

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article\_5a27cb88ad2a69.60503298

Теличенко В.И., академик РААСН, д-р техн. наук, проф.,  
Кайтуков Б.А., канд. техн. наук, доц.,  
Скель В.И., канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ СМЕСИТЕЛЬНЫХ БАРАБАНОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

PRESIDENT@mgsu.ru

В статье рассматривается определение оптимальной скорости движения барабана гравитационного бетоносмесителя по критерию минимизации удельных приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции, включающие: эксплуатационные затраты и капитальные вложения; затраты на сырье и материалы в технологическом процессе; затраты на заработную плату рабочих; суммарные затраты на амортизацию и капитальный ремонт; затраты на текущее обслуживание и текущие ремонты; затраты на электроэнергию; затраты на смазочные материалы; затраты на сменную оснастку; капитальные вложения на покупку машины и т.п. Все затраты и вложения анализируются с точки зрения влияния скорости движения барабана на соответствующий показатель. В результате получена функциональная зависимость между всеми составляющими удельных приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции и скоростью движения барабана гравитационных бетоносмесителей. На основании анализа известных данных эта зависимость принята параболической (квадратичной). Для примера рассмотрен гравитационный бетоносмеситель емкостью 1000 л.

**Ключевые слова:** гравитационный бетоносмеситель, интенсификация, производительность, скорость движения барабана, приведенные затраты.

В гравитационных бетоносмесителях качественная однородная смесь получается благодаря многократному подъему компонентов смеси, а затем, под действием силы тяжести, падающих вниз во вращающемся смесительном барабане. Анализ выпускаемых гравитационных бетоносмесителей показал, что время смешивания составляет 60...90 с; полный цикл, включая загрузку, смешивание, выгрузку и возврат барабана в исходное положение, 90...150 с; емкостью загрузки 100...4500 л, а скорости движения смесительных барабанов (на среднем радиусе барабана) находятся в пределах 0,55...3,11 м/с. С увеличением емкости загрузки наблюдается уменьшение скорости движения смесительного барабана.

Особенностью процесса перемешивания грубодисперсных смесей является то обстоятельство, что нагрузки на рабочие органы гравитационных смесителей изменяются с изменением их движения. Это связано с изменением физико-механических свойств смеси. Скорость движения смесительного барабана в этом случае определяет не только кинематические параметры механизма привода, но и существенно влияет на нагрузки на рабочие органы и мощность двига-

теля. На интенсивность перемешивания существенно влияет скорость движения барабана. Но с увеличением скорости движения возрастает мощность двигателя, увеличиваются энергоемкость и масса смесителя вследствие увеличения нагрузок, что приводит к форсированному износу рабочих органов бетоносмесителя. Очевидно, что увеличить скорость движения смесительного барабана рационально до некоторого оптимального значения, но при превышении этой точки качество бетонной смеси снижается.

Решение вопроса в такой постановке является задачей оптимизации скорости движения смесительного барабана [1, 2, 3]. В связи с изложенным, представляется целесообразным решить вопрос об обосновании оптимальных параметров гравитационных бетоносмесителей. Для наглядности решение такой задачи целесообразно показать на наиболее широко применяемом типоразмере бетоносмесителя. В широком смысле, решение такой задачи является темой большого исследования, но в рамках данной работы можно за базу принять, например, гравитационный бетоносмеситель с емкостью загрузки 1500 л, выходом готовой смеси 1000 л. Анализ позволил определить некоторые характеристики

смесителя: число оборотов смесительного барабана в пределах 12...18 об/мин; наибольший диаметр барабана 1,9 м, скорость движения смесительного барабана на среднем радиусе ( $R_с = 0,9$  м) в пределах 1,12–1,68 м/с, мощность двигателя  $P_{дв} = 15$  кВт и масса 2900 кг.

