

УДК 693.95(075.8)

Саленко Ю.С.¹

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

АННОТАЦІЯ. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень визначено коефіцієнти опору перемішуванню жорстких бетонних сумішей в змішувачі примусової дії при повільному обертанні лопатевого вала. Встановлено закономірності зміни коефіцієнта опору бетонної суміші на лопатку змішувача залежно від кута повороту лопатевого вала, консистенції суміші і коефіцієнта тертя суміші об стінки корпусу змішувача. Визначено потужність приводу.

Ключові слова: бетонозмішувач, коефіцієнт опору, потужність приводу.

SUMMARY. As a result of theoretical and experimental studies to identify the factors of resistance to mixing stiff concrete mixes in a forced action mixer at slow rotation of the blade shaft. The regularities of changes in the coefficient of resistance of the concrete mix on the paddle of the mixer depending on the angle of rotation of the blade shaft, consistency, and friction coefficient of the mixture on the walls of the housing of the mixer. To determine the capacity of the drive.

Keywords: concrete mixer, the coefficient of resistance, the drive power.

Введение. Создание смесителей принудительного действия для приготовления бетонных смесей, 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. При этом важную роль в разработке смесителей нового класса является внедрение в процесс перемешивания новых эффектов, обеспечивающих повышение качества приготовления смесей с низкой энергоемкостью. В тоже время создание принципиально новых эффектов и способов перемешивания, а также разработка принципиально новых конструкций смесителей, удовлетворяющих современному производству, невозможны без точного определения характера изменения сил сопротивления в процессе перемешивания бетонной смеси.

Для определения сил сопротивления перемешиванию в лопастных смесителях принудительного действия обычно используют эмпирические и полуэмпирические методы расчетов [1, 2], которые в первом приближении дают удовлетворительные результаты при разработке известных аналогов, но не обеспечивают необходимой точности при разработке принципиально новых конструкций бетоносмесителей. Коэффициент сопротивления перемешиванию бетонной смеси принимается постоянным и выбирается из диапазона 30...77 кПа независимо от конструкции и размеров перемешивающих рабочих органов, типа и физико-механических характеристик смеси, объема заполнения корпуса смесителя приготовляемой смесью и его поперечного сечения, что не позволяет изучить характер изменения сил сопротивления, точно определить основные параметры и обосновать выбор конструкции новых бетоносмесителей. При выборе конструкции лопаток обычно пользуются эмпирической формулой, из которой следует, что высота лопаток равна 0,45...0,5 радиуса обечайки корпуса смесителя

[2]. Это на наш взгляд приводит не только к увеличению мощности привода и перерасходу энергии на перемешивание, но и удлиняет продолжительность процесса перемешивания.

Таким образом, выполнение исследований, направленных на изучение сил сопротивления на лопатки смесителя, возникающих при перемешивании смеси, является актуальным.

Цель и задачи исследования. Целью настоящих исследований является определение характера изменения сил сопротивления перемешиванию бетонных смесей в смесителе принудительного действия при медленном вращении лопастного вала, снабженного прямыми лопатками, в зависимости от геометрических размеров лопаток, типа и физико-механических характеристик смеси и объема заполнения корпуса смесителя приготовляемой смесью.

Изложение основного материала. В результате теоретических исследований, выполненных по методике, изложенной в работе [3], была получена аппроксимирующая зависимость для определения характера изменения сил сопротивления, действующих на лопатки при медленно вращающемся лопастном вале в зависимости от физико-механических характеристик смеси, радиуса обечайки корпуса смесителя, коэффициента заполнения смесью корпуса смесителя, высоты лопаток и угла поворота лопастного вала от нулевого (горизонтального) положения вплоть до 180°. Медленное вращение лопастного вала принимается для того, чтобы на первом этапе исследований исключить действие инерционных сил. При этом было получено выражение, позволяющее определить коэффициент сил сопротивления перемешиванию смеси в виде следующей аппроксимирующей трансцендентной функции:

$$K_s = K_{s0} k_z^2 e^{-\delta_1 \varphi^2} \left(1 + \frac{R - 0,5h}{R} \sin^2 k_1 \varphi \right), \quad (1)$$

10 ¹ Саленко Ю.С., докт. техн. наук, доцент.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского.

