

УДК 693.95(075.8)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СМЕСЕЙ НАКЛОННЫМИ ЛОПАТКАМИ В СМЕСИТЕЛЯХ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ю. С. Саленко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, м. Кременчуг, Украина. E-mail: kmt0@mail.ru

Определены средние коэффициенты сопротивления перемешиванию наклонными лопатками жестких бетонных смесей в смесителе принудительного действия. Средние коэффициенты сопротивления определялись для высоты лопаток от 65,2 до 163 мм и радиусах обечайки корпуса смесителя от 300 до 500 мм при коэффициенте заполнения корпуса смесью от 0,5 до 0,65. Ширина лопаток была принята равной 147,2 мм. Определена энергоемкость процесса перемешивания бетонной смеси в зависимости от основных параметров смесителя и консистенции бетонной смеси. Энергоемкость определялась при изменении следующих параметров смесителя: радиуса обечайки корпуса смесителя, высоты лопаток, коэффициента заполнения смесью корпуса смесителя. Для определения энергоемкости процесса перемешивания использовались сухие смеси и цементобетонные смеси жесткостью от 30 до 120 с, имеющие различные значения плотности и коэффициентов внутреннего трения и трения о стенки корпуса смесителя. Приведены рекомендации по рациональному выбору основных параметров перемешивающего рабочего органа.

**Ключевые слова:** смеситель, лопатки, бетонные смеси, энергоемкость.

### ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕМКОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУМІШЕЙ ПОХИЛИМИ ЛОПАТКАМИ В ЗМІШУВАЧАХ ПРИМУСОВОГО ДІЇ

Ю. С. Саленко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: kmt0@mail.ru

Визначено середні коефіцієнти опору перемішуванню похилими лопатками жорстких бетонних сумішей в змішувачі примусового дії. Середні коефіцієнти опору визначалися для висоти лопаток від 65,2 мм до 163 мм і радіусах обечайки корпусу змішувача від 300 до 500 мм при коефіцієнті заповнення корпусу сумішшю від 0,5 до 0,65. Ширина лопаток дорівнює 147,2 мм. Визначено енергоємність процесу перемішування бетонної суміші в залежності від основних параметрів змішувача і консистенції бетонної суміші. Енергоємність визначалася при зміні таких параметрів змішувача: радіусу обечайки корпусу змішувача, висоти лопаток, коефіцієнта заповнення сумішшю корпусу змішувача. Для визначення енергоємності процесу перемішування використовувалися сухі суміші і цементобетонні суміші жорсткістю від 30 до 120 с, що мають різні значення щільності і коефіцієнтів внутрішнього тертя і тертя суміші про стінки корпусу змішувача. Наведено рекомендації щодо раціонального вибору основних параметрів робочого органу, що перемішує.

**Ключові слова:** змішувач, лопатки, бетонні суміші, енергоємність.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РОБОТЫ.** Создание смесителей принудительного действия [1] для приготовления дорожных и строительных смесей, сочетающих в себе высокие показатели производительности и качества приготавливаемой смеси с его простотой конструкции и сравнительно малыми значениями металлоемкости и энергоемкости, является важной народнохозяйственной задачей.

При разработке и проведении исследований установлено [2], что в процессе поворота наклонных лопаток от нулевого (горизонтального) положения до выхода в свободную зону коэффициент сопротивления бетонной смеси перемешиванию не остается постоянным, а изменяется по некоторому экспоненциальному закону в зависимости от угла поворота, геометрических размеров лопатки и корпуса смесителя, физико-механических характеристик бетонной смеси [3]. Переменный характер изменения сил сопротивления вызывает определенную трудность в определении энергоемкости процесса перемешивания. Неправильное определение энергоемкости процесса перемешивания может привести не только к увеличению мощности привода и перерасходу энергии на перемешивание, но и удлиняет

продолжительность процесса перемешивания, усложняет конструкцию бетоносмесителя.

