

УДК 67.05:666.972.2

## МЕТОДИКА БАЛАНСИРОВКИ ДЕБАЛАНСОВ ВИБРАТОРА НА ВИБРОПРЕССОВОМ ОБОРУДОВАНИИ

<sup>1</sup>Джашеев А.-М.С., <sup>1</sup>Кидакоев А.М., <sup>1</sup>Акбаева Ф.А., <sup>2</sup>Джашеев К.А.-М.

<sup>1</sup>Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, Черкесск, e-mail: 0909dams@mail.ru;

<sup>2</sup>Карачаево-Черкесский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Карачаевск

В статье описывается влияние регулировки дебалансов вибраторов вибропрессового оборудования предназначенного для изготовления штучных изделий из жестких бетонов (тротуарная плитка, бордюры и другие) на качество выпускаемой продукции. Проведен теоретический анализ условий работы вибропрессового оборудования в различных условиях. Предложены приспособления и методика для подбора массы дебалансов вибраторов, устанавливаемых на вибропрессовое оборудование. Результаты проверки предложенных методик регулировки на вибропрессе ЛП-500 (изготовитель завод «Красная Пресня») в производственных условиях показали, что качество выпускаемой продукции улучшилось. Тротуарная плитка получалась одинаковой по высоте, этот показатель определялся согласно ГОСТ 26433.1-86 расстоянием между двумя плоскостями. Выровненность тротуарной плитки по высоте превышала требования ГОСТа (по ГОСТ 70 ± 5 мм получалось 70 ± 1 мм), а по прочности тротуарной плитки ГОСТ 17608-91 требует, чтобы она составляла 90% от класса бетона по прочности на сжатие, из которого она составлена. До наладки вибропресса прочность плитки доходила до 70% от класса бетона по прочности на сжатие, эти же показатели, полученные после наладки вибропресса по вышеприведенным методикам, достигали 95 ± 2%. На восьмой день сушки количество тротуарной плитки, не отвечающей техническим условиям, уменьшилось с 9,2% до 1,8%, по сравнению с результатами продукции вибропресса, налаженного в заводских условиях.

**Ключевые слова:** вибропресс, вибростол, дебаланс, бетон, вибратор, уплотнение, исследования, статический момент, возмущающие центробежные силы

## TECHNIQUE OF BALANCING OF DEBALANS OF THE VIBRATOR ON THE VIBROPRESS EQUIPMENT

<sup>1</sup>Dzhasheev A.-M.S., <sup>1</sup>Kidakoev A.M., <sup>1</sup>Akbaeva F.A., <sup>2</sup>Dzhasheev K.A.-M.

<sup>1</sup>North Caucasian State Humanitarian and Technological Academy, Cherkessk, e-mail: 0909dams@mail.ru;

<sup>2</sup>Karachaev-Cherkessian Scientific Research Institute Agriculture, Karachaevsk

The influence of adjustment of debalans of vibrators of the vibropress equipment intended for production of piece products from rigid concrete (paving slabs, border and others) on quality of products is described in article. The theoretical analysis of operating conditions of the vibropress equipment in various conditions is carried out. The device and technique for selection of mass of debalans of the vibrators installed on the vibropress equipment are offered. Results of check of the offered adjustment techniques on LP-500 vibrating press (manufacturer Plant Krasnaya Presnya) under production conditions have shown that quality of products has improved. Paving slabs obtained the same height, this figure was determined according to State Standard 26433.1-86 distance between two planes. Levelness of paving slabs on height exceeded requirements of State Standard (according to State Standard 70 ± 5 mm it turned out 70 ± 1 mm), and on durability of paving slabs of State Standard 17608-91 demands that it is made 90% of a class of concrete on durability on compression from which it is made. Before adjustment of the vibrating strength of the tile reached 70% of the concrete compressive strength, the same parameters obtained after adjustment of the machine according to the above methods, reached 95 ± 2%. For the eighth day of drying the quantity of the paving slabs which aren't answering to specifications has decreased from 9,2% to 1,8%, in comparison with results of production of the vibrating press adjusted industrially.