где K_{s0} - коэффициент сопротивления перемешиванию смеси при $\varphi=0$; k_z - относительный коэффициент загрузки смесителя бетонной смесью,

$$k_z = V_z / V_{z0}; \quad (2)$$

V_z - объем перемешиваемой смеси; V_{z0} - объем перемешиваемой бетонной смеси при коэффициенте заполнения корпуса смесителя $k_{zb}=0,5$;

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

f_1 - коэффициент трения перемещаемого лопаткой ядра уплотнения об обечайку корпуса смесителя; f_2 - коэффициент внутреннего трения перемешиваемой смеси; a_1 и a_2 - коэффициенты аппроксимации; R - радиус обечайки корпуса смесителя; h - высота лопатки; $k_1 = 1,5$. Значения коэффициентов f_1 , f_2 , a_1 и a_2 для различных типов смесей приведены в работе [4].

На рис. 1 приведены результаты экспериментальных исследований и теоретические данные, характеризующие закономерность изменения значений коэффициента сопротивления K_s бетонных смесей различной консистенции в зависимости от угла поворота лопастного вала при радиусе обечайки корпуса $R=300$ мм, высоте лопатки $h=60$ мм, коэффициенте заполнения $k_{zb0}=0,5$ (а), $k_{zb}=0,585$ (б). Анализ приведенных данных показывает, что наибольшие силы сопротивления бетонной смеси перемешиванию возникают при вращении лопатки в диапазоне от $5...10^\circ$ до $80...85^\circ$ при отсчете от горизонтального положения. Пик значений коэффициента сопротивления достигается в положении лопатки при $55...65^\circ$. В целом предложенные теоретические зависимости по форме и характеру кривых, а также по получаемым значениям достаточно точно соответствуют экспериментальным данным. Отличие экспериментальных данных от теоретических состоит в том, что для всех типов бетонных смесей коэффициент сопротивления в момент входа в лопатки в бетонную смесь имеет в реальности меньшие значения, чем получено при теоретических исследованиях.

Это объясняется тем, что в реальных условиях при входе лопатки в бетонную смесь, последняя деформируется, сжимается и образует ядро уплотнения. Поэтому из-за деформации и уплотнения смеси происходит постепенное нарастание действия сил сопротивления, а при теоретических исследованиях было принято допущение, что изначально при входе лопатки в бетонную смесь образуется ядро уплотнения. Было подтверждено, что существенное влияние на коэффициент сопротивления K_s оказывают не только угол поворота лопастного вала, но и физико-механические характеристики смеси, объем заполнения бетонной смесью корпуса смесителя и размеры лопатки. На рис. 2 показано изменение теоретических и экспериментальных зависимостей коэффициента

сопротивления K_s бетонных смесей от угла поворота лопастного вала и заполняемого объема корпуса смесителя бетонной смесью при радиусе обечайки корпуса $R=300$ мм, высоте лопатки $h=90$ мм и различных значениях консистенции бетонной смеси.