Цель работы – определение энергоемкости процесса перемешивания наклонными лопатками смесителей принудительного действия в зависимости от конструкции и размеров перемешивающих рабочих органов и корпуса смесителя, угла наклона лопаток, типа и физико-механических характеристик смеси и объема заполнения корпуса смесителя приготавливаемой смесью.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Энергия, расходуемая на преодоления сил сопротивления одной наклонной лопаткой в смесителе принудительного действия, может быть определена при помощи следующей зависимости [4]:

$$W_1 = K_{cp} b h R_{cp} \varphi_k, \quad (1)$$

где  $K_{cp}$  – средний коэффициент сопротивления перемешиванию бетонной смеси наклонной лопаткой;  $b$  – ширина лопатки;  $h$  – высота лопатки;  $R_{cp}$  – средний радиус вращения лопатки,  $R_{cp} = R - 0,5h$ ;  $R$  – радиус обечайки корпуса смесителя;  $\varphi_k$  – угол поворота лопатки при ее контакте с бетонной смесью.

Средний коэффициент сопротивления бетонной смеси перемешиванию наклонной лопаткой может быть определен при помощи зависимости:

$$K_{cp} = \frac{K_{s05} \cdot k_z^\mu}{\varphi_k} \cdot \int_0^{\varphi_k} e^{-\delta_1 \varphi^2} (1 + \frac{R-0,5h}{R} \sin^2 k_1 \varphi) d\varphi, \quad (2)$$

которая отличается от приведенной ранее зависимости [4] показателем степени  $\mu$ . Для наклонных лопаток показатель степени  $\mu$  принимается равным 2,5.

Здесь  $K_{s05}$  – коэффициент сопротивления перемешиванию смеси при  $\varphi=0$  и коэффициенте заполнения корпуса смесителя  $k_{zb}=0,5$ ;  $k_z$  – относительный коэффициент загрузки смесителя бетонной смесью;

$$\delta_1 = a_1 f_1 + a_2 f_2 k_z; \quad (3)$$

$f_1$  – коэффициент трения перемещаемого лопаткой ядра уплотнения об обечайку корпуса смесителя;  $f_2$  – коэффициент внутреннего трения перемешиваемой смеси;  $a_1, a_2, k_1$  – коэффициенты аппроксимации.

Интегрируя выражение (2), получим:

$$K_{cp} = \frac{K_{s05} \cdot k_z^\mu (3R-0,5h)}{2R\varphi_k} \left[ \varphi_k - \frac{\delta_1 \varphi_k^3}{1! \cdot 3} + \frac{\delta_1^2 \varphi_k^5}{2! \cdot 5} - \frac{\delta_1^3 \varphi_k^7}{3! \cdot 7} + \dots + (-1)^n \frac{\delta_1^n \varphi_k^{2n+1}}{n!(2m+1)} \right] - \frac{K_{s05} \cdot k_z^\mu (R-0,5h)}{2R\varphi_k} \cdot [\lambda - \lambda_1 + \lambda_2 - \lambda_3 + \dots + (-1)^n \lambda_n], \quad (4)$$

где  $\lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$  – определенные интегралы [4].

Из анализа результатов вычислений, произведенных при использовании выражения (4), следует, что для инженерных расчетов при вычислении среднего коэффициента сопротивления бетонной смеси перемешиванию наклонной лопаткой достаточно ограничиться первыми четырьмя членами выражений зависимости (4).

Для проведения исследований использовались одновальные бетоносмесители принудительного действия с радиусом обечайки корпуса равным  $R=300, 400$  и  $500$  мм с высотой лопаток, дающих проекцию на радиус вращения равными  $60, 90, 120$  и  $150$  мм при их угле наклона в  $26^\circ$ . При этом ширина наклонных лопаток принималась равной  $b=147,2$  мм.

