

angle) and in joint forces corresponding to coordinates // *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2008. No. 1. P.18-22.

3. Gozbenko, V.E. Operation of dynamic properties of mechanical oscillatory systems. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta., 2000. 412 p.

4. Yaglom I.M. Mathematical structures and mathematical modelling. M.: Sov. Radio, 1980. 144 p.

5. Eliseev S.V., Upr R.Yu. Features of parallel connections in mechanical chains // *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2007. No 2 (14). P.102-113.

6. Belokobylsky S.V., Sitov I.S. Reduced stiffness of two-dimensional systems // *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2007. No. 16. P.6-10.

7. Belokobylsky S.V., Eliseev S.V., Kashuba V.B. Mathematical modelling in mechanical oscillatory systems. *Mechatronic approaches // Problemy mashinostroenija i avtomatizacii*. 2011. No. 3. P.70-78.

8. Belokobylsky S.V. Dynamics of dry friction systems and its application to mining mechanics tasks: monograph, M. 2002. 209 p.

УДК 621.311

## Экспериментальные исследования влияния параметров бетоноотделочной машины с электромагнитным активатором на показатели качества изделий

С.Н. Герасимов<sup>a</sup>, В.А. Коронатов<sup>b</sup>, Е.В. Ефимова<sup>c</sup>, И.О. Клушин<sup>d</sup>

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

<sup>a</sup>sdm\_gerasimov@rambler.ru, <sup>b</sup>kortavik@mail.ru, <sup>c</sup>sima\_efimova@mail.ru <sup>d</sup>sdm\_alybeliw@mail.ru

Статья поступила 10.12.2013, принята 12.02.2014

*Бетонные изделия должны обладать высокой точностью геометрических размеров, чистой обработкой и ровностью поверхности, достаточной адгезией для обеспечения возможности покрытия их отделочными материалами, трещиностойкостью. В статье представлены результаты экспериментальных исследований. Целью исследований являлось повышение качества обработки незатвердевшей поверхности железобетонных изделий. Объектом исследования является процесс обработки бетонной поверхности дисковым рабочим органом с электромагнитным воздействием. За параметр, характеризующий данный процесс, принято качество заглаживаемой поверхности (размах шероховатости). Задача эксперимента – достижение минимальной шероховатости обрабатываемой поверхности при возможных комбинациях факторов, влияющих на процесс. Факторы, определяющие процесс заглаживания: магнитная индукция, жесткость бетонной смеси, скорость заглаживания, частота вращения диска.*

**Ключевые слова:** шероховатость, магнитная индукция, жесткость бетонной смеси, поверхность, скорость заглаживания, формование, строительство.

## Pilot studies of influence of parameters of concrete-finishing machine with electromagnetic activator on indicators of product quality

S.N. Gerasimov<sup>a</sup>, V.A. Koronotov<sup>b</sup>, E.V. Efimova<sup>c</sup>, I.O. Klushin<sup>d</sup>

Bratsk state university, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>sdm\_gerasimov@rambler.ru, <sup>b</sup>kortavik@mail.ru, <sup>c</sup>sima\_efimova@mail.ru <sup>d</sup>sdm\_alybeliw@mail.ru

Received 10.12.2013, accepted 12.02.2014

*Concrete products have to possess high precision of the geometrical sizes, processing purity and surface flatness, and sufficient adhesion so to be covered with finishing materials, and crack resistance. The article deals with the results of pilot studies. The research purpose was to improve processing quality of the unconsolidated surface of ferroconcrete products. The research object is processing of a concrete surface with disk working body of electromagnetic influence. For the parameter characterizing this process, the quality of a smoothed-down surface (scope of a roughness) has been accepted. Experiment task is to achieve the minimum roughness of a processed surface at possible combinations of the factors influencing on the process. The factors defining the process of smoothing are magnetic induction, rigidity of concrete mix, smoothing-down velocity, frequency of disk rotation.*

**Keywords:** roughness, magnetic induction, rigidity of concrete mix, concrete surface, smoothing-down velocity, formation, construction.

**Введение.** Проведенные теоретические исследования, а также изучение разнообразных видов дисковых бетоноотделочных машин [2, 3, 5] позволили устано-

вить и конкретизировать значения основных параметров, соответствующих определенному качеству изделий, отформованных из бетонных смесей. Таким обра-

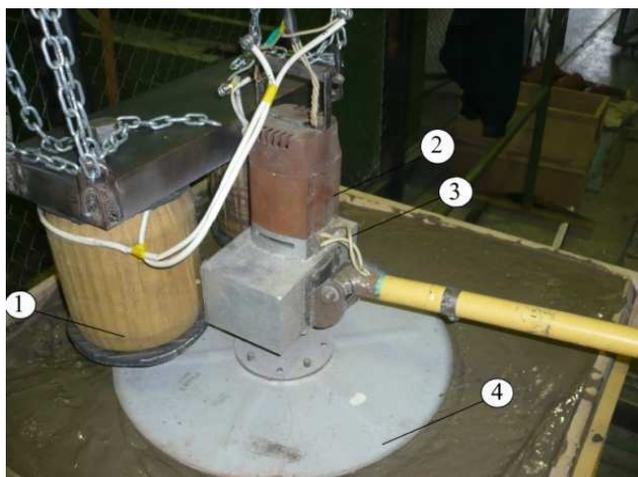
зом, появилась возможность установить функциональные зависимости между качеством обработки бетонных поверхностей и выходными параметрами дисковой бетоноотделочной машины с источником электромагнитного поля с учетом реологических свойств бетонной смеси. При изменении выходных параметров рабочего органа заглаживающей машины размах шероховатости и прочностные характеристики обрабатываемого изделия изменяются, то есть, улучшаются или ухудшаются.

**Основные положения. Постановка задачи исследования.** Для подтверждения теоретических предположений необходимо экспериментальным путем определить зависимости между размахом шероховатости поверхности и основными параметрами дисковой заглаживающей машины с источником электромагнитного поля, что позволит направленно регулировать рассматриваемые параметры для достижения необходимых требований [6, 9] при обработке бетонных изделий.

Экспериментально-лабораторная установка бетоноотделочной машины с электромагнитным активатором создана с целью проверки и подтверждения теоретических исследований, а также для дополнительных экспериментальных исследований при обработке незатвердевших поверхностей, отформованных из жестких и пластичных бетонных смесей.

На рис. 1 представлен общий вид экспериментальной дисковой бетоноотделочной машины с электромагнитным активатором.

Образец машины состоит из заглаживающего диска, жестко соединенного с редуктором, который приводится во вращение от электродвигателя. Передвижение машины по обрабатываемой незатвердевшей бетонной поверхности осуществляется оператором посредством рукояти. Измерения магнитной индукции осуществлялись с помощью веберметра. Шероховатость поверхности измерялась прибором ИШБ-6, разработанным в СПбГАСУ. Частоту вращения заглаживающего диска определяли тахометром типа HASLER.



