

Моделирование режимов заглаживания, обеспечивающих отсутствие микродефектов бетонной поверхности

А.Х. Файзов^а, С.Н. Герасимов^б, Л.А. Мамаев^с

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^аazamat.fayzov@mail.ru, ^бsdm_gerasimov@rambler.ru, ^сpro_uche@brts.ru

Статья поступила, 2.10.2017, принята 29.10.2017

Исследование показало, что процессы, происходящие в бетонной смеси при контакте с поверхностью заглаживающих рабочих органов, имеют сложный характер. Известно, что бетонная смесь представляет собой дисперсную систему, обладающую эластичными, вязкими, тиксотропными, коагуляционными и другими свойствами. Композиции бетонных смесей, используемых в строительстве, разнообразны. Это обстоятельство усложняет возможность точного математического описания процесса, происходящего между поверхностью трения рабочего элемента и бетонной смесью. В процессе трения заглаживающего органа разрушается поверхностный слой бетонной смеси, образованный до уплотнения, и происходит перераспределение частиц наполнителя градиентного слоя, который механически прессуется в бетонную смесь наибольшей плотности. Естественно, что механическое (фрикционное) изменение структуры поверхностного слоя влечет за собой изменение реологических характеристик бетонной смеси, в результате чего градиентный слой приобретает некоторую подвижность, начинают появляться его упруго-вязкие свойства. Попытки аналитически учитывать эти явления в совокупности приводят к чрезвычайно громоздким математическим расчетам, и окончательные формулы стоимости энергии для сглаживания неприемлемы для конкретного использования. Между тем, в промышленности железобетона требуются, по крайней мере, приближенные данные для определения стоимости энергии процесса сглаживания при условии соблюдения необходимых требований к шероховатости и рельефному формированию поверхности изделий. Этим фактором обусловлена актуальность изучения широкого круга вопросов взаимодействия вальцового рабочего органа со свежесуложенной бетонной смесью, часть из которых рассматривается в данной статье.

Ключевые слова: бетонная смесь; градиентный слой; напряжение; турбулентный поток; вибрация; качество; плотность.

Modeling the smoothing modes ensuring absence of microdefects of the concrete surface

A.H. Fayzov^а, S.N. Gerasimov^б, L.A. Mamaev^с

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^аazamat.fayzov@mail.ru, ^бsdm_gerasimov@rambler.ru, ^сpro_uche@brts.ru

Received 2.10.2017, accepted 29.10.2017

The study showed that the processes occurring in the concrete mixture upon contact with the surface of the smoothing working bodies are of a complex nature. It is known that a concrete mixture is a dispersed system having elastic, viscous, thixotropic, coagulating and other properties. Compositions of concrete mixtures used in construction are diverse. This fact complicates the possibility of an accurate mathematical description of the process occurring between the friction surface of the working element and the concrete mixture. In the process of friction of the smoothing organ, the surface layer of the concrete mixture formed after compaction is destroyed and the gradient layer filler particles are redistributed, which is mechanically compressed into a concrete mixture of large fractions. Naturally, a mechanical (frictional) change in the structure of the surface layer entails a change in the rheological characteristics of the concrete mixture, as a result of which the gradient layer acquires some mobility, its elastic-viscous properties appear. Attempts to analytically take into account these phenomena together lead to extremely cumbersome mathematical calculations, and the final formulas for the cost of energy for smoothing are unacceptable for a particular use. Meanwhile, in the reinforced concrete industry, at least approximate data are required to determine the cost of the energy of the smoothing process, provided that the necessary requirements for smoothness and relief formation of the surface of the products are observed. This factor is due to the urgency of studying a wide range of issues of interaction between the roller working body and freshly mixed concrete, some of which are discussed in this article.

Keywords: concrete mixture; gradient layer; voltage; turbulent flow; vibration; quality; density.