В табл. 1–3 приведены средние значения коэффициента сопротивления  $K_{cp}$ , а в табл. 4–6 значения энергоемкости процесса перемешивания бетонной смеси одной наклонной лопаткой за один оборот лопастного вала в зависимости от физико-механических характеристик смеси, объема загрузки бетоносмесителя перемешиваемой смесью при радиусе обечайки корпуса смесителя соответственно  $R=300, 400, 500$  мм, различной высоте лопаток  $h$  ( $h=65,2; 96,8; 127,6$  мм при  $R=300$  мм и  $h=96,8; 129, 160$  мм при  $R=400$ , а также  $h=98,1; 130; 163$  мм при  $R=500$  мм) и различных значениях относительного коэффициента загрузки смесителя  $k_z=1,0, k_z=1,169, k_z=1,3$ .

Анализ полученных зависимостей показывает, что при радиусе обечайки корпуса смесителя  $R=300$  мм целесообразно использовать высоту наклонных лопаток равную  $h=65,2$  мм, а также использовать лопатки высотой  $96,8$  мм при угле наклона  $26^\circ$ . При радиусе обечайки корпуса смесителя  $R=400$  мм целесообразно использовать наклонные лопатки высотой  $h=96,8$  и  $129$  мм, а при  $R=500$  мм наклонные лопатки лопаток в диапазоне  $98,1$  до  $130$  мм.

Энергоемкость процесса перемешивания существенно зависит не только от высоты лопаток, но от радиуса обечайки корпуса смесителя. Так с увеличением радиуса обечайки корпуса смесителя с  $300$  мм до  $500$  мм энергоемкость процесса перемешивания при одинаковой высоте лопаток увеличивается в  $4,22 \dots 4,27$  раза.

Полученные данные позволяют обосновать рациональные параметры бетоносмесителя принудительного действия, используемого для приготовления жестких бетонных смесей.

Таблица 1 – Значения коэффициента сопротивления  $K_{cp}$  в зависимости от консистенции смеси, объема загрузки бетоносмесителя и высоты лопаток при радиусе обечайки корпуса смесителя  $R=300$  мм

Тип жесткой смеси	Значение среднего коэффициента сопротивления $K_{cp}$ , кПа								
	Высота лопатки $h=65,2$ мм			Высота лопатки $h=96,8$ мм			Высота лопатки $h=127,6$ мм		
	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$
Сухая смесь	14,99	19,96	23,12	11,51	15,58	17,41	9,62	12,68	14,46
Ж=120с	14,05	18,91	21,99	10,78	14,37	16,54	9,00	11,98	13,72
Ж=90 с	13,76	18,60	21,67	10,55	14,14	16,30	8,80	11,77	13,50
Ж=60 с	13,28	18,00	20,98	10,26	13,78	15,89	8,60	11,52	14,20
Ж=30 с	12,89	17,58	20,54	9,97	13,46	15,55	8,34	11,24	12,91

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта опору  $K_{cp}$  в залежності від консистенції суміші, об'єму завантаження бетоносмесителя і висоти лопаток при радіусі обечайки корпусу сумісителя  $R=400$  мм

Тип жесткой суміші	Значення середнього коефіцієнта опору $K_{cp}$ , кПа								
	Висота лопатки $h=96,8$ мм			Висота лопатки $h=129$ мм			Висота лопатки $h=160$ мм		
	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$
Сухая суміші	18,54	24,65	27,99	15,21	20,09	22,67	13,39	17,66	19,83
Ж=120с	17,36	23,34	26,59	14,23	19,00	21,52	12,53	16,70	18,81
Ж=90 с	16,99	22,95	26,19	13,92	18,68	21,19	12,26	16,41	18,52
Ж=60 с	16,42	22,24	25,39	13,53	18,19	20,64	11,96	16,05	18,11
Ж=30 с	15,94	21,72	24,84	13,13	17,76	20,19	11,61	15,57	17,71

Таблиця 3 – Значення коефіцієнта опору  $K_{cp}$  в залежності від консистенції суміші, об'єму завантаження бетоносмесителя і висоти лопаток при радіусі обечайки корпусу сумісителя  $R=500$  мм