**Рис. 1.** Общий вид экспериментального стенда дисковой бетоноотделочной машины с электромагнитным активатором ДБМ с ЭМА: 1 – магнитный активатор; 2 – электрический привод; 3 – редуктор; 4 – заглаживающий диск

**Методика проведения экспериментальных исследований.** Задачей проведения экспериментальных исследований является определение коэффициентов уравнения регрессии, связывающего величину шероховатости поверхности и прочности бетона со значениями исследуемых факторов.

Для решения поставленной задачи была разработана методика проведения исследований. Методика включала в себя четыре основных этапа:

- подготовка бетонной смеси и установка режимов работы ДБМ с ЭМА;
- заглаживание поверхности бетонной смеси;
- измерение и регистрация результатов работы рабочего органа с электромагнитным активатором;
- измерение прочности образцов на 3, 7, 28 сутки.

В ходе подготовки бетонная смесь замешивалась в бетоносмесителе до однородного состояния. Затем формировался слой бетонной смеси заданной толщины, и обеспечивалась ровность его продольного и поперечного профиля.

Установка режимов работы исследуемого рабочего органа заглаживающей машины осуществлялась в соответствии с матрицей планирования эксперимента. Устанавливалась необходимая скорость вращения заглаживающего диска. Изменение величины магнитной индукции осуществлялось путем изменения силы тока с помощью лабораторного автотрансформатора.

После установки режимов работы и подготовки бетонной смеси проводилась обработка поверхности бетонной смеси дисковой бетоноотделочной машиной с электромагнитным активатором.

Кроме того, по окончании процесса обработки прибором для измерения шероховатости оценивалось состояние бетонной поверхности. В дальнейшем эта оценка использовалась при рассмотрении процесса взаимодействия ДБМ с ЭМА с поверхностью бетонной смеси и определении диапазонов изменения параметров и режимов работы дискового рабочего органа, обеспечивающих получение качественной поверхности.

**Методика обработки экспериментальных исследований.** Объектом исследования является процесс обработки незатвердевшей бетонной поверхности дисковой бетоноотделочной машиной с электромагнитным активатором. За параметр, характеризующий данный процесс, принималось качество обработанной поверхности, т. е. размах шероховатости поверхности бетонного изделия –  $R_{\Gamma}$ , а также прочностные характеристики бетона после затвердевания –  $R_{сж}$ .

Задачей оптимизации является максимальное достижение качества обрабатываемой поверхности и прочности бетона при различных комбинациях факторов, влияющих на процесс. К этим факторам относятся: магнитная индукция  $B$ , Тл; жесткость бетонной смеси  $J$ , с; скорость заглаживания  $V_3$ , м/с; скорость вращения диска  $S_d$ , м.

Сопоставляя имеющиеся сведения по технологии обработки бетонных поверхностей дисковыми рабочими органами [1, 4, 7, 8], отметим следующие принятые значения основных факторов и интервалы их варьирования (табл. 1).

Таблица 1

## Уровни факторов и интервалы их варьирования

| Факторы  | Уровни фактора |      |      | Интервал варьирования |
|--|----------------|------|------|-----------------------|
|  | -1             | 0    | +1   |                       |
| $X_1$ – магнитная индукция (постоянная) $B$ , Тл | 0,1            | 0,3  | 0,5  | 0,2                   |
| $X_2$ – жесткость бетонной смеси $J$ , с         | 10             | 55   | 100  | 45                    |
| $X_3$ – скорость заглаживания $V_3$ , м/с        | 0,01           | 0,08 | 0,15 | 0,07                  |
| $X_4$ – скорость вращения диска $S_d$ , об/сек   | 1              | 3    | 5    | 2                     |

Далее составлена матрица планирования  $2^4$  (табл. 2), согласно которой проведено 25 опытов с тремя повторными измерениями шероховатости поверх-

ности в каждом опыте. Количество повторных измерений в каждом опыте определялось по заданной предельной ошибке измерения 5 %.

Таблица 2

## Матрица планирования эксперимента

| Номер опыта в матрице | $X_1 (B)$ |     | $x_2 (Ж)$ |     | $X_3 (v_3)$ |      | $x_4 (S_d)$ |   | $R_{пв}$ , мм | $R_{сж}$ , МПа |
|-----------------------|-----------|-----|-----------|-----|-------------|------|-------------|---|---------------|----------------|
|                       | код       | Тл  | код       | с   | код         | м/с  | код         | м |               |                |
| 1                     | +1        | 0,5 | +1        | 100 | +1          | 0,15 | +1          | 5 | 0,48          | 38,5           |
| 2                     | -1        | 0,1 | +1        | 100 | +1          | 0,15 | +1          | 5 | 0,50          | 37,5           |
| 3                     | +1        | 0,5 | -1        | 10  | +1          | 0,15 | +1          | 5 | 1,05          | 29,3           |
| 4                     | -1        | 0,1 | -1        | 10  | +1          | 0,15 | +1          | 5 | 1,12          | 27,5           |
| 5                     | +1        | 0,5 | +1        | 100 | -1          | 0,01 | +1          | 5 | 0,55          | 38,8           |
| 6                     | -1        | 0,1 | +1        | 100 | -1          | 0,01 | +1          | 5 | 0,52          | 38,5           |
| 7                     | +1        | 0,5 | -1        | 10  | -1          | 0,01 | +1          | 5 | 0,60          | 32,2           |
| 8                     | -1        | 0,1 | -1        | 10  | -1          | 0,01 | +1          | 5 | 0,90          | 30,6           |
| 9                     | +1        | 0,5 | +1        | 100 | +1          | 0,15 | -1          | 1 | 0,66          | 40,0           |
| 10                    | -1        | 0,1 | +1        | 100 | +1          | 0,15 | -1          | 1 | 0,82          | 39,4           |
| 11                    | +1        | 0,5 | -1        | 10  | +1          | 0,15 | -1          | 1 | 1,00          | 30,9           |
| 12                    | -1        | 0,1 | -1        | 10  | +1          | 0,15 | -1          | 1 | 1,44          | 29,4           |
| 13                    | +1        | 0,5 | +1        | 100 | -1          | 0,01 | -1          | 1 | 0,98          | 42,1           |
| 14                    | -1        | 0,1 | +1        | 100 | -1          | 0,01 | -1          | 1 | 0,81          | 38,7           |
| 15                    | +1        | 0,5 | -1        | 10  | -1          | 0,01 | -1          | 1 | 0,48          | 32,7           |
| 16                    | -1        | 0,1 | -1        | 10  | -1          | 0,01 | -1          | 1 | 1,52          | 29,5           |
| 17                    | 0         | 0,3 | 0         | 55  | 0           | 0,08 | +1          | 5 | 0,42          | 34,7           |
| 18                    | 0         | 0,3 | 0         | 55  | 0           | 0,08 | -1          | 1 | 0,73          | 33,9           |
| 19                    | 0         | 0,3 | 0         | 55  | +1          | 0,15 | 0           | 3 | 0,77          | 31,3           |
| 20                    | 0         | 0,3 | 0         | 55  | -1          | 0,01 | 0           | 3 | 0,50          | 36,1           |
| 21                    | 0         | 0,3 | +1        | 100 | 0           | 0,08 | 0           | 3 | 0,33          | 41,3           |
| 22                    | 0         | 0,3 | -1        | 10  | 0           | 0,08 | 0           | 3 | 0,72          | 30,4           |
| 23                    | +1        | 0,5 | 0         | 55  | 0           | 0,08 | 0           | 3 | 0,63          | 40,2           |
| 24                    | -1        | 0,1 | 0         | 55  | 0           | 0,08 | 0           | 3 | 0,54          | 29,8           |
| 25                    | 0         | 0,3 | 0         | 55  | 0           | 0,08 | 0           | 3 | 0,44          | 36,9           |