Введение

Обобщение и анализ методов проектирования машин для разработки бетонных поверхностей и интен-

сификация процессов заглаживания свежесуложенных бетонных смесей показывают, что решены далеко не все задачи методологического характера. Подходы к

изучению физических основ взаимодействия рабочих органов машин в целях повышения эффективности рабочих процессов рассматриваемой технологической среды требуют дальнейшего обоснования в рамках решения ряда конкретных проблем, возникающих при проектировании вибрационных сглаживающих машин. Требуют особого внимания также динамические нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации рабочего оборудования, с целью обеспечения его надежности и долговечности.

В этой связи представляют интерес аналитические зависимости для определения толщины градиентного слоя бетонной смеси при взаимодействии пружинного рабочего органа со средой, подлежащей обработке. Эти зависимости позволяют находить оптимальные параметры отделочных машин и обрабатывать поверхности свежих бетонных смесей с высоким качеством.

Процессы взаимодействия валкового рабочего органа со свежееуложенной бетонной смесью. При взаимодействии вращающегося рабочего органа в виде вала (пружины) и бетонной смеси в зоне их контакта образуется градиентный слой, толщина которого имеет переменный характер и зависит от параметров рабочего органа и реологических свойств бетонной смеси, что существенно влияет на качество обрабатываемой среды [1].

По аналогии с градиентным слоем в структурированной системе и турбулентным пограничным слоем ньютоновской жидкости возникает возможность определить толщину градиентного слоя в любой точке зоны контакта рабочего органа со средой.

При выводе зависимости $Y_c = f(x)$ представляется возможным использовать интегральное соотношение Кармана для плоского несжимаемого пограничного слоя при установившемся движении:

$$p \frac{\partial Y_0}{\partial x} \int_0^2 V_1 dy - p \frac{\partial}{\partial x} V_{1max} \int_0^{Y_0} V_1 dy = -T_0 - Y_0 \frac{\partial p}{\partial x}. \quad (1)$$

$$V_{1max} = V_{opz} = V_{ep} + V_{nocm} * \cos \frac{x}{R}, \quad (2)$$

где V_{opz} — линейная скорость вращения рабочего органа; V_{nocm} — поступательная скорость рабочего органа; R — радиус вала; X — текущая координата.

Напряжение сдвига на поверхности рабочего органа:

$$T_0 = k \left(\frac{n+1}{n} \right)^2 * \frac{V_{max}}{Y_0}. \quad (3)$$

Однако в этом случае максимальная скорость с учетом скольжения:

$$V_{max} = n V_{opz}. \quad (4)$$

Дифференцируя по выражению x (4), получим уравнение, связывающее градиент давления со скоростью и гидростатической головкой:

$$P + \frac{pV_{1max}^2}{2} + \gamma Z = const. \quad (5)$$

С учетом выражения (2) производная скорости по x будет:

$$\frac{\partial V_{1max}}{\partial x} = -V_{nocm} * \sin \frac{x}{R} * \frac{1}{R}. \quad (6)$$

Производная гидростатического напора по x :

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = -\sin \frac{x}{R}. \quad (7)$$

С учетом равенств (2), (6) и (7) уравнение (5) примет вид:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = -pV_{opz} + V_{nocm} * \sin \frac{x}{R} * \frac{1}{R} - \gamma \sin \frac{x}{R}. \quad (8)$$

Произведя интегрирование в выражении (2) с учетом равенств:

$$V_{1max} \left(1 - \frac{Y}{Y_1} \right)^{\frac{n+1}{n}}$$

и подставив значения τ_c и $\frac{\partial p}{\partial x}$, определяемые уравнениями (2) и (8), получим:

$$p \frac{\partial}{\partial x} * Y_0 * V_{opz}^2 * \left(2 - \frac{3}{2n+1} + \frac{n^3}{3n+1} \right) = \frac{k(n+1)^n}{Y_0} * V_{opz}^n + \frac{pY_0}{R} * V_{opz} + V_{nocm} * \sin \frac{x}{R} * \sin \frac{x}{R} * Y_0 \quad (9)$$

После выполнения дифференцирования по x в левой части выражение (9) сводится к виду:

$$\frac{dY_0}{dx} = \frac{Y_0}{R} * \frac{V_{nocm}}{V_{opz}} * \sin \frac{x}{R} \left(2 + \frac{1}{k_1} \right) + \frac{g}{k_1} * \sin \frac{x}{R} * \frac{Y_0}{V_{opz}^2} + \frac{k}{k_1} * \frac{1}{p} * \frac{(n+1)^2 * V_{opz}^{n-2}}{Y_0^n}, \quad (10)$$

где $k_1 = 2 - \frac{3}{2n+1} + \frac{n^3}{3n+1}$.