Тип жесткой суміші	Значення середнього коефіцієнта опору $K_{cp}$ , кПа								
	Висота лопатки $h=98,1$ мм			Висота лопатки $h=130$ мм			Висота лопатки $h=163$ мм		
	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$
Сухая суміші	26,98	35,90	40,43	21,91	29,09	32,62	18,75	24,79	27,68
Ж=120с	25,27	33,98	38,40	20,51	27,54	30,97	17,55	23,46	26,27
Ж=90 с	24,74	33,43	37,83	20,07	27,08	30,50	17,17	23,06	25,87
Ж=60 с	23,82	32,27	36,56	19,42	26,27	29,60	16,68	22,46	25,20
Ж=30 с	23,12	31,51	35,77	18,85	25,66	28,96	16,19	21,93	24,65

Таблиця 4 – Расход енергії на перемішування суміші однією лопаткою в залежності від консистенції суміші, об'єму завантаження бетоносмесителя і висоти лопаток при радіусі обечайки корпусу сумісителя  $R=300$  мм

Тип жесткой суміші	Значення енергії $W$ , расходуемой на преодоления сил опору при перемішуванні, Дж								
	Висота лопатки $h=65,2$ мм			Висота лопатки $h=96,8$ мм			Висота лопатки $h=127,6$ мм		
	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$
Сухая суміші	122,8	162,3	187,2	131,7	172,7	197,0	136,1	178,5	202,5
Ж=120с	115,6	154,5	178,8	123,9	164,1	187,9	127,8	169,3	192,8
Ж=90 с	113,5	152,2	176,5	121,5	161,7	185,4	125,2	166,3	189,9
Ж=60 с	110,3	148,3	172,0	119,0	158,7	181,9	123,1	164,0	186,9
Ж=30 с	107,3	145,2	168,7	115,8	155,3	178,4	119,7	160,3	183,1

Таблиця 5 – Расход енергії на перемішування суміші однією лопаткою в залежності від консистенції суміші, об'єму завантаження бетоносмесителя і висоти лопаток при радіусі обечайки корпусу сумісителя  $R=400$  мм

Тип жесткой суміші	Значення енергії $W$ , расходуемой на преодоления сил опору при перемішуванні, Дж								
	Висота лопатки $h=96,8$ мм			Висота лопатки $h=129$ мм			Висота лопатки $h=160$ мм		
	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$
Сухая суміші	296,2	391,28	442,6	308,6	405,2	455,5	321,3	421,6	471,6
Ж=120с	278,7	372,1	422,3	290,1	384,6	434,1	301,9	400,1	449,0
Ж=90 с	273,3	366,7	416,7	284,3	379,1	428,0	295,7	393,8	442,4
Ж=60 с	266,1	357,8	406,7	278,2	371,6	419,7	290,6	387,6	435,4
Ж=30 с	258,9	350,2	398,8	270,6	363,6	411,3	282,7	379,1	426,5

Таблиця 6 – Расход енергії на перемішування суміші однією лопаткою в залежності від консистенції суміші, об'єму завантаження бетоносмесителя і висоти лопаток при радіусі обечайки корпусу сумісителя  $R=500$  мм

Тип жесткой суміші	Значення енергії $W$ , расходуемой на преодоления сил опору при перемішуванні, Дж								
	Висота лопатки $h=98,1$ мм			Висота лопатки $h=130$ мм			Висота лопатки $h=163$ мм		
	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$	$k_z=1,0$	$k_z=1,17$	$k_z=1,3$
Сухая суміші	561,1	740,9	832,2	581,4	766,9	857,3	600,1	788,8	878,0
Ж=120с	528,3	704,7	794,1	546,9	729,2	817,5	564,1	749,4	836,6
Ж=90 с	518,2	694,5	783,7	536,3	718,3	806,5	552,8	737,9	824,8
Ж=60 с	502,7	675,2	762,6	522,6	701,7	788,0	540,9	723,5	808,9
Ж=30 с	489,3	660,9	747,8	508,5	686,7	772,5	526,3	707,9	792,6