В ГОСТе на гравитационные смесители регламентированы: литраж, мощность, масса, но не оговорены скорости движения смесительных барабанов. Исследования с целью определения различных характеристик проводились ранее и в настоящее время [5, 6, 7, 10]. Характеристики смесителей можно получить из регламентируемой мощности двигателя, поскольку существует зависимость, связывающая мощность с размерами смесительного барабана, скоростью движения и свойствами бетонной смеси [10]. Можно предположить, что эти характеристики и размеры будут близки к тем значениям, которые имеют выпускаемые смесители, но являются ли они оптимальными, требуется доказать. Поэтому, представляется актуальным вопрос об определении оптимальной скорости движения смесительного барабана с учетом всего комплекса факторов, определяющих затраты на выпуск качественного бетона и достижения наибольшего экономического эффекта, базируясь на экономико-математическом методе исследования [5].

В качестве критерия определения оптимальных скоростей движения принимаем критерий минимизации удельных приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции, включающие эксплуатационные затраты на единицу выпускаемой продукции, руб/м<sup>3</sup>:

$$Z_y = \frac{(S + E_H C)}{P_T}, \quad (1)$$

где  $S$  – текущие годовые затраты, которые связаны с эксплуатацией гравитационных бетоносмесителей, руб/год;  $E_H$  – нормативный коэффициент эффективности;  $C$  – капитальные вложения, руб/год;  $P_T$  – годовая эксплуатационная производительность, м<sup>3</sup>/год.

Текущие годовые затраты определяются по зависимости:

$$S = S_m + S_{зп} + S_{ам.кр} + S_{то.р} + S_э + S_{см} + S_{со}, \quad (2)$$

где  $S_m$  – затраты на сырье и материалы;  $S_{зп}$  – затраты на заработную плату;  $S_{ам.кр}$  – суммарные затраты на амортизацию и капитальный ремонт;  $S_{то.р}$  – затраты на текущее обслуживание (ТО) и текущий ремонт;  $S_э$  – затраты на электроэнергию;  $S_{см}$  – затраты на смазочные материалы;  $S_{со}$  – затраты на сметную оснастку.

Задача сводится к определению функциональных зависимостей статей затрат от средней скорости движения ( $v_{ср}$ ) смесительного барабана бетоносмесителя. Наиболее системные исследования режимов работы смесителей изложены в работах [4, 5–7]. При определении затрат на материалы важно знать затраты, которые идут на 1 м<sup>3</sup> бетона. Стоимость материалов определяется суммой затрат на заполнители: цемент, воду и добавки [5, 8]. Прочность бетона изменяется с изменением скорости перемешивания, что позволяет в некотором диапазоне скоростей несколько снизить расход цемента, не снижая прочности бетона. Затраты на другие компоненты бетонной смеси будут неизменными. В зависимости от условий приготовления и состава бетонной смеси, изменение прочности бетона в интервале 1...1,5 МПа эквивалентно изменению расхода цемента на 1...1,3 %.

На рис.1 представлена зависимость расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> тяжелых бетонов с учетом изменения прочности бетона в интервале 1...1,5 МПа. Характер кривой (рис.1) показывает, что она описывается уравнением вида:

$$y = ax^2 - bx + c. \quad (3)$$

Методом наименьших квадратов при известной цене 1 т цемента определяются коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  уравнения (3).

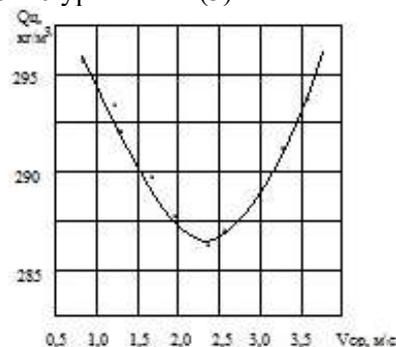


Рис.1. Зависимость расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> тяжелых бетонов в зависимости от средней скорости движения смесительного барабана

Зависимость расхода цемента  $Q_ц = k(v_{ср})$  с учетом этих коэффициентов можно представить в виде, кг/м<sup>3</sup>:

$$Q_ц = 2,8v_{ср}^2 - 12,5v_{ср} + 289, \quad (4)$$

Изменение удельных затрат на материалы в зависимости от скорости движения барабана при условии, что цена 1т цемента будет известна, руб/м<sup>3</sup>, [8]:

$$S_m = (34,5v_{ср}^2 - 154,2v_{ср} + 3222) \cdot 10^{-3}. \quad (5)$$

Техническая производительность для циклических гравитационных смесителей определяется зависимостью [9]:

$$\Pi_T = V_B \cdot i, \quad (6)$$

где  $V_B$  – объем готового замеса,  $\text{м}^3$ ;  $i$  – число замесов в час;

$$i = \frac{3600}{T_{\text{ц}}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – время одного цикла, с, равно

$$T_{\text{ц}} = t_3 + t_{\text{п}} + t_{\text{в}}, \quad (8)$$

где  $t_3$  – время загрузки смесителя, с,  $t_3 = 15 \dots 20$ ;  $t_{\text{в}}$  – время разгрузки смесителя, с,  $t_{\text{в}} = 12 \dots 80$ ;  $t_{\text{п}}$  – время перемешивания, с,  $t_{\text{п}} = 40 \dots 120$ .

По данным различных исследований, время разгрузки без больших погрешностей можно принять  $t_{\text{в}} = 0.5 t_{\text{п}}$ , тогда время цикла бетоносмесителя определяется по формуле:

$$T_{\text{ц}} = 15 + 1,5 t_{\text{п}}. \quad (9)$$

Используя значения величин времени перемешивания  $t_{\text{п}}$  в зависимости от скорости  $v_{\text{ср}}$ , можно определить время цикла и число замесов в час при работе на различных скоростях движения барабана. Установили, что время цикла обратно пропорционально скорости, с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{a}{v_{\text{ср}}}, \quad (10)$$

где  $a$  – параметрический коэффициент, в м, равен 138.

Тогда техническая производительность циклического бетоносмесителя,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi_T = V_B i = \frac{3600 V_B v_{\text{ср}}}{138} = 26 V_B v_{\text{ср}}. \quad (11)$$

Часовая эксплуатационная производительность будет,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi_{\text{Э}} = \Pi_T K_{\text{ТИ}}, \quad (12)$$

где  $\Pi_T$  определяется по (11);  $K_{\text{ТИ}}$  – коэффициент перехода,  $K_{\text{ТИ}} = 0,5$ .

Окончательно часовая эксплуатационная производительность гравитационного бетоносмесителя будет равна,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi_{\text{Э}} = 13 V_B v_{\text{ср}}, \quad (13)$$

Годовая эксплуатационная производительность бетоносмесителя будет,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$\Pi_T = \Pi_{\text{Э}} T_{\text{Г}} K_{\text{И}}, \quad (14)$$

где  $T_{\text{Г}}$  – годовой фонд времени,  $T_{\text{Г}} = 2567$  ч;  $K_{\text{И}}$  – коэффициент использования внутрисменного времени,  $K_{\text{И}} = 0,75$ .

Подставив в формулу (14) значения  $T_{\text{Г}}$ ,  $K_{\text{ТИ}}$  и  $K_{\text{И}}$  получаем,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$\Pi_T = 25 \cdot 10^3 V_B v_{\text{ср}}, \quad (15)$$

где  $V_B$  – объем готового замеса,  $\text{м}^3$ ;  $v_{\text{ср}}$  – окружная скорость движения барабана, м/с.