Введя обозначение $a = \frac{V_{nocm}}{V_{ep}}$, уравнение (10) можно представить:

$$\frac{dY_0}{dx} - Y_0 \left[\frac{1}{R} \left(2 + \frac{1}{k_1} \right) * \frac{\alpha \sin \frac{x}{R}}{1 + \alpha \cos \frac{x}{R}} + \frac{g * \alpha \sin \frac{x}{R}}{k_1 * V_{nocm} * V_{ep} \left(1 + \alpha \cos \frac{x}{R} \right)} \right] = \frac{1}{Y_0^n} * \frac{k}{k_1} * \frac{(n+1)^2 * V_{ep}^{n-2}}{p} * \left(1 + \alpha \cos \frac{x}{R} \right) \quad (11)$$

Обозначим выражение в квадратных скобках через $P(x)$, а выражение, на которое умножается $\frac{1}{Y_0^n}$ в правой части уравнения — через $f(x)$. Тогда:

$$\frac{dY_0}{dx} - Y_0 * P(x) = \frac{1}{Y_0^n} * f(x). \quad (12)$$

Полученное уравнение приводится к линейному виду замен, тогда $Y_0^{n+1} = Z \frac{\partial z}{\partial x} = (n+1) Y_0^n = \frac{dY_0}{dx}$.

После подстановки новых переменных уравнение (12) примет вид линейного неоднородного уравнения:

$$\frac{\partial z}{\partial x} - z(n+1)P(x) = (n+1)f(x). \quad (13)$$

Общее решение уравнения (14) будет:

$$Z = e^{(n+1) \int P(x) dx} * \left[C_1 + (n+1) \int f(x) * e^{-(n+1) \int P(x) dx} dx \right]. \quad (14)$$

Выполнив интегрирование, получим:

$$(n+1) \int P(x) dx = \ln \left(1 + \cos \frac{x}{R} \right)^{-(k_2+k_3)R}, \quad (15)$$

где $K_2 = \frac{n+1}{R} \left(2 + \frac{1}{k_1} \right)$; $K_3 = \frac{g(n+1)}{k_1 V_{ep} V_{noc}}$.

Обозначив $K_4 = \frac{(n+1)^n}{p} * V_{ep}^{n-2}$, получим:

$$(n+1) \int f(x) * e^{(n+1) \int P(x) dx} dx = \int \frac{k_4}{k_1} \left(1 + \cos \frac{x}{R} \right)^{(n-2)+(k_2+k_3)R} dx. \quad (16)$$

Выполняя интеграцию выражения (16), подставим полученный результат, а также выражение (15) в уравнение (14).

При $x = 0, z = 0$; следовательно, постоянная интегрирования C_1 , входящая с выражением (15), тоже равна нулю, тогда:

$$Z = \left(1 + \cos \frac{x}{R} \right)^{-(k_2+k_3)R} * \left[\frac{x}{R} + a k_5 \sin \frac{x}{R} \right] \frac{k_4}{k_1} * R, \quad (17)$$

где $k_5 = (n-2) + (k_2+k_3)R$.

Принимая во внимание произведенную замену переменных, выражение для Y_0 можно записать:

$$Y_0 = \left(1 + a \cos \frac{x}{R} \right)^{\frac{k_2+k_3}{n+1} * R} * \left[\left(\frac{x}{R} + a k_5 \sin \frac{x}{R} \right) \right]^{\frac{1}{n+1}}. \quad (18)$$

Вследствие тиксотропности обрабатываемого материала очертания разжиженного слоя под рабочим органом будут несколько отличаться от очертаний, описываемых уравнением (17). Границей градиентного слоя явится линия АС'В' (рис. 1), а не АС'В' [2]. Поэтому, если толщину градиентного слоя в сечении ВВ' можно получить подстановкой в уравнение (17) координаты длины контакта рабочего органа с бетоном $x * l$, то значение таким способом получить не представляется возможным.