**Keywords:** a vibrating press, a vibrotable, debalans, concrete, the vibrator, high-quality consolidation, researches, the static moment, the revolting centrifugal forces

Вибраторы ИВ-107А, используемые в стройиндустрии, производятся Ярославским заводом для установки на виброплощадки, уплотняющие бетонные смеси, вибропрессы и другое трамбовочное оборудование. Вибратор содержит по два дебаланса с каждой стороны вращающегося вала якоря. Статистический анализ показал, что эти дебалансы вибраторов имеют разную массу, достигающую ± 150 грамм. По этой причине на концах вала якоря вибратора при его вращении появляются разные по величине возмущающие центробежные силы. Векторы возмущающих сил в таком

случае не будут равными и могут располагаться под углом друг к другу. При работе одного вибратора, закрепленного на плиту рабочего органа, эти усилия воспринимаются рабочим органом и передаются уплотняемому материалу. Рабочий орган колеблется так, что его точки описывают в пространстве эллипсоиды, а не прямую линию направленного действия. Если технология, где используется вышеописанный вибратор, и траектория движения рабочего органа (вибростола) удовлетворяет нормативным требованиям выполняемых работ, то величину возмущающих центробежных

сил, вырабатываемых вибратором, можно регулировать путем увеличения или уменьшения массы дебалансов, как это предусмотрено заводом-изготовителем.

На вибропрессовом оборудовании, предназначенном для изготовления штучных изделий из жестких бетонов, (к примеру: элементы для мощения тротуаров, площадей, такие как плитка, бордюры и другие) вибраторы для уплотнения бетона на вибростол пресса обычно крепят попарно (две штуки рядом) [1, 2]. По условиям работы вибростола на вибропрессовом оборудовании требуется, чтобы траектория колебаний всех точек поверхности вибростола была в вертикальном направлении, прямолинейной и одинаковой по возмущающей силе [1, 3]. Достигнуть эти требования вибраторами, к примеру, выпускаемыми на Ярославском заводе, без специальной их переделки невозможно. Прямолинейную по направлению и одинаковую по возмущающей силе на всей поверхности вибростола можно достигнуть только при одинаковой массе всех четырех дебалансов и при одинаковом расположении их центра масс относительно осей вращения якорей вибраторов. Для примера рассмотрим вибратор, выпускаемый Ярославским заводом ИВ-107А. Эксцентриситет дебаланса (расстояние от центра вращения до центра тяжести неуравновешенной части) сектора, выделенной углом  $\alpha$  по форме (рис. 1), в справочной литературе определяется по формуле (1) [4, 5]:

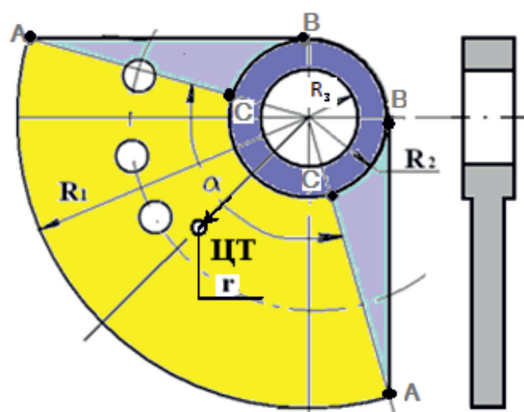


Рис. 1. Регулировочный дебаланс вибратора ИВ-107А,  $r$  – расстояние от центра вращения дебаланса до центра тяжести неуравновешенной его части

$$r = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{R_1^3 - R_2^3}{R_1^2 - R_2^2} \cdot \frac{180^\circ}{\alpha^\circ} \sin \frac{\alpha}{2}, \text{ см.} \quad (1)$$

где  $R_1 = 9$  см;  $R_2 = 2,7$  см;  
 $\alpha = 90^\circ + 2\arcsin(R_2/R_1) = 90^\circ + 2\arcsin(2,7/9) = 90^\circ + 2 \cdot 17,4576^\circ \approx 125^\circ$ .