**ВЫВОДЫ.** Таким образом, впервые определены закономерности изменения коэффициентов сопротивления  $K_{cp}$  перемешиванию жестких бетонных смесей в смесителе принудительного действия с наклонными лопатками в зависимости от физико-механических свойств перемешиваемой смеси, геометрических размеров корпуса смесителя и лопаток и угла поворота лопастного вала. Установлены закономерности изменения энергоемкости процесса перемешивания бетонной смеси в зависимости от радиуса обечайки корпуса смесителя, высоты лопатки, консистенции смеси, внутреннего коэффициента трения и коэффициента трения смеси о стенки корпуса смесителя, коэффициента заполнения смесью корпуса смесителя. Приведены рекомендации по рациональному выбору основных параметров перемешивающего рабочего органа. Это позволит более точно определить мощность привода бетоносмесителей принудительного действия, определить их рациональные параметры, а также разработать принципиально новые конструкции высокоэффективных и малозергоемких смесителей, повысив при этом качество приготовляемых смесей и одновременно уменьшить мощность привода в 1,5–1,8 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саленко Ю.С. Разработка одновальных бетоносмесителей принудительного действия // Вісник Кременчуцького державного политехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 5/2009 (58), част. 1. – С. 79–83.
2. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Определение коэффициента сопротивления перемешиванию бетонной смеси в смесителе принудительного действия // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 3/2011 (68), част. 1. – С. 96–101.
3. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Определение коэффициента сопротивления на наклонную лопатку бетоносмесителя принудительного действия // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 4/2011 (69), част. 1. – С. 101–106.
4. Саленко Ю.С. Определение энергоемкости процесса приготовления бетонных смесей в смесителях принудительного действия // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2012. – Вип. 2/2012 (73), част. 1. – С. 116–120.

#### DETERMINATION OF ENERGY INTENSITY OF THE TILT-BLADE AGITATION OF MIXTURES IN A COMPULSORY MIXER

**Yu. Salenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: kmto@mail.ru

The averages resistance coefficients of the tilt-blade agitation of hard concrete mixes in a compulsory mixer are determined. Average resistance coefficients were determined for the blades, which height is from 65.2 mm up to 163 mm and radius of the shell ring of mixer coat 300 mm to 500 mm, and for the value of casing shell fullness coefficient 0.5 to 0.65. The blade width was chosen 147.2 mm. The energy intensity of concrete mixture agitation depending on the basic parameters of the mixer and the consistence of concrete mixes are defined. The energy intensity was calculated at the following mixer parameters varying: radius of the shell ring of mixer casing, height of blades, the coat fullness coefficient. To determine the agitation energy intensity it were chosen dry mixes and concrete mixes of stiffness 30 to 120 seconds, with different density and coefficients of the internal friction and wall mixer friction. The article also provides guidance on the rational choice of key parameters of the mixing operational element.

**Key words:** mixer, blades, concrete mixtures, energy intensity.

## REFERENCES

1. Salenko Yu.S. Development of one-shaft mixers of forced action // *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University*. – Kremenchuk: KSPU, 2009. – Iss. 5 (59), Part 1. – PP. 79–83. [in Russian]
2. Maslov A.G., Salenko Ju.S. Determination of resistance coefficient of concrete mixture agitation in a compulsory mixer // *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – Kremenchuk: KNU, 2011. – Iss. 3 (68), Part 1. – PP. 96–101. [in Russian]
3. Maslov A.G., Salenko Ju.S. Determination of influence of the resistance coefficient on a tilt-blade of a compulsory concrete mixer // *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – Kremenchuk: KNU, 2011. – Iss. 4 (69), Part 1. – PP. 101–106. [in Russian]
4. Salenko Yu.S. Determination of the energy intensity of the concrete mixes preparing in a compulsory mixer // *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Iss. 2 (73), Part 1. – PP. 116–120. [in Russian]

Стаття надійшла 10.12.2012.