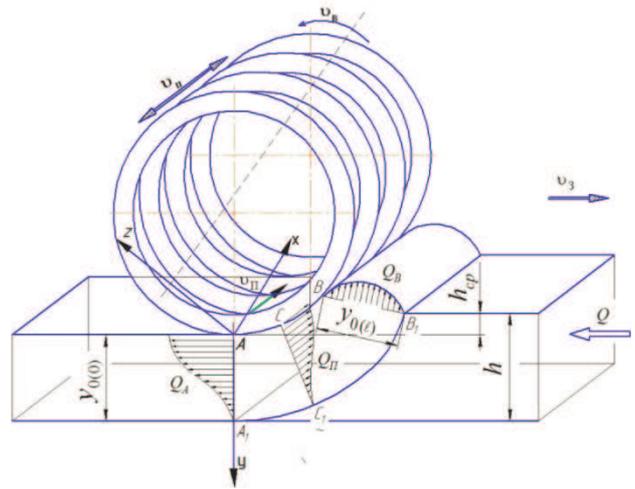


Рис. 1. Расчетная схема для определения основных параметров рабочего органа режимов заглаживания бетонных поверхностей

Для определения необходимо ввести некоторые допущения.

Угол α , образованный прямыми ОА' и ОС', равен углу между касательной к кривой АС'В' в точке С' и касательной к поверхности рабочего органа в точке С.

Вследствие малости этого угла можно считать, что $\frac{x_c}{R}$ — координата точки С.

Поэтому:

$$\frac{dy_0}{dx(c)} = \frac{x_c}{R}. \quad (19)$$

Однако малость угла α дает возможность также

считать, что $\frac{dy_0}{dx(c)} = \frac{y_0(c)}{x_c}$, откуда с учетом:

$$Y_{0(c)} = \frac{x_c^2}{R}. \quad (20)$$

Подставляя выражение (20) в уравнение (17) и имея в виду, что для малых углов $\frac{x}{R}$ допустимо принять

$$\cos \frac{x}{R} = \frac{x}{R}; \frac{x}{R} = \sin \frac{x}{R}, \text{ получим выражение для } \frac{x_c}{R}:$$

$$\frac{x_c}{R} = (1+a) \frac{k_2+k_3}{2n+1} * R \left[\frac{kk_4}{k_1 R^n} * (a+ak_5) \right]^{2n+1}. \quad (21)$$

Подставляя в уравнение (17) выражение (20), получим значение толщины [3] градиентного слоя в сечении CC' . Отсюда легко определяется:

$$Y_{0(0)} = Y_{0(c)} * \cos \frac{x_c}{R} - R(1 - \cos \frac{x_c}{R}). \quad (22)$$

Ввиду малости комплекса $\frac{x_c}{R}$ выражением

$$R \left(1 - \cos \frac{x_c}{R} \right) \text{ можно пренебречь, считать } \cos \frac{x_c}{R} = 1.$$

Поэтому с достаточной точностью можно считать:

$$Y_{0(0)} = Y_{0(c)}. \quad (23)$$

Так как из-за некоторых особенностей, присущих тиксотропным структурам, время изотермического перехода геля-золя вполне определено, оно зависит от силы структуры и интенсивности действия. Данные о кинетике обратимого тиксотропного превращения для испытания цемента приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1

Кинетика обратимого тиксотропного превращения для цементного теста

В/ц цементного теста	Время полного разрушения структуры, сек	Время восстановления структуры после ее разрушения, сек
0,28	25–30	25–30
0,35	10–15	10–15
0,40	6–10	6–10
0,45	1–2	1–2

Восстановление разрушенной структуры занимает некоторое время, в течение которого рабочий орган при своем поступательном движении успевает пройти определенное расстояние, и позади рабочего органа остается слой разжиженного бетона толщиной AA_1 . Таким образом, во время рабочего хода приводного вала материал под ним разжижается, и образуется клиновидная щель. Движение материала в этой щели является комбинацией двух типов течений [5].

Первый тип — это течение в градиентном слое, образующемся под действием вращения валкового рабочего органа и его поперечных колебаний в силу сцепления его с материалом. Направление скоростей частиц этого слоя, увлекаемого валковым рабочим органом, совпадает с направлением его движения. *Второй тип* — это течение материала в плоской щели под воздей-

ствием поступательного движения рабочего органа. Оно аналогично течению жидкости, находящейся между двумя пластинами при их сближении. В этом случае материал течет в двух взаимно противоположных направлениях и как бы вдавливается в обе стороны [6].

Анализ характера течения бетонной смеси позволяет выявить условия образования дефектов на поверхности обрабатываемого изделия.

При воздействии рабочего органа на бетонную смесь последняя, разжижаясь, течет в трех направлениях. Общий расход разжиженного материала равен сумме расходов через сечения BB_1 , AA_1 и через поперечное сечение $ACBB_1C_1A_1$. Обозначим их соответственно Q_B , Q_A и Q_{II} . Причем:

$$Q_A = v_{Acc} \cdot y_{0(0)},$$

где v_{Acc} — средняя скорость движения смеси в сечении

AA_1 ; $y_{0(0)}$ — толщина разжиженного слоя, остающегося за рабочим органом при его поступательном движении;

$$Q_B = v_{Bcc} \cdot y_{0(\ell)},$$

где v_{Bcc} — средняя скорость движения смеси в сечении

BB_1 ; $y_{0(\ell)}$ — толщина разжиженного слоя в сечении BB_1 ;

$$Q_{II} = v_{IIcp} \cdot y_{0(cp)},$$

где v_{IIcp} — средняя скорость движения смеси в попе-

речном сечении CC_1 ; $y_{0(cp)}$ — средняя толщина разжиженного слоя в сечении CC_1 ;

$$y_{0(cp)} = \frac{y_{0(0)} + y_{0(\ell)}}{2}.$$

На рабочий орган при его поступательном движении набегают поток, характеризующийся размером $h = h_{cp} + y_{0(0)}$, где h_{cp} — толщина слоя материала перед органом. Расход набегающего потока, очевидно, будет равен $Q = v_3 \cdot h$, где v_3 — скорость поступательного движения рабочего органа (скорость заглаживания). Ясно, что состояние поверхности заглаженного изделия будет зависеть от соотношения четырех расходов — Q , Q_A , Q_B и Q_{II} . Сумма расходов Q_A , Q_B и Q_{II} характеризует, по существу, «пропускную способность рабочего органа», и если эта способность соответствует расходу набегающего потока Q , то, согласно условию неразрывности потока, дефекты, такие как трещины, на поверхности изделия возникать не будут. Они также отсутствуют в случае $Q < Q_A + Q_B + Q_{II}$. Это условие будет лишь свидетельствовать о том, что «пропускная способность» рабочего органа больше расхода набегающего потока. В этом случае контакт рабочего органа со средой в некоторой части градиентного слоя мо-

жет быть периодическим. Если же $Q > Q_A + Q_B + Q_{II}$ — трещины на поверхности изделия неизбежны [7]. Необходимо заметить, что обрабатываемая бетонная смесь предполагается уплотненной и несжимаемой.

Таким образом, условие отсутствия макродефектов поверхности заглаживаемого изделия можно записать в виде: $Q \leq Q_A + Q_B + Q_{II}$.

Однако трещины на поверхности продукта не являются единственным дефектом макроса, возможны притоки и характерные волны. Рабочий орган, перемещаясь по поверхности заготовки со скоростью v_3 , оставляет гладкий слой тонкостенного бетона толщиной $Y_{0(0)}$ при правильном его устранении. Следовательно, в этом случае расход в сечении AA_1 будет равен $v_3 \cdot Y_{0(0)}$. Но нам известно, что расход в сечении AA_1 равен $v_{Acc} \cdot Y_{0(0)}$, поэтому естественным условием бездефектности в данном случае будет равенство $v_{Acc} = v_3$.

Действительно, если средняя скорость разжиженного бетона в сечении AA_1 будет больше скорости поступательного движения рабочего органа, бетон начнет выдавливаться из-под него с образованием наплывов. Если же v_{Acc} будет меньше v_3 , то основная масса разжиженного бетона будет уноситься рабочим органом в результате его вращения, и на поверхности изделия появятся характерные гребни. Возможные комбинации расходов и дефектов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Возможные комбинации расходов и дефектов

Расход Q	Расход Q_A		
	$Q_A = v_3 \cdot Y_{0(0)}$	$Q_A < v_3 \cdot Y_{0(0)}$	$Q_A > v_3 \cdot Y_{0(0)}$
$Q = Q_A + Q_B + Q_{II}$	+	Гребни	Наплывы
$Q < Q_A + Q_B + Q_{II}$	+	Гребни	Наплывы
$Q > Q_A + Q_B + Q_{II}$	Трещины	Трещины и гребни	Трещины и наплывы

Примечание. Знак «+» соответствует поверхности без макродефектов

Выводы

Одной из причин недостаточно удовлетворительной работы существующих валковых заглаживающих машин является то, что в некоторых случаях неправильно выбрана мощность привода рабочего органа, из-за чего валок вращается неравномерно, а иногда даже полностью останавливается.

Кроме того, на качество заглаживания оказывает неблагоприятное влияние неравномерная скорость заглаживания, что происходит в случае скольжения портовых колес машин.

Литература

1. Бороздин О.П., Мамаев Л.А., Кононов А.А. Математическая модель заглаживающей способности валковых машин для обработки бетонных поверхностей // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвуз. тем. сб. тр. / СПбГАСУ. СПб., 2000. Вып. 6. С. 82-88.
2. Мамаев Л.А., Кононов А.А., Карпенко А.В. Заглаживающая машина с поперечно вибрирующим валковым рабочим органом // Труды Братского индустриального института: материалы XX науч.-технической конф. Братск, 1999. Т. 2. С. 89-91.
3. Мамаев Л.А., Ефремов И.М., Кононов А.А. Режимы заглаживания валковых рабочих органов, обеспечивающие качество обрабатываемой бетонной поверхности // Труды Братского государственного технического университета. 2000. С. 178-180.
4. Мамаев Л.А. Исследование процессов рельефной обработки бетонных поверхностей: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1979. 194 с.
5. Кононов А.А., Петров С.А. Определение мощности привода вибрационного валкового рабочего органа // Материалы XXII науч.-технической конф. БрГТУ Братск, 2001. С.185.
6. Кононов А.А., Петров С.А. Определение мощности привода вибрационного валкового рабочего органа // Материалы XXII науч.-технической конф. БрГТУ. Братск, 2001. С. 18-21.
7. Костюков А.А. Сопротивление воды движению судов. М., 1966.
8. Кузьмичев В.А. Методы моделирования и проектирования вибрационных смесительных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1989. 32 с.
9. Вибрации в технике: справочник. Т. 4. Вибрационные машины и процессы / под ред. Э.Э. Лавендела. М.: Машиностроение, 1981. 509 с.
10. Болотный А.В. Теоретическое обоснование электрощупового метода измерения шероховатости поверхности железобетонных изделий // Исследование рабочего процесса строительных машин: сб. тр. / ЛИСИ. Л., 1968. № 58. С.14-32.
11. Болотный А.В., Рысс-Березак С.А. Оценка эффективности новых заглаживающих машин // Материалы 56-й науч. конф. профессоров, преподавателей, науч. работников, инж. и аспирантов: докл. / СПбГАСУ. СПб., 1999. Ч. 1. С. 88-89.
12. Райчк Я. Оптимизация параметров заглаживающих машин для обработки поверхностей отформованных из пластичных смесей в условиях производства в ПНР: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1999. 292 с.
13. Бауман В.А. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. М.: Машиностроение, 1978. 549 с.
14. Матвеев И.Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия. М.: Машиностроение, 1974. 184 с.
15. Подопригора А.Г. Определение оптимальных параметров и режимов работы машин для заглаживания изделий отформованных из легких бетонов: дис. ... канд. тех. наук. Л., 1989. 278 с.
16. Прочность, устойчивость, колебания: справочник в 3 т. / под общ. ред. И.А. Биргера, Я.П. Пановко. М.: Машиностроение, 1968. Т. 3. 568 с.
17. Бутенин Н.В. Теория колебаний. М.: Высш. школа, 1963. 188 с.

References

1. Borozdin O.P., Mamaev L.A., Kononov A.A. Mathematical model of smoothing capacity of roller machines for processing concrete surfaces // *Matematicheskoe modelirovanie, chislennyye metody i kompleksy programm: mezhvuz. tem. sb. tr. / SPbGASU. SPb., 2000. Vyp. 6. P. 82-88.*
2. Mamaev L.A., Kononov A.A., Karpenko A.V. Smoothing machine with transversely vibrating roller working element // *Trudy Bratskogo industrial'nogo instituta: materialy XX nauch.-tekhnicheskoi konf. Bratsk, 1999. T. 2. P. 89-91.*
3. Mamaev L.A., Efremov I.M., Kononov A.A. Modes of smoothing of roller working elements, ensuring the quality of the treated concrete surface // *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2000. P. 178-180.*
4. Mamaev L.A. Investigation of the processes of relief processing of concrete surfaces: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1979. 194 p.
5. Kononov A.A., Petrov S.A. Determination of drive power of a vibrating roller working unit // *Materialy XXII nauch.-tekhnicheskoi konf. BrGTU Bratsk, 2001. P.185.*
6. Kononov A.A., Petrov S.A. Determination of drive power of a vibrating roller working unit // *Materialy XXII nauch.-tekhnicheskoi konf. BrGTU. Bratsk, 2001. P. 18-21.*
7. Kostyukov A.A. Water Resistance to movement vessels. M., 1966.
8. Kuz'michev V.A. Methods for modeling and design of vibrating mixing machines: avtoref. dis. ...d-ra tekhn. nauk. L., 1989. 32 p.
9. Vibrations in technology: a reference book. V. 4. Vibration machines and processes / pod red. E.E. Lavendela. M.: Mashinostroenie, 1981. 509 p.
10. Bolotnyi A.V. Theoretical justification of the electric feeler method for measuring the roughness of the surface of concrete products // *Issledovanie rabocheho protsessa stroitel'nykh mashin: sb. tr. / LISI. L., 1968. № 58. P. 14-32.*
11. Bolotnyi A.V., Ryss-Berezak S.A. Evaluation of the effectiveness of new smoothing machines // *Materialy 56-i nauch. konf. professorov, prepodavatelei, nauch. rabotnikov, inzh. i aspirantov: dokl. / SPbGASU. SPb., 1999. Ch.1. P. 88-89.*
12. Raichyk Ya. Optimization of parameters of smoothing machines for processing surfaces molded from plastic mixtures under production conditions in Poland: dis. ... d-ra tekhn. nauk. L., 1999. 292 p.
13. Bauman V.A. Vibration machines in construction and production of building materials. M.: Mashinostroenie, 1978. 549 p.
14. Matveev I.B. Hydrodrive of shock and vibration machines. M.: Mashinostroenie, 1974. 184 p.
15. Podoprigora A.G. Determination of the optimal parameters and operating modes of machines for smoothing products preformatted of lightweight concrete: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1989. 278 p.
16. Strength, stability, vibrations: a reference book in 3 v. / pod obshch. red. I.A. Birgera, Ya.P. Panovko. M.: Mashinostroenie, 1968. T. 3. 568 p.
17. Butenin N.V. Theory of oscillations. M.: Vyssh. shkola, 1963. 188 p.