Подставим численные значения и определим расстояние от центра вращения дебаланса до центра тяжести неуравновешенной его части  $r$ :

$$r = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{9^3 - 2,7^3}{9^2 - 2,7^2} \cdot \frac{180}{125} \sin \frac{125}{2} = 5,21668 \text{ см.}$$

Эксцентриситет дебаланса с учетом площадей, выделенных треугольниками ABC, то есть в форме заводского изготовления, определяется по формуле, полученной путем деления моментов площадей на сумму площадей элементов формы дебаланса:

$$r_{\text{экс}} = \frac{0,15\pi(R_1^3 - R_2^3) + R_1^2 R_2}{0,25\pi(R_1^2 - 3R_2^2) + 2R_1 R_2}, \text{ см.} \quad (2)$$

Подставим численные значения  $R_1$  и  $R_2$ :

$$r_{\text{экс}} = \frac{0,15\pi(9^3 - 2,7^3) + 9^2 \cdot 2,7}{0,25\pi(9^2 - 3 \cdot 2,7^2) + 2 \cdot 9 \cdot 2,7} = \frac{552,9577}{95,040} = 5,818 \text{ см.}$$

Значения эксцентриситета, определенные по формулам (1) и (2), различаются на 6 мм. Формулой (2) удобнее пользоваться, так как она не содержит тригонометрических функций, и к тому же она учитывает реальную форму дебаланса завода-изготовителя. Массу ступицы дебаланса следует вычитать из общей массы дебаланса. Масса ступицы равна

$$M_{\text{ст}} = \pi(R_2^2 - R_3^2)\delta\gamma, \text{ г} \quad (3)$$

где  $R_2 = 2,7$  см;  $R_3 = 1,75$  см;  $\delta = 1,78$  см;  $\gamma = 7,85$  г/см<sup>3</sup>.

Подставив численные значения по формуле (3) подсчитаем массу ступицы дебаланса:

$$M_{\text{ст}} = \pi(2,7^2 - 1,75^2)1,78 \cdot 7,85 = 185,6 \text{ г.}$$

Суммарная масса четырех ступиц равна  $185,6 \cdot 4 = 742,4$  г.

К примеру, снятые в одном из вибраторов ИВ-107А дебалансы с двух сторон имеют массы: 1100 г, 1110 г, 1060 г, 1150 г, а в сумме 4420 г. Однако дебалансная масса будет меньше на  $4 \cdot 185,6 \text{ г} = 742,4 \text{ г}$  и будет равна 3667,6 г.

Максимальный статический момент четырех дебалансов вибратора ИВ-107А в этом случае равен

$$M_{\text{см}} = m_{\text{д}} r, \text{ кг} \cdot \text{м.} \quad (4)$$

Подставив численные значения по формуле (4), определяем максимальный статический момент четырех дебалансов вибратора:

$$M_{\text{см}} = 3,6676 \cdot 0,05818 = 0,2134 \text{ кг} \cdot \text{м.}$$

Максимальная сила возбуждения колебаний одним вибратором ИВ-107А равна

$$P_v = M_{cm} w^2, \text{Н.} \quad (5)$$

Подставив численные значения, по формуле (5) определяем максимальную силу возбуждения колебаний одним вибратором:

$$P_v = 0,2134 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 = 21061,73 \text{ Н} \approx 21 \text{ кН.}$$

При одинаковой массе дебалансов  $m_d$  и их эксцентриситете  $r_{\text{экс}}$  на концах валов вибратора возбуждаются одинаковые центробежные силы, векторы которых лежат в одной плоскости. Это идеальный случай для вибропрессового оборудования формирующего изделия из бетона.

В действительности дебалансы, выпускаемые Ярославским заводом, ИВ-107А отличаются друг от друга и массой и эксцентриситетом. Отличие по массе достигает, как уже отмечалось ранее, в среднем на  $\pm 0,15$  кг. К чему это приведет, рассмотрим используя метод расчетов. При равенстве масс и эксцентриситетов дебалансов, сила возбуждения колебаний на концах валов вибратора равна  $21000/2 = 10500$  Н. В предельных случаях разница в массе дебалансов на одном конце вала равна  $+0,15$  кг, а на другом конце вала равна  $-0,15$  кг, и в случае, когда эксцентриситеты дебалансов будут одинаковыми, на левом конце вала работающего вибратора действует центробежная сила равная:

$$F_{\text{л}} = 1,9838/0,05818 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 = 11391,25 \text{ Н.}$$

На правом конце вала вибратора – она будет равна

$$F_{\text{п}} = 1,6838/0,05818 \cdot (2\pi \cdot 50)^2 = 9668,6 \text{ Н.}$$

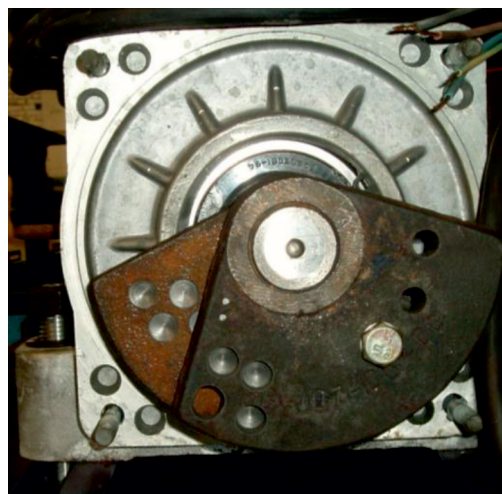
Разница составляет 1722 Н или 16,4% от нормального значения 10500 Н, также пропорционально изменяется и амплитуда колебаний в разных точках поверхности вибростол.

С одной стороны она на 16,4% меньше, а с другой на 16,4% больше.

В таком случае говорят, вибростол «галопирует», что отрицательно сказывается на равномерности уплотнения изделий в матрице вибропресса. Процесс уплотнения изделий становится неуправляемым. В результате чего формованные изделия из мелкозернистых бетонных смесей даже при одинаковом заполнении смесью ячеек матрицы вибропресса, при одном цикле будут иметь различную плотность и соответственно разную высоту [3, 6].

Массу дебалансов можно выравнять методом высверливания металла в произвольных местах. Это является хлопотным занятием, особенно если поставлена задача добиться требуемых значений работы вибростол пресса.

На рис. 2 показан способ подбора пар дебалансов методом подгонки их массы путем высверливания металла в произвольных местах.



*Рис. 2. Вид вибратора ИВ-107А с подобранными дебалансами (масса дебалансов уменьшена высверливанием его тела на произвольных местах)*

По результатам проведенных экспериментальных исследований выявлен рациональный способ подгонки масс дебалансов методом высверливания металла в точках, расположенных симметрично относительно линии, проходящей через центр масс дебалансов и центра вращения дебаланса (ось вращения вала якоря), при этом предпочтительным для вибратора ИВ-107А считается радиус равный 75 мм.

Вариант 1 – Метод точной подгонки, когда известна масса и эксцентриситет каждого дебаланса.

Центр тяжести дебаланса определяется методом его подвески на Г-образном штативе за отверстия поочередно, вначале за посадочное отверстие (точка А), а затем за крайнее крепежное отверстие (точка В), (рис. 3).

При этом каждый раз на подвешенном дебалансе рисуется линия вдоль вертикального ребра штатива прибора линии 1 и линия 2 (рис. 3).

В точке пересечения двух вертикальных линий нарисованных вдоль штатива находится центр тяжести дебаланса, (ЦТ) относительно оси вращения.

Балансировочный прибор представляет собой платформу с регулируемыми упорными винтами и уровнем. К платформе прибора крепится Г-образный кронштейн с трехгранной призмой для подвешивания дебаланса за имеющиеся в нем отверстия (рис. 3). При изготовлении прибора необходимо ориентироваться на крепежное отверстие дебаланса диаметром 11 мм (рис. 4).



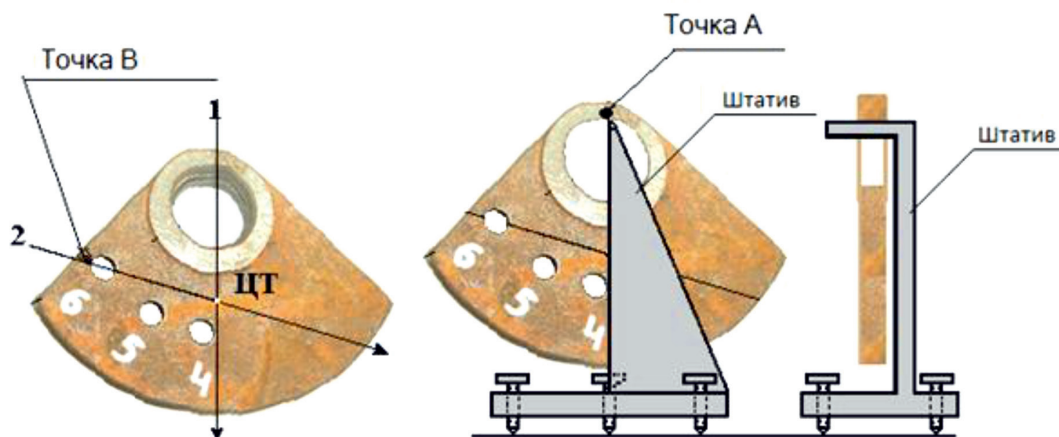


Рис. 3. Нахождение центра тяжести дебаланса методом двух подвешиваний: за посадочное (точка А) и крепежное отверстие (точка В)

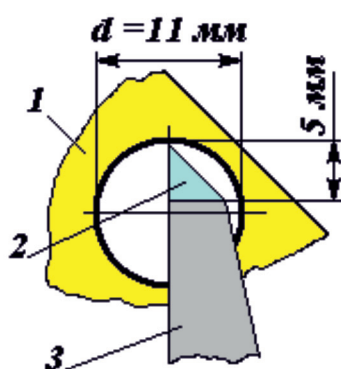


Рис. 4. Размеры и положение призмы 2 при подвешивании дебаланса 1 на штатив 3 прибора

Таким образом, призма должна иметь в сечении прямоугольный равнобедренный треугольник с катетом 5 мм. Один катет призмы должен лежать на одной линии с вертикальным ребром штатива, с помощью которого рисуются линии для определения центра тяжести дебаланса относительно оси вращения.

Для каждого вибратора ИВ-107А требуется подобрать комплект из четырех дебалансов, по два на левую и правую стороны вала якоря. После определения центра тяжести во всех четырех дебалансах и нанесения на них меток керном, дебалансы нумеруют и взвешивают. Замеряют также эксцентриситет каждого дебаланса. Данные заносят в таблицу.

Сверлить отверстия большого диаметра нетехнологично, поэтому можно сверлить отверстия меньшего диаметра, на-

пример 22,6 мм. В дебалансе № 2 по оси симметрии на радиусе 7,5 см высверлить рядом 2 отверстия, а в дебалансе № 3 – три отверстия (рис. 5).

Вариант 2 – Метод подбора по имеющейся массе дебалансов, когда известна только масса дебалансов в предположении, что эксцентриситеты приблизительно равны заводским данным – 5 см.

| № дебаланса | 1    | 2    | 3    | 4    |
|-------------|------|------|------|------|
| Масса, кг   | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,00 |

Тогда можно подобрать пары дебалансов с одинаковой суммарной массой: пара на левый конец вала вибратора № 1 и № 4, у которой суммарная масса равна 2,15 кг; и на правый конец вала № 2 и № 3, также с суммарной массой дисбалансов 2,15 кг.

При использовании метода 2-го варианта подбора дебалансов, необходимо обращать внимание на то, что при установке спаренных вибраторов на вибростол пресса оба вибратора должны иметь одинаковую суммарную массу дебалансов. Вариант 2 подбора дебалансов проще, и это возможно производить на заводе-изготовителе прессов, где имеется на складе запас вибраторов. Для производственных условий, где вибропрессы уже работают, при покупке новых вибраторов надо заказывать на заводе изготовителе вибраторов парные вибраторы с требуемыми условиями, описанными выше, при этом необходимо обратить внимание на то, чтобы число оборотов спариваемых вибраторов были одинаковыми, иначе один из них будет запаздывать и создавать сопротивление другому, и в результате такого режима работы один из вибраторов будет нагреваться.

Данные о дебалансах для подбора и комплектации вибратора ИВ-107А

| № деб. | Масса, кг | Эксцентриситет, см | Статический момент, кг·см | Радиус точки сверления отверстий, см | Масса высверл. металла, кг | Диаметр высверленных отверстий, мм |
|--------|-----------|--------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1      | 1,15      | 5,3                | 6,095                     | 7,5                                  | 0,146                      | 39,7                               |
| 2      | 1,10      | 5,2                | 5,720                     | 7,5                                  | 0,096                      | 32,2                               |
| 3      | 1,05      | 5,1                | 5,355                     | 7,5                                  | 0,0473                     | 22,6                               |
| 4      | 1,00      | 5,0                | 5,000                     | 0                                    | 0                          | 0                                  |

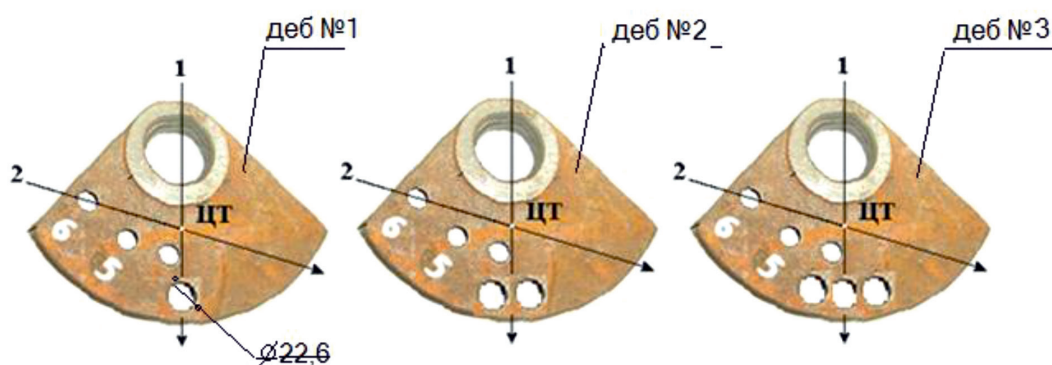


Рис. 5. Места сверлений при подгонке массы дебалансов

На производственной площадке ООО Агрофирмы «Джаше» (Карачаево-Черкесская республика) результаты проверки предложенных методик регулировки на вибропрессе ЛП-500 (изготовитель завод «Красная Пресня») показали, что качество выпускаемой продукции улучшилось. Тротуарная плитка получалась одинаковой по высоте, этот показатель определялся согласно ГОСТ 26433.1-86 расстоянием между двумя плоскостями. Выровненность тротуарной плитки по высоте превышала требования ГОСТ (по ГОСТ  $70 \pm 5$  мм получалось  $70 \pm 1$  мм), а по прочности тротуарной плитки ГОСТ 17608-91 требует, чтобы она составляла 90% от класса бетона по прочности на сжатие, из которого она составлена. До наладки вибропресса прочность плитки доходила до 70% от класса бетона по прочности на сжатие, эти же показатели, полученные после наладки вибропресса по вышеприведённым методикам, достигали  $95 \pm 2\%$ . На восьмой день сушки колючей тротуарной плитки, не отвечающей техническим условиям, уменьшилось с 9,2% до 1,8%, по сравнению с результатами продукции, полученной на том же

вибропрессе, налаженной в условиях Завода Красная Пресня. Дополнительные затраты на приобретение новых вибраторов ИВ-107А в количестве 2 шт., простой работы пресса на период изготовления прибора (штатива), исследования и правильного подбора дебалансов окупаются за три дня работы налаженного оборудования ЛП-500 за счет повышения качества выпускаемой продукции и ее стабильной работы.

### Выводы

Для получения качественной продукции на вибропрессовом оборудовании, предназначенной для изготовления штучных изделий из жёстких бетонов (к примеру: элементы для мощения тротуаров, площадей, такие как плитка, бордюры и другие), требуется, чтобы траектория колебаний всех точек поверхности вибростола пресса была прямолинейной в вертикальной плоскости, возмущающая сила и амплитуда этих точек должна быть одинаковой. Величину амплитуды колебаний, и возмущающей силы необходимо подбирать в зависимости от фракции инертного материала, из которого составлена

цементная смесь, а время вибрации подбирается в зависимости от высоты формуемых изделий. Вибростол прессы должен содержать парное число вибраторов. При использовании для этих целей вибраторов, выпущенных Ярославским заводом, требуется специальная регулировка их дебалансов, а число оборотов вибраторов должно быть одинаковым.

#### Список литературы

1. Емельяненко Н.Г., Стоянов Ф.А. Оптимизация параметров режима работы вибропресса для формирования бетонных изделий // Вестник Днепропетровский ГТУ. – 2011. – № 3. – 215 с.
2. Матков В.В. Пособие по изготовлению тротуарной плитки. – М., 2012. – 348 с.
3. Львович К.И. Песчаный бетон. Теория. Исследования. Практика применения. – М., 2013. – 544 с.
4. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1. – 9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
5. Скобелева И.Ю., Вавилов Ю.А. Краткий справочник инженера-конструктора. – Ростов-н/Д.: ФЕНИКС, 2015. – 272 с.
6. Лукьянчиков С.А. Оптимизация состава мелкозернистого бетона для вибропрессованных изделий с использованием местных песков // Вестник Томский ГАСУ. – 2013. – № 3. – 256 с.