**Анализ результатов эксперимента измерения шероховатости бетонной поверхности.** С целью изучения процесса заглаживания незатвердевшей бетонной поверхности дисковым рабочим органом с электромагнитным активатором и доказательства эффективности обработки по сравнению с рабочим органом, не выполняющим электромагнитной активации, проведен ряд опытов. В результате получены значения чистоты шерохо-

ватости при обработке поверхностей с применением и отсутствием электромагнитного активатора.

На рис. 2 – 4 линиями с квадратами показаны зависимости шероховатости с применением электромагнитной активации, а линиями с ромбами отображены зависимости без применения электромагнитной активации.

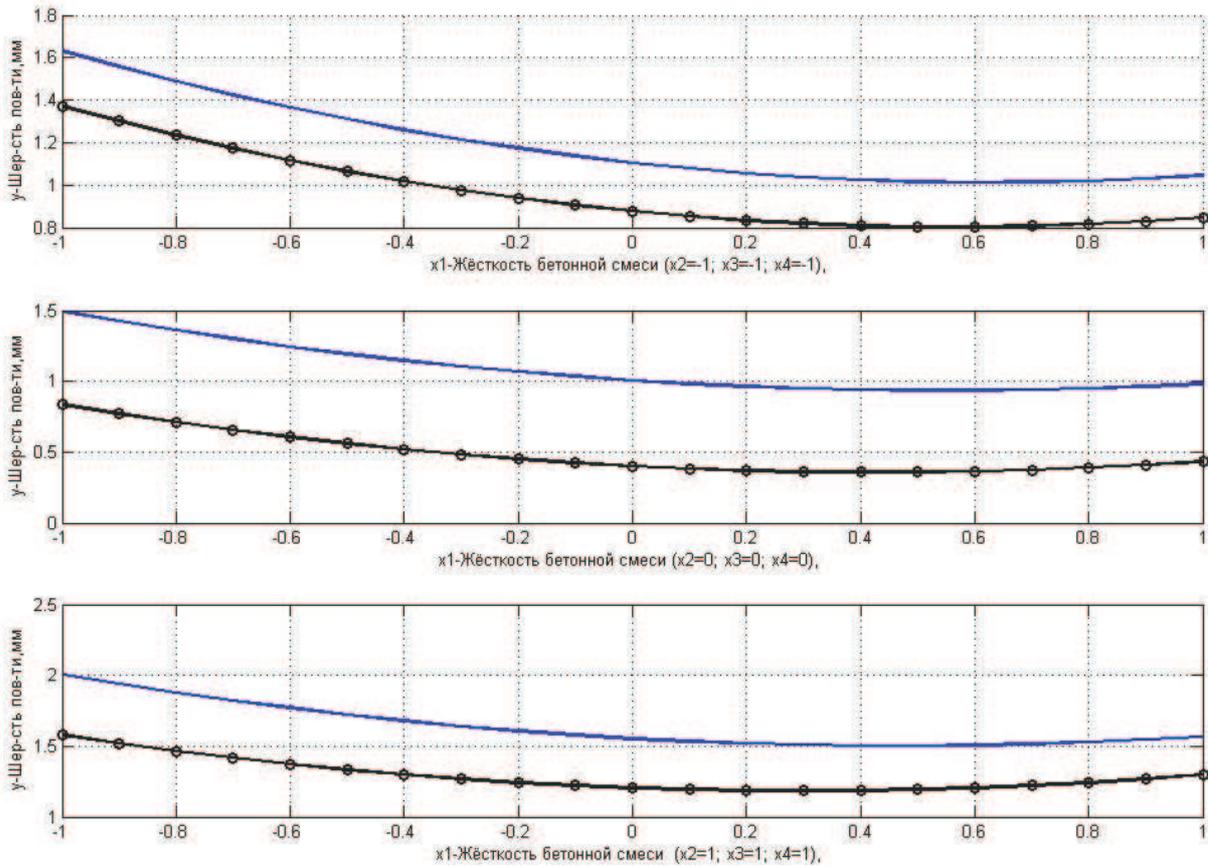


Рис. 2. Влияние электромагнитной активации на шероховатость обработанной поверхности при варьировании жесткости бетонной смеси

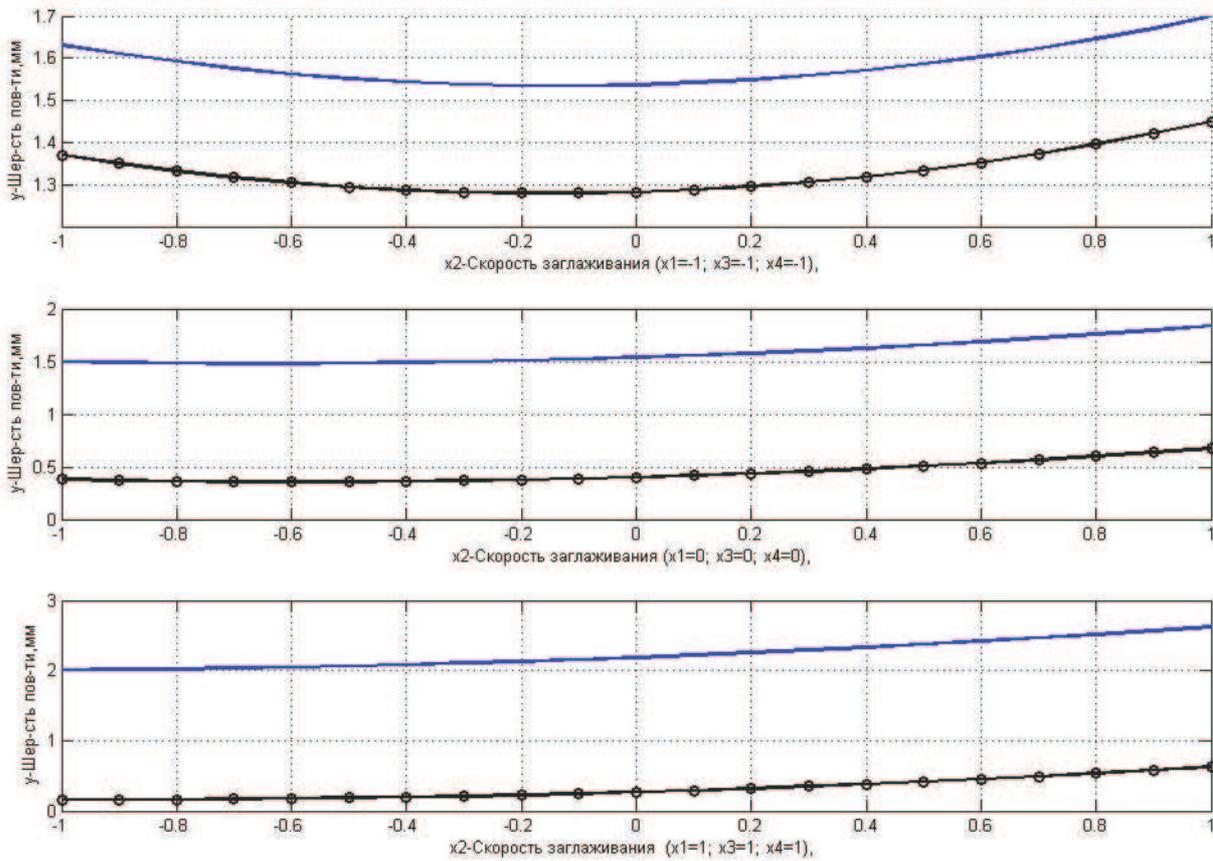


Рис. 3. Влияние электромагнитной активации на шероховатость обработанной поверхности при варьировании скорости заглаживания

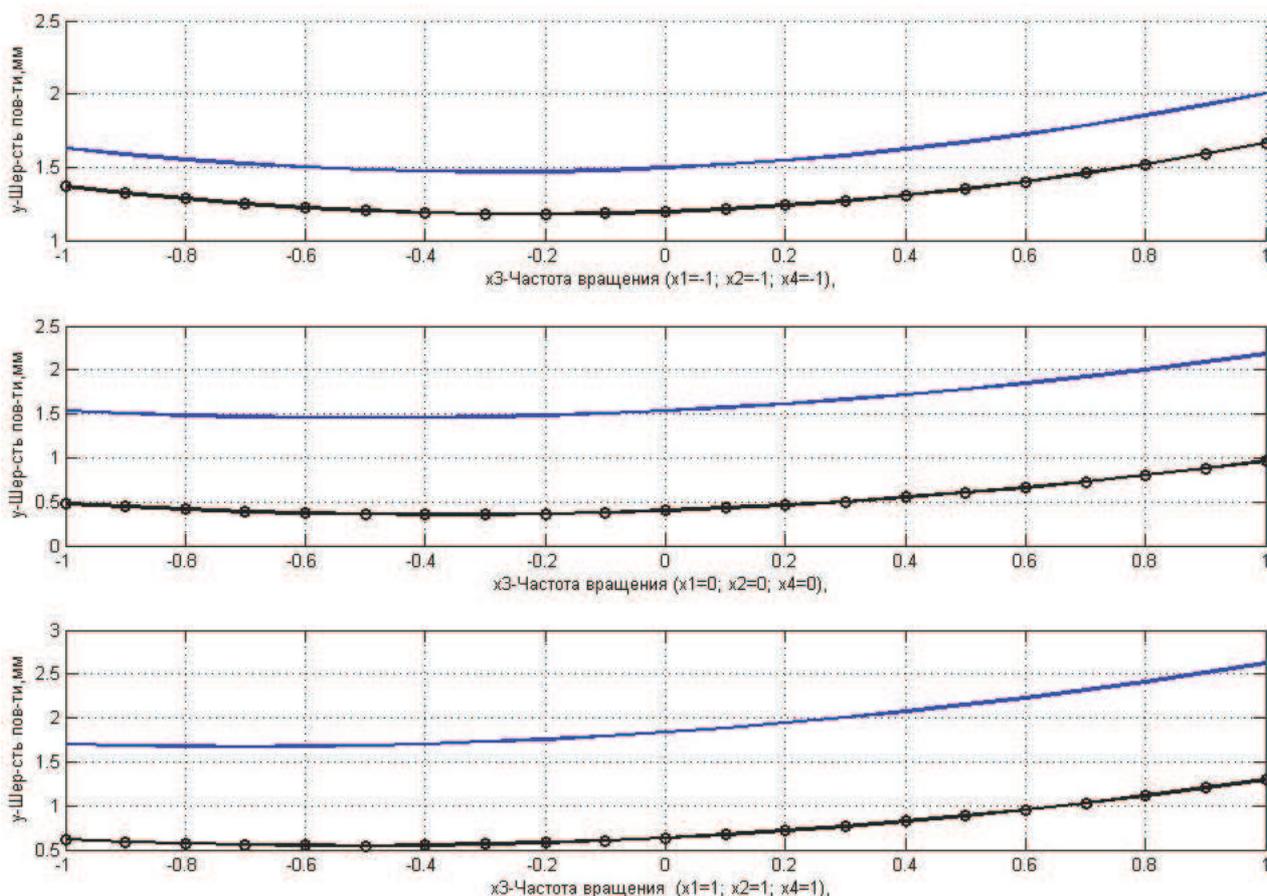


Рис. 4. Влияние электромагнитной активации на шероховатость обработанной поверхности при варьировании заглаживающей способности

Анализируя полученные графики (рис. 6 – 8), необходимо заметить, что с использованием электромагнитной активации эффективность обработки поверхности возрастает, а размах шероховатости в среднем уменьшается на  $\Delta R_{\Pi} = 0,9$  мм.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что при воздействии ДБМ с ЭМА на незатвердевшую поверхность бетонной смеси происходит разжижение поверхностного слоя, связи между частицами бетона нарушаются, вследствие чего перераспределяется градиентный слой, а лежащие ниже частицы крупного заполнителя посредством силы тяжести получают возможность занять более удобное пространственное взаиморасположение. Одновременно с этим из цементного теста на поверхность выделяются пузырьки воздуха и некоторое количество цементно-песчаного молочка, необходимого для сглаживания неровностей (трещин, впадин, раковин) на поверхности.

Вследствие вышесказанного поверхность бетонного изделия достигает наименьшей величины шероховатости.

В результате эксперимента, проведенного по составленной матрице (табл. 2), путем измерений полу-

чены 25 значений шероховатости обработанной поверхности (табл. 3).

Как уже отмечалось выше, в нулевой точке проведены четыре параллельных опыта. Для шероховатости обработанной поверхности среднее арифметическое значение опыта составило  $\bar{R}_{\Pi} = 0,693$  мм. Дисперсия при этом получилась равной  $S^2 = 0,097$ , а квадратичная ошибка (стандарт)  $S = 0,311$ .

По полученным значениям шероховатости обработанной поверхности рассчитано по 15 коэффициентов регрессии (табл. 4).

При проверке адекватности составленного многофакторного уравнения регрессии дисперсия адекватности составила, в случае исследования шероховатости бетонной поверхности,  $S_{ад}^2 = 0,024$ . Сравнивая полученное значение критерия Фишера  $F = 0,248$  с табличным значением  $F_{табл} = 2,66$  при 5-процентном уровне значимости, можно сделать вывод, что полученное уравнение регрессии адекватно при соответствующей доверительной вероятности.

Таблица 3

Значения шероховатости обработанной поверхности, полученные в результате эксперимента и расчетов

| Номер опыта в матрице | $R_{П}$ , мм | $R_{П}$ , мм (расчетный) | $\Delta R_{П}$ , мм (отклонение среднего от расчетного) | Номер опыта в матрице | $R_{П}$ , мм | $R_{П}$ , мм (расчетный) | $\Delta R_{П}$ , мм (отклонение среднего от расчетного) |
|-----------------------|--------------|--------------------------|---|-----------------------|--------------|--------------------------|---|
| 1                     | 2            | 3                        | 4   | 1                     | 2            | 3                        | 4   |
| 1                     | 0,48         | 0,613616                 | -0,133616   | 14                    | 0,81         | 0,964866                 | -0,154866   |
| 2                     | 0,50         | 0,378199                 | 0,121801  | 15                    | 0,48         | 0,684866                 | -0,204866   |
| 3                     | 1,05         | 0,978199                 | 0,071801  | 16                    | 1,52         | 1,306949                 | 0,213051  |
| 4                     | 1,12         | 1,210282                 | -0,090282   | 17                    | 0,42         | 0,439962                 | -0,019962   |
| 5                     | 0,55         | 0,580911                 | -0,030977   | 18                    | 0,73         | 0,655518                 | 0,034482  |
| 6                     | 0,52         | 0,45806                  | 0,06194   | 19                    | 0,77         | 0,682185                 | 0,087815  |
| 7                     | 0,60         | 0,56806                  | 0,03194   | 20                    | 0,50         | 0,573296                 | -0,073296   |
| 8                     | 0,90         | 0,912644                 | -0,012644   | 21                    | 0,33         | 0,341073                 | -0,011073   |
| 9                     | 0,66         | 0,730421                 | -0,070421   | 22                    | 0,72         | 0,694407                 | 0,025593  |
| 10                    | 0,82         | 0,772505                 | 0,047495  | 23                    | 0,63         | 0,481073                 | 0,148927  |
| 11                    | 1,00         | 0,982505                 | 0,017495  | 24                    | 0,54         | 0,674407                 | -0,134407   |
| 12                    | 1,44         | 1,492088                 | -0,052088   | 25                    | 0,44         | 0,486559                 | -0,043595   |
| 13                    | 0,98         | 0,810282                 | 0,169718  |                       |              |                          |   |

Таблица 4

Коэффициенты регрессии (шероховатость обработанной поверхности)

| Коэффициент | Значение  | Коэффициент | Значение  |
|-------------|-----------|-------------|-----------|
| $b_0$       | 0,483559  | $b_8$       | 0,084181  |
| $b_1$       | 0,096667  | $b_9$       | 0,116875  |
| $b_2$       | 0,176667  | $b_{10}$    | 0,028125  |
| $b_3$       | 0,054444  | $b_{11}$    | 0,069375  |
| $b_4$       | -0,127778 | $b_{12}$    | -0,094375 |
| $b_5$       | 0,094181  | $b_{13}$    | -0,028125 |
| $b_6$       | 0,034181  | $b_{14}$    | 0,028125  |
| $b_7$       | 0,144181  |             |           |

Далее проводилась проверка значимости каждого коэффициента регрессии. Для этого рассчитали дисперсию коэффициента регрессии, в случае с шероховатостью поверхности он составил  $S_{\{b_j\}}^2 = 0,00084$ . Квадратичная ошибка коэффициента регрессии  $S_{\{b_j\}} = 0,02898$ . Доверительный интервал при выбранном уровне значимости в соответствии с табличным критерием Стьюдента –  $\Delta b_j = 0,0681$ . В результате из полученной модели отброшены следующие коэффициенты:

$$b_3 = 0,054444; b_6 = 0,034181;$$

$$b_8 = 0,084181; b_{10} = 0,028125;$$

$$b_{13} = -0,028125; b_{14} = 0,028125.$$

В итоге получили адекватную модель в виде многофакторного уравнения регрессии, которая отражает изменение величины размаха шероховатости заглаженной поверхности:

$$R_{П} = 0,483559 + 0,096667 x_1 + 0,176667 x_2 - 0,127778 x_4 + 0,094181 x_1^2 + 0,144181 x_3^2 + 0,116875 x_1 x_2 + 0,069375 x_1 x_4 - 0,094375 x_2 x_3 \quad (1)$$

Решением уравнения будет являться поиск минимума функции  $R_{П} = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  при варьировании переменных в интервале от  $-1$  до  $+1$ .

В результате решения уравнения определены значения,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_4$ , для шероховатости поверхности, которые составили в кодированном значении  $-0,23$ ;  $1$ ;  $-0,2$  и  $0,78$ , а в реальных значениях:

- величина магнитной индукции  $B = 0,32$  Тл;
- жесткость бетонной смеси  $Ж = 100$  с;
- скорость заглаживания  $V_3 = 0,02$  м/с;
- скорость вращения диска  $S_{Д} = 3,9$  об/сек.

Был построен ряд графических зависимостей, которые наглядно отражают изменения в бетонной смеси после обработки ДБМ с ЭМА.

Анализ полученных уравнений позволил установить функциональные зависимости между факторами, а также оценить степень и характер влияния каждого отдельно взятого фактора на качество обработки бетонного изделия.

На рис. 5 – 7 изображены графические зависимости изменения размаха шероховатости при изменении одного из факторов в кодированных значениях от  $-1$  до  $+1$ . Остальные факторы находились в фиксированном положении и в сочетаниях « $-1, -1, -1$ », « $0, 0, 0$ » и « $1, 1, 1$ ».

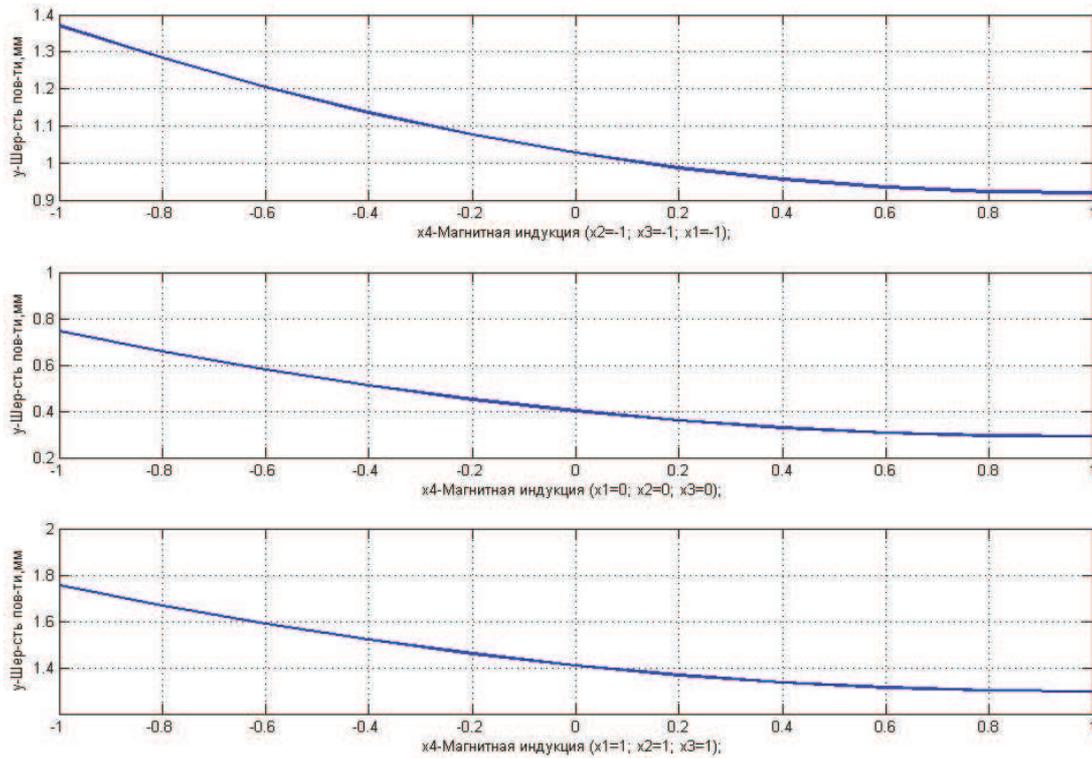


Рис. 5. Изменение размаха шероховатости поверхности при варьировании электромагнитной индукции от -1 до +1

При исследовании опытов влияния магнитной индукции на незатвердевшую бетонную поверхность выявлено, что увеличение  $B$  приводит к увеличению подвижности бетонной смеси, что в свою очередь приводит к частичному погружению (подтапливанию) заглаживающего диска в бетонную смесь, при этом на поверхности образовывались волны, наплывы и гребни, что отрицательно влияло на качество обрабатываемой поверхности, которое напрямую характеризует степень

обработки поверхности конструкций. Вследствие этого происходила недостаточная обработка бетонной смеси, а качество отделки уменьшалось до верхнего предела класса 3Ш - 2Ш.

График на рис. 6 свидетельствует о том, что изменение жесткости бетонной смеси значительно влияет на достижение необходимой шероховатости поверхности.

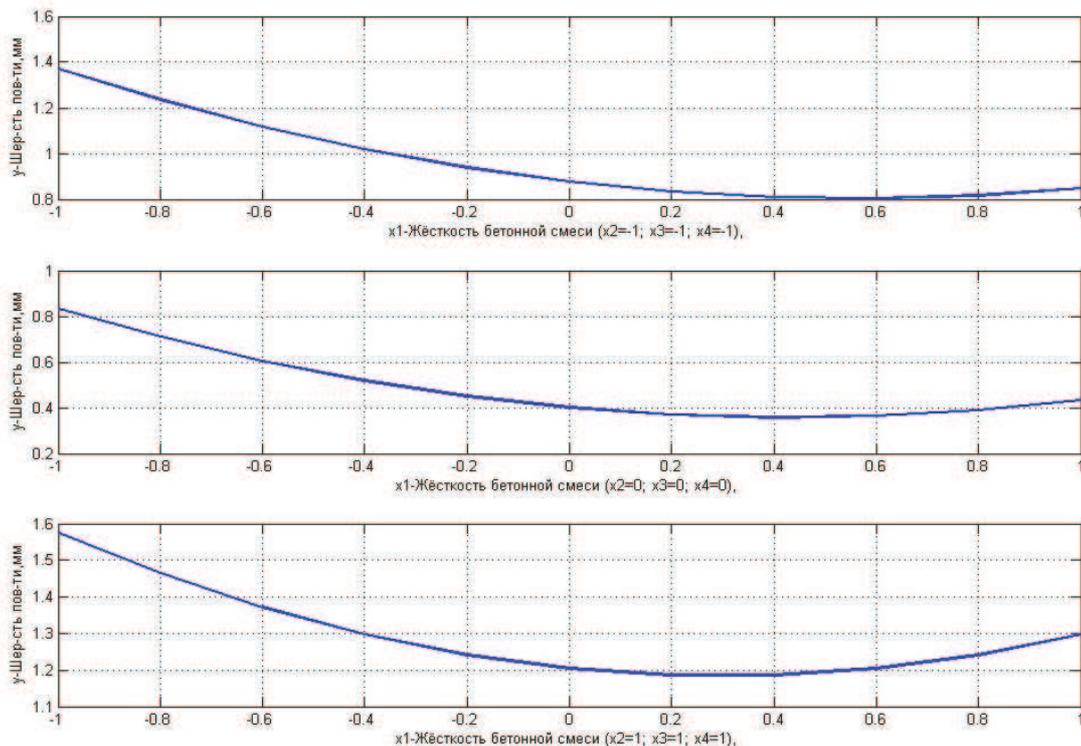


Рис. 6. Изменение размаха шероховатости поверхности при варьировании жесткости бетонной смеси от -1 до +1

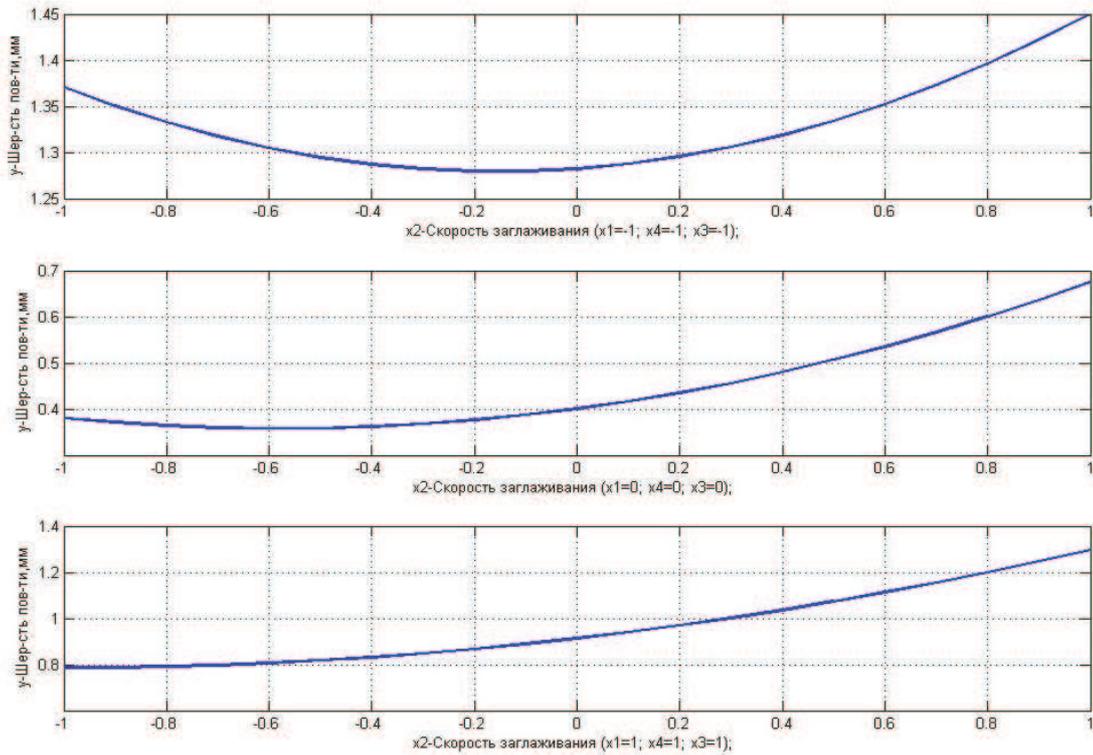


Рис. 7. Изменение размаха шероховатости поверхности при варьировании скорости заглаживания от  $-1$  до  $+1$

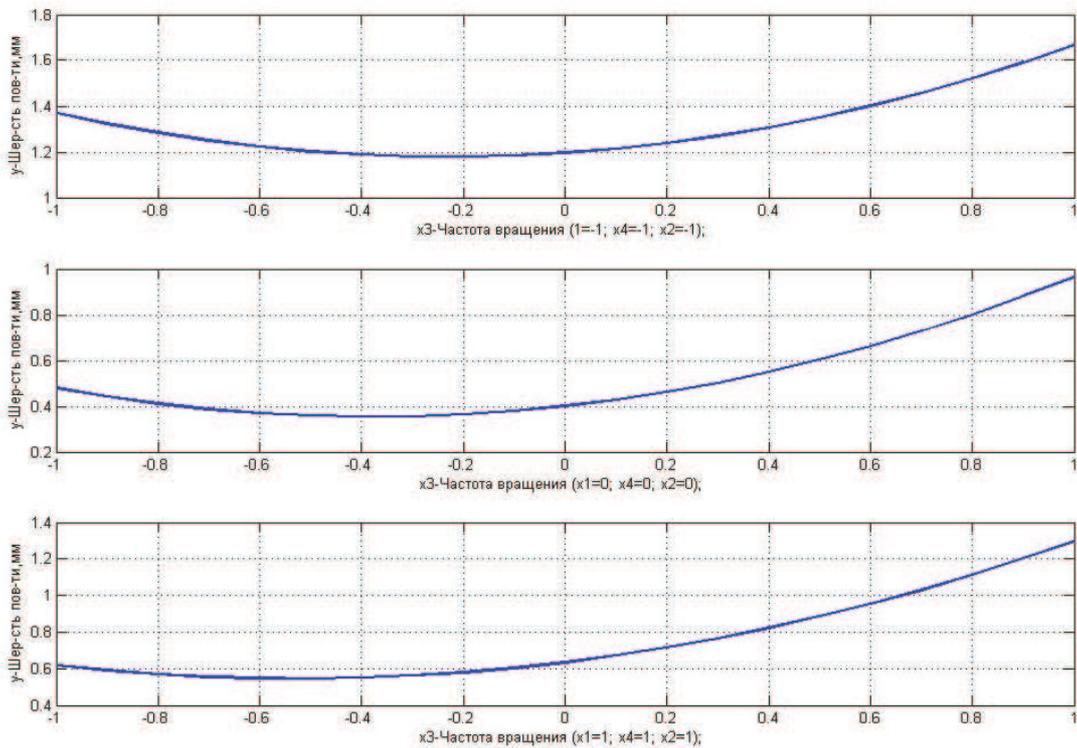


Рис. 8. Изменение размаха шероховатости поверхности при скорости вращения диска от  $-1$  до  $+1$

При фиксировании основных факторов на наименьших значениях  $B = 0,2$  Тл,  $V_3 = 0,01$  м/с,  $S_d = 10$  м удалось достигнуть наилучшей шероховатости поверхности  $R_{\Pi} = 0,55$  мм при жесткости бетонной смеси  $J = 60$  с.

Зафиксировав основные факторы на средних значениях  $B = 0,5$  Тл,  $V_3 = 0,055$  м/с,  $S_d = 40$  м, наблюдалось

уменьшение шероховатости поверхности до  $0,32$  мм при  $J = 55$  с. Фиксирование основных факторов в максимальных значениях варьирования  $B = 0,8$  Тл,  $V_3 = 0,1$  м/с,  $S_d = 70$  м привело к ухудшению шероховатости до  $0,65$  мм при максимальной  $J = 48$  с.

Изменение размаха шероховатости поверхности при варьировании скоростью заглаживания в кодированных значениях от « $-1$ » до « $+1$ » показано на рис. 7. Из

графика видно, что, зафиксировав основные факторы на минимальных значениях  $B = 0,2$  Тл,  $S_{\text{д}} = 10$  м,  $Ж = 10$  с, наименьшая шероховатость  $R_{\text{П}} = 1,22$  мм достигалась при  $V_3 = 0,05$  м/с. Зафиксировав основные факторы на средних значениях интервала варьирования  $B = 0,5$  Тл,  $V_3 = 0,055$  м/с,  $Ж = 35$  с, получили наилучшую шероховатость  $R_{\text{П}} = 0,39$  мм поверхности при  $V_3 = 0,04$  м/с. При фиксировании основных факторов на максимальных значениях  $B = 0,8$  Тл,  $V_3 = 0,1$  м/с,  $Ж = 60$  с наблюдалось повышение размаха шероховатости до  $0,58$  мм при  $V_3 = 0,0382$  м/с.

Изменение размаха шероховатости поверхности при скорости вращения диска в кодированных значениях от «-1» до «+1» показано на рис. 8.

На графике видно, что, зафиксировав основные факторы на минимальных значениях  $B = 0,2$  Тл,  $V_3 = 0,01$  м/с,  $Ж = 10$  с, наименьшая шероховатость  $R_{\text{П}} = 0,8$  мм достигалась при  $S_{\text{д}} = 5$  об/мин. Зафиксировав основные факторы на средних значениях интервала варьирования  $B = 0,5$  Тл,  $V_3 = 0,055$  м/с,  $Ж = 35$  с, получили наилучшую шероховатость  $R_{\text{П}} = 0,39$  мм поверхности при  $S_{\text{д}} = 3$  об/мин. При фиксировании основных факторов на максимальных значениях  $B = 0,5$  Тл,  $V_3 = 0,1$  м/с,  $Ж = 60$  с наблюдалось повышение размаха шероховатости до  $0,74$  мм при  $S_{\text{д}} = 1,5$  об/мин.

В промышленных условиях, на предприятиях сборного железобетона, а также при индивидуальном строительстве не всегда существует возможность соблюдать технические условия обработки бетонных поверхностей. Многие из параметров в силу объективных причин отклоняются от оптимальных значений случайным образом или целенаправленно. При этом качество обрабатываемой поверхности ухудшается. Однако путем изменения значений остальных параметров все же возможно приблизиться к наилучшему результату.

Взаимодействие электромагнитной индукции  $B$  и жесткости бетонной смеси  $Ж$  показывает, как их сочетание может значительно влиять на процесс обработки. Так, при увеличении магнитной индукции  $B$  от  $0,25$  до  $0,5$  Тл бетонная смесь достаточно активировалась магнитным полем.

При этом наблюдались некоторое погружение заглаживающего диска в бетонную смесь, появление волнообразований, относительно крупных флюкул, пустот на поверхности, которые образовывались вследствие того, что при заданных значениях  $B$  подвижность бетонной смеси увеличивалась. Размах шероховатости при изменении  $B$  и  $Ж$  в заданных интервалах варьирования от  $0,27$  до  $0,55$  мм составил  $0,28$  мм. Наихудшее качество поверхностного слоя зафиксировано при сочетании данных факторов в следующих значениях:  $x_1 = 1$  ( $B = 0,5$  Тл) и  $x_2 = -1$  ( $Ж = 10$  с). Наиболее удобное сочетание данных факторов, при которых достигалось наилучшее качество поверхности, соответствует  $x_1 = 0$  ( $B = 0,3$  Тл) и  $x_2 = 1$  ( $Ж = 100$  с).

Наименьшая шероховатость достигалась при  $V_3$  (в кодированном значении  $x_3 = -0,1$ ) и магнитной индукции  $B$  (в кодированном значении  $x_1 = -0,5$ ). При отклонении  $B$  и  $V_3$  от оптимальных значений шероховатость поверхности возрастала до  $0,8-0,9$  мм.

При взаимодействии скорости заглаживания  $V_3$  и жесткости бетонной смеси  $Ж$  видно, что максимальное значение шероховатости  $R_{\text{П}} = 0,92$  мм достигалось при значениях факторов  $x_2 = -1$  и  $x_3 = 1$  в кодированных значениях или  $V_3 = 0,01$  м/с и  $Ж = 10$  с в реальных значениях. Минимальное значение  $R_{\text{П}} < 0,3$  мм, т. е. наилучшее качество обработки, получалось при  $V_3 = 0,04$  м и  $Ж = 60$  с.

Взаимодействие факторов  $x_3$  (скорость заглаживания  $V_3$ ) и  $x_4$  (скорость вращения диска  $S_{\text{д}}$ ) на процесс обработки выражается в следующем: при увеличении скорости заглаживания времени для магнитной активации бетона становится недостаточно, что приводит к уменьшению подвижности бетонной смеси, и, тем самым, к увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности. Размах шероховатости при изменении  $V_3$  и постоянной  $S_{\text{д}}$  составил  $0,39$  мм.

#### Выводы

1. Результаты экспериментальных исследований доказали эффективность применения электромагнитного активатора. В процессе обработки незатвердевшей бетонной поверхности дисковым рабочим органом с электромагнитным активатором происходит ее магнитная активация, и, как результат, увеличение прочности бетона на  $7-12$  %; сокращение сроков твердения бетона на  $6-7$  суток.

2. Установлено, что подвижность бетона увеличивается, происходит механическое перераспределение компонентов смеси в более плотную упаковку, а к поверхности трения вытесняется цементно-песчаное тесто, благодаря чему качество обработанной поверхности улучшается. При этом шероховатость поверхности снижается на  $10-15$  %.

3. На основании полученных экспериментальных данных получена математическая модель изменения шероховатости поверхности бетонного изделия при варьировании основных параметров дискового рабочего органа с электромагнитным активатором.

4. Определено оптимальное значение величины магнитной индукции, оно находится в пределах  $0,33 - 0,5$  Тл. Выход за пределы предложенных величин приводит к уменьшению эффективности магнитной активации бетона, и, как следствие, к ухудшению качества обработанных бетонных поверхностей.

5. Установлены оптимальные значения скорости заглаживания ( $v_3 = 0,015$  м/с), жесткости бетонной смеси ( $Ж = 56$  с), скорости вращения диска ( $S_{\text{д}} = 4$  об/сек), при которых достигается наименьшая шероховатость поверхности  $R_{\text{П}} = 0,31$  мм, максимальная прочность бетона  $R_{\text{сж}} = 40$  МПа.

## Литература

1. Болотный А.В. Заглаживание бетонных поверхностей. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. 128 с.
2. Белокобыльский С.В., Кашуба В.Б., Ситов И.С. Повышение прочностных характеристик бетонного изделия обработкой его поверхности высокочастотным рабочим органом бетоноотделочной машины // Вестн. машиностроения. 2008. № 1. С. 83-85.
3. Белокобыльский С.В., Мамаев Л.А., Кашуба В.Б., Ситов И.С. Вибрационная технологическая машина с управляемым динамическим состоянием для поверхностной обработки упруговязкопластичных сред // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 1. С. 5.
4. Герасимов С. Н. Определение рациональных параметров и режимов работы вибрационного дискового рабочего органа для обработки бетонных поверхностей: дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 2003. 210 с.
5. Кашуба В.Б. Разработка методологических основ создания бетоноотделочных машин с дисковыми высокочастотными рабочими органами: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2008. 205 с.
6. Мамаев Л.А. Методология совершенствования теории взаимодействия рабочих органов бетоноотделочных машин с поверхностью обрабатываемых сред: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2007. 360 с.
7. Мамаев Л.А., Федоров В.С., Герасимов С.Н. Инновационные технологии обработки поверхностей бетонных изделий // Строительные и дорожные машины. 2010. № 3. С. 8-12.
8. Ситов И.С. Динамика взаимодействия брусочного рабочего органа бетоноотделочной машины с обрабатываемой средой: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2008. 197 с.
9. Федоров В.С. Совершенствование процесса и агрегата финишной обработки не затвердевших бетонных поверхностей: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2011. 167 с.

## References

1. Bolotny A.V. Float finish. L.: Stroyizdat. Leningr. otd-niye, 1979. 128 p.
2. Belokobylsky S.V., Kashuba V.B., Sitov I.S. Improvement in strength characteristics of a concrete product by means of processing its surface with a high-frequency operating device of a concrete-finishing machine // Vestn. mashinostroeniya. 2008. № 1. P. 83-85.
3. Belokobylsky S.V., Mamaev L.A., Kashuba V.B., Sitov I.S. Vibratory production machine with a controlled dynamic state for elastoviscoplastic medium surfacing // Sovremennye naukoemkieologii. 2009. № 1. P. 5.
4. Gerasimov S.N. Determination of the rational parameters and operating modes of a vibration disk-type operating device to process concrete surfaces: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Khabarovsk, 2003. 210 p.
5. Kashuba V.B. Elaboration of the methodological foundation to design concrete-finishing machines equipped with vibration disk-type operating device: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Bratsk, 2008. 205 p.
6. Mamaev L.A. Methodology to improve the theory of interaction of the operating devices of concrete-finishing machines and the working mediums surface: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Science. SPb.: SPb GASU, 2007. 360 p.
7. Mamaev L.A., Fedorov V.S., Gerasimov S.N. Innovative technology for processing concrete products surfaces // Stroitelnye i dorozhnye mashiny. 2010. № 3. P. 8-12.
8. Sitov I.S. The interaction dynamics of a beam-type operating device of a concrete-finishing machine and the working medium: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Bratsk, 2008. 197 p.
9. Fedorov V.S. