения смеси о лопатку.

Приведенный коэффициент трения f_2 , используемый в уравнении (11), изменяет свое значение в процессе перемешивания смеси: $f_2 = 0,3 \div 0,45$ при перемешивании сухих компонентов и $f_2 = 0,6 \div 0,8$ при перемешивании цементобетонной смеси на завершающей стадии ее приготовления [5].

Высоту периферийной лопатки определим из условия, что составляющая силы тяжести F_1 не должна превышать силу инерции F_{u2} и силу трения F_{mp} , действующих на частицу в нижней части лопатки в момент её выхода в свободную зону, т.е.

$$F_{u2} + F_{mp} < F_1, \quad (12)$$

где F_{u2} - сила инерции, действующая на частицу, находящуюся в нижней части периферийной лопатки,

$$F_{u2} = mw_g^2(r_0 - h), \quad (13)$$

h - высота периферийной лопатки.

Подставляя в условие (8) выражения (9 - 11), получим следующую зависимость:

$$mw_g^2 r_0 - mg \sin j_0 - mgf_2 \cos j_0 \leq 0$$

из которой в первом приближении определим необходимую угловую скорость вращения лопастного вала, т.е.

$$w_g \leq \sqrt{\frac{g(\sin j_0 + f_2 \cos j_0)}{r_0}}. \quad (14)$$

Из анализа выражения (14) видно, что требуемое значение угловой скорости вращения лопастного вала w_g существенно зависит от угла наклона периферийной лопатки j_0 , т.е. с увеличением угла j_0 снижается значение требуемой угловой скорости w_g , при которой обеспечивается равновесие сил, действующих на периферийные частицы. Для определения угловой скорости w_g из равенства выражения (14) значение угла j_0 может быть принято из следующего выражения:

$$j_0 \geq 0,5p - g_1.$$

Подставляя в неравенство (12) выражения (10), (11) и (13), получим зависимость

$$mw_g^2(r_0 - h) + mgf_2 \cos j_0 \leq mf \sin j_0 \quad (15)$$

из которой получим выражение для определения высоты периферийной лопатки:

$$h \leq r_0 - \frac{g(\sin j_0 - f_2 \cos j_0)}{w_g^2}. \quad (16)$$

На основании полученного выражения (16) и предварительных проведенных исследований было установлено, что наиболее рациональной является высота периферийной лопатки, равная

$$h = (0,9 - 1,0) \left[r_0 - \frac{g(\sin j_0 - f_2 \cos j_0)}{w_g^2} \right], \quad (17)$$

при которой обеспечивается кольцевое движение смеси в свободной зоне и эффективное перемешивание при минимальной затрате энергии.

Для уточнения угловой скорости вращения лопастного вала w_g и определения угла g_2 рассмотрим движение периферийных частиц относительно лопаток. Для этого составим уравнения движения периферийной частицы в направлении координат Y и X при угле поворота лопастного вала $j = j_0 + w_g t$:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = (P_{un} - F_{mp} - F_1) \sin(j_0 + w_g t), \quad (18)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = (P_{un} - F_{mp} - F_1) \cos(j_0 + w_g t), \quad (19)$$

где

$$F_{un} = mw_g^2 r_1 \quad (20)$$

$$F_{mp} = mgf_2 \cos(j_0 + w_g t), \quad (21)$$

$$F_1 = mg \sin(j_0 + w_g t), \quad (22)$$

r_1 - расстояние от оси вращения лопастного вала до центра тяжести периферийной частицы;

$$r_1 = r_0 - 0,5d, \quad (23)$$

d - диаметр средней частицы смеси.

Подставляя выражения (20 - 22) в уравнения (18) и (19), получим систему уравнений

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} - mw_g^2 r_1 \sin(j_0 + w_g t) - mgf_2 \cos(j_0 + w_g t) - mg \sin^2(j_0 + w_g t), \quad (24)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mw_g^2 r_1 \cos(j_0 + w_g t) - mgf_2 \cos^2(j_0 + w_g t) - mg \cos(j_0 + w_g t) \sin(j_0 + w_g t), \quad (25)$$

которую после несложных преобразований приведем к следующему виду:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -0,5g + w_g^2 r_1 \sin(j_0 + w_g t) - 0,5gf_2 \sin 2(j_0 + w_g t) + 0,5g \cos 2(j_0 + w_g t), \quad (26)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -0,5gf_2 + w_g^2 r_1 \cos(j_0 + w_g t) - 0,5gf_2 \cos 2(j_0 + w_g t) - 0,5g \sin 2(j_0 + w_g t) \quad (27)$$

Решая полученную систему уравнений (26) и (27), получим закон движения периферийной частицы в следующем виде:

$$y(t) = C_1 t + C_2 - \frac{gt^2}{4} - r_1 \sin(j_0 + w_g t) + \frac{gf_2}{8w_g^2} \sin 2(j_0 + w_g t) - \frac{g}{8w_g^2} \cos 2(j_0 + w_g t) \quad (28)$$

$$x(t) = C_3 t + C_4 - \frac{gt^2}{4} - r_1 \cos(j_0 + w_6 t) + \frac{gf_2}{8w_6^2} \cos 2(j_0 + w_6 t) + \frac{g}{8w_6^2} \sin 2(j_0 + w_6 t), \quad (29)$$

где C_1, C_2 и C_3, C_4 - постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий, т.е. при $t=0$,

$$y(0) = r_1 \sin j_0; \quad \frac{dy(0,t)}{dt} = r_1 w_6^2 \cos j_0, \quad (30)$$

$$x(0) = -r_1 \cos j_0; \quad \frac{dx(0,t)}{dt} = r_1 w_6^2 \sin j_0. \quad (31)$$

Подставляя начальные условия (30) и (31) в выражения (28) и (29), определим постоянные интегрирования:

$$C_1 = r_1 w_6 \cos j_0 - \frac{g}{4w_6} (f_2 \cos 2j_0 + \sin 2j_0); \quad (32)$$

$$C_2 = 2r_1 \sin j_0 - \frac{g}{8w_6^2} (f_2 \sin 2j_0 - \cos 2j_0); \quad (33)$$

$$C_3 = \frac{g}{4w_6} (f_2 \sin 2j_0 - \cos 2j_0); \quad (34)$$

$$C_4 = -\frac{g}{8w_6^2} (f_2 \cos 2j_0 + \sin 2j_0). \quad (35)$$

Полное решение уравнений (26) и (27) с учетом постоянных интегрирования (32 – 35) будет иметь следующий вид

$$y(t) = -\frac{gt^2}{4} + [r_1 w_6 \cos j_0 - \frac{g}{4w_6} (f_2 \cos 2j_0 + \sin 2j_0)]t + 2r_1 \sin j_0 - \frac{g}{8w_6^2} (f_2 \sin 2j_0 - \cos 2j_0) - r_1 \sin(j_0 + w_6 t) + \frac{g}{8w_6^2} [f_2 \sin 2(j_0 + w_6 t) - \cos 2(j_0 + w_6 t)], \quad (36)$$

$$x(t) = -\frac{gf_2 t^2}{4} + \frac{g}{4w_6} (f_2 \sin 2j_0 - \cos 2j_0)t - \frac{g}{8w_6^2} (f_2 \cos 2j_0 + \sin 2j_0) - r_1 \cos(j_0 + w_6 t) + \frac{g}{8w_6^2} [f_2 \cos 2(j_0 + w_6 t) + \sin 2(j_0 + w_6 t)] \quad (37)$$

Путем несложных преобразований выражений (36) и (37) получим полное решение уравнений (26) и (27) в окончательном виде, т.е.

$$y(t) = -\frac{gt^2}{4} + w_6 [r_1 \cos j_0 - 2A \sin(2j_0 + Y)]t + 2r_1 \sin j_0 - r_1 \sin(j_0 + w_6 t) + A \cos[2(j_0 + Y) - A \cos[2(j_0 + w_6 t) + Y]] \quad (38)$$

$$x(t) = \frac{gf_2 t^2}{4} - A \sin(2j_0 + Y) - 2A w_6 t \cos(2j_0 + Y) - r_1 \cos(j_0 + w_6 t) + A \sin[2(j_0 + w_6 t) + Y], \quad (39)$$

где

$$A = \frac{g \sqrt{1 + f_2^2}}{8w_6^2}, \quad (40)$$

$$Y = \arctg f_2. \quad (41)$$

Выражения (38) и (39) предназначены для определения закона движения периферийных частиц в свободной зоне при изменении времени от 0 до t_1 , т.е.

$$0 \leq t \leq t_1 = \frac{0,5p - j_0 + g_2}{w_6} \quad (42)$$

Выражения (38) и (39) получены в форме, удобной для анализа на ПЭВМ.

Полученные выражения (38) и (39) позволяют определить закон движения периферийных частиц, а также уточнить угловую скорость вращения лопастного вала w_6 и значение углов j_0 и g_2 , при которых будет обеспечиваться работа смесителя без заклинивания минерального материала между корпусом и лопаткой в момент ее выхода из свободной зоны.

Анализ полученных зависимостей показывает, что минимальная угловая скорость вращения лопастного вала, при которой не происходит заклинивание материала между корпусом редуктора и периферийными лопатками в момент их выхода из свободной зоны перемешивания, будет наблюдаться

при минимальном значении коэффициента трения смеси о поверхность периферийных лопаток, т.е. при сухом перемешивании смеси. Поэтому при определении угловой скорости вращения лопастного вала, высоты периферийной лопатки и значения угла j_0 целесообразно использовать минимальное значение коэффициента трения, равное $f_2 = 0,3$. Установлено, что при $f_2 = 0,3$ и $j_0 = 60^\circ$ обеспечивается максимально возможное значение w_6 и эффективное перемешивание смеси. В таблице 1 приведены основные технические характеристики одновальных бетоносмесителей, разработанных в соответствии с результатами проведенных исследований.

Анализ разработанного нормального ряда одновальных бетоносмесителей принудительного действия показывает, что для смесителей с объемом по загрузке от 250 л до 1500 л значение угла g_2 удовлетворяет условию

$$g_2 = g_1 = 0,5p - j_0, \quad (43)$$

а для смесителя с объемом по загрузке 100 л значение g_2 имеет другое значение.

Выводы. В результате проведенных теоретических исследований определены геометрические параметры одновального бетоносмесителя принудительного действия. Найден закон движения частиц смеси в свободной зоне перемешивания и оп-

ределена рациональная угловая частота вращения лопастного вала, при которой не наблюдается заклинивания минеральных частиц между корпусом смесителя и периферийными лопатками в момент их выхода из свободной зоны перемешивания и в

Таблица 1 – Основные параметры одновальных бетоносмесителей

Наименование параметров	Показатели по типоразмерам						
	БСМ-100	БСМ-250	БСМ-375	БСМ-500	БСМ-750	БСМ-1125	БСМ-1500
Геометрический объём бетоносмесителя, л	140	300	450	600	860	1280	1690
Объём бетоносмесителя по загрузке, л	100	250	375	500	750	1125	1500
Объём готового замеса цементобетонной смеси, л	65	165	250	330	500	750	1000
Длина смесительного барабана L , мм	610	780	900	990	1100	1280	1400
Радиус смесительного барабана r_0 , мм	270	350	400	440	500	565	620
Угловая скорость вращения лопастного вала $w_в$, рад/с	6,0	5,33	5,0	4,75	4,45	4,2	4,0
Ширина периферийной лопатки b_1 , мм	120	220	170	190	210	240	200
Ширина центральной лопатки b_2 , мм	100	140	135	150	170	200	180
Высота периферийной лопатки h , мм	80	90	120	130	150	160	220
Количество лопастей*	6	8	12	12	12	12	16
g_2 , град	34	30	30	30	30	30	30

*Лопасты на валах бетоносмесителей БСМ-250...БСМ-1500 попарно заблокированы [1,2], а на валах бетоносмесителя БСМ-100 рядом стоящие лопасти развернуты на 180^0 и смещены по горизонтали одна относительно другой на равном расстоянии.

тоже время обеспечивается эффективное перемешивание цементобетонной смеси. Экспериментальная проверка на опытно-промышленных образцах бетоносмесителей БСМ-100 и БСМ-250 с объемом по загрузке 100 и 250 л показала, что предлагаемые одновальные бетоносмесители принудительного действия обеспечивают эффективное приготовление жестких и пластичных цементных бетонов и растворов. При этом на 15 – 20% снижается энергоемкость приготовления цементобетонных смесей, значительно упрощается конструкция и уменьшается металлоемкость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Маслов О.Г., Саленко Ю.С. Лопатевий змішувач. Деклараційний патент на корисну модель №9899. Бюл. № 10, 2005.
2. Маслов О.Г., Саленко Ю.С. Бетонозмішувальна установка. Деклараційний патент на корисну модель №15643. Бюл. № 7, 2006.
3. Маслов О.Г., Саленко Ю.С. Спосіб приготування цементобетонної суміші. Деклараційний патент на корисну модель №15953. Бюл. № 7, 2006.
4. ГОСТ 16349-85 «Смесители циклические для строительных материалов. Технические условия».
5. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. - К.: Вища школа, 1986. – 311 с.

Статья поступила 30.01.2007 г.
Рекомендована к печати д.т.н., проф.
Солтусом А.П.