Следующей составляющей удельных приведенных затрат являются затраты на заработную плату производственных рабочих. Эти затраты изменяются в зависимости от возможностей заводов, схемы компоновки оборудования и других факторов [4, 5]. Для бетонных заводов средней мощности, оснащенных бетоносмесителями гравитационного действия, работающих при скорости движения  $v_{\text{ср}} = 1,15 \dots 1,7$  м/с, удельные приведенные затраты на зарплату рабочих, при  $S = 75$  руб/ $\text{м}^3$ , будет:

$$S'_{\text{зп}} = K_{\text{пер}} S, \quad (16)$$

где  $K_{\text{пер}}$  – коэффициент перехода от тарифного фонда зарплаты к фонду, который учитывает начисления,  $K_{\text{пер}} = 1,2$ , тогда по формуле (16),  $S'_{\text{зп}} = 1,2 \cdot 70 = 90$ . Удельные приведенные затраты определяются как отношение суммы зарплаты, расходуемой в единицу времени  $Z_{\text{зп}}$  к производительности  $\Pi_{\text{Э}}$ :

$$S_{\text{зп}} = \frac{Z_{\text{зп}}}{\Pi_{\text{Э}}}, \quad (17)$$

Учитывая динамику изменение удельных затрат на зарплату в функции скорости:

$$S_{\text{зп}} = \frac{u}{v_{\text{ср}}}, \quad (18)$$

где  $u$  – постоянный коэффициент, руб/(с· $\text{м}^2$ ). С учетом, что  $S'_{\text{зп}} = 90 \frac{\text{руб}}{\text{м}^3}$ , для  $v_{\text{ср}} = 1,425 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , определяем  $u = S'_{\text{зп}} v_{\text{ср}} = 90 \cdot 1,425 = 128,2 \frac{\text{руб}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ .

Изменение удельных приведенных затрат на зарплату в зависимости от скорости будет, руб/ $\text{м}^3$ :

$$S_{\text{зп}} = \frac{128,2}{v_{\text{ср}}}. \quad (19)$$

Энергия, затрачиваемая на вращение смесительного барабана, определяется отношением мощности двигателя  $P_{\text{ДВ}}$  к производительности  $\Pi_{\text{Э}}$ , тогда:

$$\Theta = \frac{P_{\text{ДВ}}}{\Pi_{\text{Э}}}. \quad (20)$$

Мощность, затрачиваемая на подъем смеси и преодоление сопротивлений от трения в опорных механизмах смесительного барабана, определяется, кВт, [9]:

$$P_{\text{ДВ}} = \frac{P_1 + P_2}{\eta}, \quad (21)$$

где  $P_1$  – мощность, расходуемая на подъем смеси, кВт;  $P_2$  – мощность, расходуемая на преодоление силы трения, кВт;  $\eta$  – КПД трансмиссии,  $\eta = 0,75 \dots 0,85$ .

Мощность, затрачиваемая на подъем смеси, определяется по зависимости, кВт:

$$P_1 = K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

где  $K_C$  – коэффициент сопротивления движению барабану, Па;  $\Sigma F$  – суммарная активная площадь лопастей, участвующих в подъеме смеси, м<sup>2</sup>;  $v_{cp}$  – окружная скорость, м/с.

Для смесительного барабана с центральной цапфой  $P_2$  определяется, кВт:

$$P_2 = 0,1P_1 = 0,12K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (23)$$

По формуле (21) определяем мощность двигателя, кВт:

$$P_{дв} = 1,1K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (24)$$

Тогда энергия, затрачиваемая на подъем смеси и преодоление силы трения, будет, кВт·ч/м<sup>3</sup>:

$$\Theta = \frac{K_C \Sigma F}{0,1 \cdot 10^3 V_B}. \quad (25)$$

Принимаем отношение суммарной активной площади лопастей к объему готового замеса,  $\frac{\Sigma F}{V_B} = 4,3$ , [6], тогда:

$$\Theta = \frac{3}{10^3} K_C. \quad (26)$$

Энергоемкость перемешивания смеси численно равна произведению некоторого коэффициента на  $K_C$ , Па.

Для тяжелых бетонных смесей коэффициент сопротивления движению барабана имеет вид, Па, [5, 11]:

$$K_C = (3,86v_{cp}^2 - 1,41v_{cp} + 22,4) \cdot 10^{-3}. \quad (27)$$

Подставляя (27) в формулу (26), получаем зависимость для определения энергии, затрачиваемой на перемешивание смеси, кВт·ч/м<sup>3</sup>:

$$\Theta = 11,6v_{cp}^2 - 4,23v_{cp} + 67,2, \quad (28)$$

При известной цене электроэнергии,  $\Pi_э$ , руб/тыс. кВт·ч, удельные приведенные затраты на электроэнергию в функции скорости движения барабана будут, руб/м<sup>3</sup>:

$$S_э = (11,6v_{cp}^2 \Pi_э - 4,23v_{cp} \Pi_э + 67,2 \Pi_э) \cdot 10^{-3}. \quad (29)$$

Для определения удельных приведенных капитальных вложений в зависимости от скорости движения примем капитальные вложения  $S$  на

технику равными балансовой стоимости машины  $\Pi_б$ , руб:

$$S = \Pi_б = K_б \Pi_ц, \quad (30)$$

где  $K_б$  – коэффициент перехода от оптовой цены к балансовой,  $K_б = 1,14$ ;  $\Pi_ц$  – птовая цена смесителя, руб.

Представительным коррелятом цены принимается масса бетоносмесителя:

$$\Pi_ц = \beta G_б, \quad (31)$$

где  $\beta$  – коэффициент корреляции, руб/кг,  $\beta = 0,65$ ;  $G_б$  – масса, кг.

Зависимость изменения массы смесителя и мощности двигателя  $P_{дв}$ , [1]:

$$G_б = (115 \dots 121) P_{дв}. \quad (32)$$

Тогда, с учетом формулы (24) для определения  $P_{дв}$ , получим зависимость:

$$G_б = 132K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (33)$$

Оптовая цена бетоносмесителя определяется по формуле (31), руб:

$$\Pi_ц = 74,8K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (34)$$

Тогда капитальные вложения будут (30), руб:

$$S = 74,8K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}. \quad (35)$$

Удельные приведенные капитальные затраты:

$$S_{к} = \frac{E_{п} S}{\Pi_{т}} = \frac{0,15 \cdot 74,8K_C \Sigma F v_{cp} \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^3 V_B v_{cp}}. \quad (36)$$

С учетом, что  $\frac{\Sigma F}{V_B} = 0,3$ , и значение  $K_C$ , по-

лучим зависимость для определения удельных приведенных капитальных затрат, руб/м<sup>3</sup>:

$$S_{к} = (0,54v_{cp}^2 - 0,2v_{cp} + 3,14) \cdot 10^{-3}. \quad (37)$$

Удельные приведенные затраты на реновацию и капитальный ремонт бетоносмесителя определяются:

$$Z_{ар} = K_{ар} \Pi_б, \quad (38)$$

где  $Z_{ар}$  – амортизационные отчисления;  $K_{ар}$  – норма,  $K_{ар} = 0,12$ ;  $\Pi_б$  – балансовая стоимость бетоносмесителя.

$$Z_{кр} = K_{кр} \Pi_б, \quad (39)$$

где  $Z_{кр}$  – затраты на капремонт;  $K_{кр}$  – норма,  $K_{кр} = 0,133$ .

Суммарные удельные затраты на реновацию и капремонт:

$$S_{ам.кр} = \frac{(Z_{ар} + Z_{кр})}{\Pi_{т}} = \frac{0,253 \Pi_б}{\Pi_{т}}. \quad (40)$$

С учетом  $\Pi_{т}$  и  $\Pi_б$  затраты определяются по формуле, руб/м<sup>3</sup>:

$$S_{\text{ам.кр}} = (0,88v_{\text{cp}}^2 - 0,36v_{\text{cp}} + 5,71) \cdot 10^{-3}. \quad (41)$$

Удельные приведенные затраты на ТО и текущие работы:

$$Z_p = \frac{C_p T_{\Gamma}}{T_p}, \quad (42)$$

где  $C_p$  – стоимость текущих ремонтов и ТО;  $T_{\Gamma}$  – годовой фонд времени,  $T_{\Gamma} = 2567$  ч;  $T_p$  – периодичность текущих ремонтов,  $T_p = 1000 \dots 2000$  ч.

Межремонтный цикл определяется, ч:

$$T_{\text{рц}} = \frac{q}{G \cdot v_{\text{cp}}}, \quad (43)$$

где  $q$  – коэффициент пропорциональности;  $G = K_C \Sigma F$  – нагрузка на лопасти барабана.

Приняв  $\Sigma F = 0,3$  м<sup>2</sup> и  $T_{\text{рц}} = 1200$  ч, определяем  $q$ :

$$q = T_{\text{рц}} (22,4 + 3,86v_{\text{cp}}^2 - 1,41v_{\text{cp}}) \cdot 10^{-3} \Sigma F v_{\text{cp}}, \quad (44)$$

$$q \cong 16,2 \cdot 10^6.$$

Тогда межремонтный цикл определяется:

$$T_{\text{рц}} = \frac{16,2 \cdot 10^6}{K_C \Sigma F v_{\text{cp}}}. \quad (45)$$

Удельные приведенные затраты на ТО и технические ремонты, руб/м<sup>3</sup>:

$$S_{\text{ТО.Р}} = \frac{Z_p}{\Pi_T} = \frac{C_p T_{\Gamma} K_C \Sigma F v_{\text{cp}}}{25 \cdot 16,2 \cdot 10^6 V_{\Gamma} v_{\text{cp}}}. \quad (46)$$

Приняв в (46)  $\frac{\Sigma F}{V_{\Gamma}} = 0,3$ , получаем затраты,

руб/м<sup>3</sup>:

$$S_{\text{ТО.Р}} = (2,31v_{\text{cp}}^2 - 0,71v_{\text{cp}} + 14,2) \cdot 10^{-3}. \quad (47)$$

Удельные приведенные затраты на смазочные и другие материалы определяются:

$$S_{\text{СМ}} = \alpha \mathcal{E}, \quad (48)$$

где  $\alpha$  – стоимость смазочных материалов по 1 кВт·ч,  $\alpha = 15,2$  руб/кВт·ч;  $\mathcal{E}$  – энергия, определяется по формуле (28), тогда:

$$S_{\text{СМ}} = 15,2(11,6v_{\text{cp}}^2 - 4,23v_{\text{cp}} + 67,2). \quad (49)$$

Удельные затраты на сменную оснастку принимаются в пределах 3...5 % от суммы остальных затрат,  $K_{\text{осн}} = 1,04$ .

С целью определения функциональной зависимости приведенных затрат от скорости движения смесительного барабана, необходимо суммировать все составляющие по формуле (2), а именно: затраты на материалы – формула (5), по заработной плате – (19), на электроэнергию – (29), на реновацию и капитальный ремонт – (40), на ТО и технический ремонт – (46), на смазочные

материалы – (49), на оснастку с учетом капитальных вложений – (37) и производительности. Подставив все перечисленные удельные приведенные затраты в формулу (1), получим, руб/м<sup>3</sup>:

$$Z_y = (160,35v_{\text{cp}}^2 - 606,6v_{\text{cp}} + 460 + \frac{128,2}{v_{\text{cp}}}) \cdot 10^{-3}. \quad (50)$$

Для определения оптимальной скорости движения смесительного барабана гравитационного бетоносмесителя, при которой удельные затраты будут минимальны, требуется взять от функции (50) первую производную и приравнять к нулю:

$$Z'_y = 0. \quad (51)$$

Решение уравнения (51) в функции скорости движения смесительного барабана гравитационного бетоносмесителя с емкостью готовой смеси 1000 л, дает значение  $v_{\text{cp}} = 1,48 \approx 1,5$  м/с.

Для гравитационного смесителя такая скорость ( $v_{\text{cp}} = 1,5$  м/с) движения смесительного барабана соответствует средней скорости с числом оборотов барабана,  $n_{\text{cp}} = 15,71 \approx 16$  об/мин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Густов Ю.И., Кайтуков Б.А., Григорьева М.Н. Повышение эффективности работы роторного бетоносмесителя принудительного действия // Механизация строительства. 2016. №11. С. 26–29.
2. Богомолов А.А. О сущности прогресса смешивания и его критериях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. №9. С. 301.
3. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Учебник. Старый Оскол. 2012 г.
4. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скуль В.И. К вопросу производительности роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №2. 2017. С. 178–183.
5. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скуль В.И. Определение оптимальных скоростей движения лопастей роторных бетоносмесителей. №3. 2017. С. 80–84.
6. Воронов В.И. Исследование циклических бетоносмесителей и прогнозирование их перспективных параметров. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук. М. 1975 г.
7. Определение потребляемой мощности гравитационных бетоносмесителей // Строительные и дорожные машины. 1975 г. №12.
8. Теличенко В.И., Прокопенко В.С., Шарапов Р.Р., Бойчук Н.П. Моделирование осаждения цемента в технологической системе замкнутого цикла с рециркуляцией //

Механизация строительства. 2016. №14. С. 5–8.

9. Пуляев С.М., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Механическое оборудование и технологические комплексы. Учебное пособие МГСУ. 2015. С.480.

10. Сапелин Н.А., Бурьянов А.Ф. Зависимости прочности бетонов на основе

неорганических вяжущих от средней плотности // Строительные материалы. 2001. №6. С.36-38.

11. Sharapov R.R., Shrubchenko I.V., Agarkov A.M. Determination of the optimal parameters of the equipment to obtain fine powders. International // Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 12. С. 31341–31348.

*Информация об авторах*

**Теличенко Валерий Иванович**, доктор технических наук, профессор, президент МГСУ

E-mail: PRESIDENT@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.  
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Кайтуков Батраз Амурханович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства

E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.  
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

**Скель Владимир Израилевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства

E-mail: SkelVI@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.  
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

---

*Поступила в сентябре 2017 г.*

© Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И., 2017

---

**Telichenko V.I., Kaitukov B.A., Skel V.I.**

**THE DETERMINATION OF OPTIMAL SPEEDS OF THE MIXING DRUMS  
OF THE GRAVITATIONAL MIXER**

*The article discusses the determination of the optimal speed of the drum of gravity concrete mixer according to the criterion of minimizing the specific costs per unit of products, including: operational expenses and capital investments; the cost of raw materials in the technological process; cost of wages of employees; total costs of depreciation and overhaul costs routine maintenance and minor repairs; energy costs; the cost of lubricants; the cost of replacement tooling; capital investments for the purchase of machines, etc. All costs and investments are analyzed from the point of view of influence of speed of movement of the drum on the corresponding figure. The result is a functional dependence between all components of the specific reduced costs per produced unit products and the speed of the drum gravity mixers. Based on the analysis of known data, this dependence is accepted parabolic (quadratic). For example, consider a gravity mixer with capacity of 1000 L.*

**Keywords:** *gravity concrete mixer, intensification, productivity, speed of drum movement, given the costs.*

---

*Information about the authors*

**Telichenko Valery Ivanovich**, PhD, Professor.

E-mail: PRESIDENT@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

**Kaitukov Batraz Amurkhanovich**, PhD, Assistant professor.

E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

**Skel Vladimir Izrailevich**, PhD, Assistant professor.

E-mail: SkelVI@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering.

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

---

*Received in September 2017*

© Telichenko V.I., Kaitukov B.A., Skel V.I., 2017

---