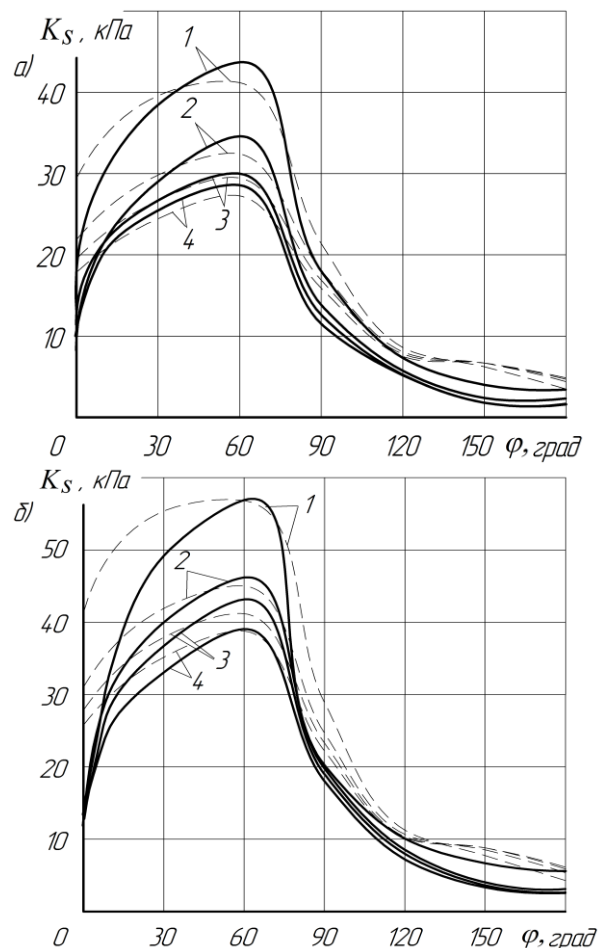


Рисунок 1. Изменение экспериментальных (сплошные кривые) и теоретических (пунктирные кривые) значений коэффициента сопротивления K_s бетонных смесей в зависимости от угла поворота лопастного вала при $R=300$ мм, высоте лопатки $h=60$ мм, коэффициенте заполнения $k_{zb0}=0,5$ (а), $k_{zb}=0,585$ (б) и различной консистенции бетонной смеси: 1 - при сухом перемешивании; 2 - при жесткости смеси $\mathcal{J}=90$ с; 3 - $\mathcal{J}=60$ с; 4 - $\mathcal{J}=30$ с.

Из сравнения данных, приведенных на рис. 1 и 2 следует, что с увеличением высоты лопатки коэффициент сопротивления K_s перемещению лопатки в смеси уменьшается. Причем нарастание коэффициента сопротивления K_s с момента входа лопатки в бетонную смесь более пологое при высоте лопаток $h=90$ мм, чем при $h=60$ мм. В среднем расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет от 5,5% до 13,5% в зависимости от типа смеси, высоты лопатки и заполняемого объема корпуса смесителя бетонной смесью.

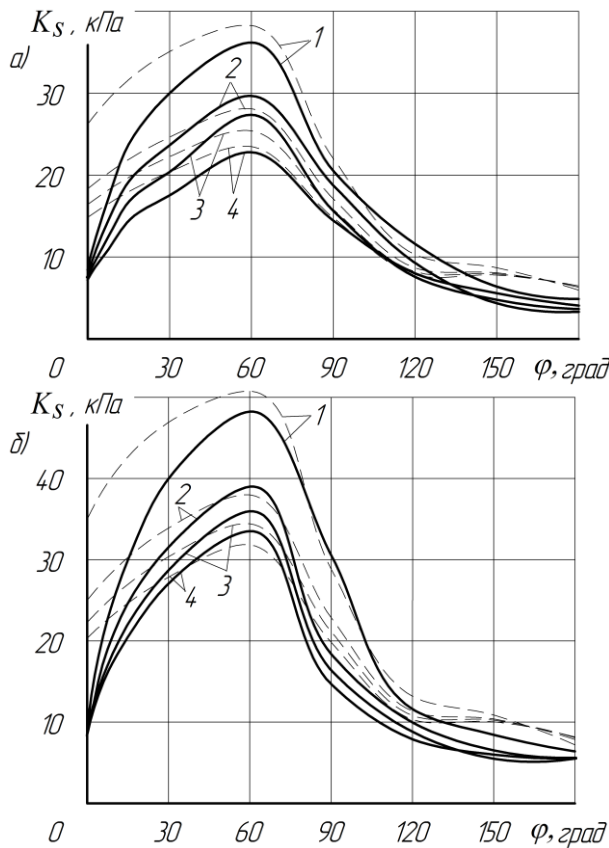


Рисунок 2. Изменение экспериментальных (сплошные кривые) и теоретических (пунктирные кривые) значений коэффициента сопротивления K_s бетонных смесей в зависимости от угла поворота лопастного вала при $R = 300$ мм, высоте лопатки $h = 90$ мм, коэффициенте заполнения $k_{zb0} = 0,5$ (а), $k_{zb} = 0,585$ (б) и различных значениях консистенции бетонной смеси: 1 – при сухом перемешивании; 2 – при жесткости смеси $Ж=90$ с; 3 – $Ж=60$ с; 4 – $Ж=30$ с.

В общем виде энергоемкость процесса перемешивания напрямую зависит от среднего значения коэффициента сопротивления K_{cp} . На рис. 3 и 4 показаны теоретические и экспериментальные значения среднего коэффициента сопротивления K_{cp} для лопаток высотой $h = 60$ мм (рис. 3) и $h = 90$ мм (рис. 4) в зависимости от консистенции смеси и коэффициента заполнения бетонной смесью корпуса смесителя.

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением коэффициента заполнения бетонной смесью корпуса смесителя среднее значение коэффициента сопротивления K_{cp} возрастает.

Также значение K_{cp} возрастает при увеличении жесткости смеси. Расхождение теоретических и экспериментальных данных при высоте лопатки

$h = 60$ мм и коэффициенте заполнения $k_{zb0} = 0,5$ находится в пределах от 5,6% до 12,2% (рис.3). При коэффициенте заполнения $k_{zb} = 0,585$ эти расхождения составляют 10,5...13,2%.

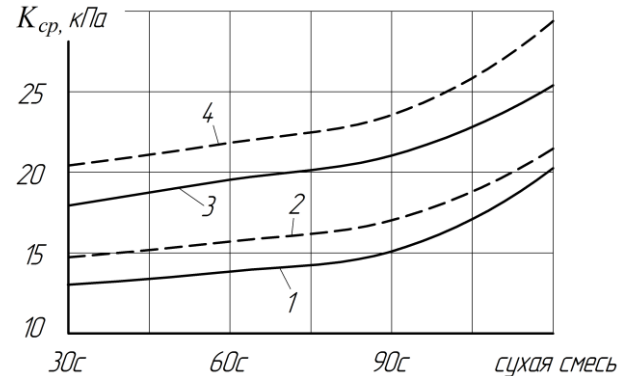


Рисунок 3. Изменение экспериментальных (сплошные кривые) и теоретических (пунктирные кривые) значений среднего коэффициента сопротивления K_{cp} в зависимости от консистенции бетонных смесей при радиусе обечайки корпуса $R = 300$ мм, высоте лопатки $h = 60$ мм: 1, 2 – при коэффициенте заполнения $k_{zb0} = 0,5$; 3, 4 – при коэффициенте заполнения $k_{zb} = 0,585$.

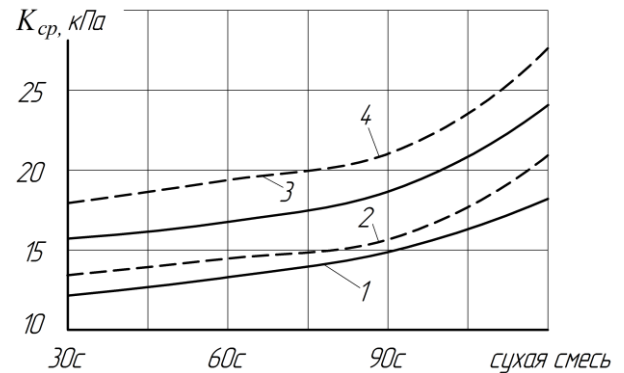


Рисунок 4 – Изменение экспериментальных (сплошные кривые) и теоретических (пунктирные кривые) значений среднего коэффициента сопротивления K_{cp} в зависимости от консистенции бетонных смесей при радиусе обечайки корпуса $R = 300$ мм, высоте лопатки $h = 90$ мм: 1, 2 – при коэффициенте заполнения $k_{zb0} = 0,5$; 3, 4 – при коэффициенте заполнения $k_{zb} = 0,585$

При высоте лопатки $h = 90$ мм и коэффициенте заполнения $k_{zb0} = 0,5$ расхождение теоретических и экспериментальных данных в определении среднего значения коэффициента сопротивления K_{cp} составляет 5,3...12,5% (рис.4). При коэффициенте заполнения $k_{zb} = 0,585$ эти расхождения несколько увеличиваются и составляют 12,2...13,5%. Большие расхож-

дения экспериментальных и теоретических значений коэффициента сопротивления K_{cp} при большем коэффициенте заполнения смесью корпуса смесителя объясняются тем, что при большем заполнении происходит более пологое нарастание коэффициента сопротивления K_s с момента входа лопатки в бетонную смесь и это влияет на средний коэффициент сопротивления. Также на расхождение экспериментальных и теоретических значений среднего коэффициента сопротивления влияет повышенное расхождение теоретических и экспериментальных данных, наблюдаемых при малых значениях коэффициентов сопротивления K_s в диапазоне поворота лопатки от 120^0 до 180^0 (рис. 1 и 2).

Таким образом, было установлено, что во всех случаях полученные экспериментальные значения среднего коэффициента сопротивления K_{cp} меньше теоретических значений и, в общем, их расхождение

находится в диапазоне от 5,3% до 13,5%, а предложенные теоретические зависимости достаточно точно описывают реальный процесс изменения сил сопротивления.

В табл. 1 приведены экспериментальные и теоретические значения мощности привода бетоносмесителя при перемешивании сухих бетонных смесей одиночными лопатками с различными геометрическими размерами. Данные получены при угловой скорости вращения лопастного вала $3,72$ рад/с и наклоне рабочей поверхности лопатки относительно направления вращения на угол от нуля до $\alpha = 60^0$. Полученные показания мощности привода свидетельствуют о достаточно высоком совпадении теоретических зависимостей с экспериментальными данными, что свидетельствует о надежности приведенных теоретических зависимостей для определения основных параметров перемешивающих органов.

Таблица 1

Экспериментальные и теоретические показания мощности привода при перемешивании сухих бетонных смесей одиночными лопатками различной ширины при их высоте $h=6$ см.

№ п/п	Ширина лопатки, см	Мощность привода при $\alpha = 0^0$, Вт		Мощность привода при $\alpha = 30^0$, Вт		Мощность привода при $\alpha = 60^0$, Вт	
		Экспер.	Теорет.	Экспер.	Теорет.	Экспер.	Теорет.
1	12	193	195	179	169	120	97,5
2	16	243	260	205	225	145	130
3	20	309	325	260	281	170	162
4	24	379	390	309	337	193	195

Выводы

Впервые получена теоретическая зависимость для определения коэффициента сопротивления K_s в зависимости от физико-механических характеристик бетонной смеси, геометрических размеров смесителя и угла поворота лопастного вала. Это позволит более точно определить мощность привода бетоносмесителей принудительного действия, определить их рациональные параметры, а также разработать их принципиально новые конструкции высокоэффективных и малоэнергоёмких смесителей, повысив при этом качество приготовляемых смесей.

Литература

1. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона / М.К.Морозов – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 311 с.
2. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник / І.І. Назаренко – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
3. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Определение коэффициента сопротивления перемешиванию бетонной смеси в смесителе принудительного действия / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вип. 3/2011 (68), частина 1. Кременчук: КрНУ, 2011. С. 96 – 101.
4. Саленко Ю.С. Горизонтальные бетоносмесители принудительного действия / Ю. С. Саленко – Кременчук: ТОВ «Кременчуцька міська друкарня», 2013 – 218 с.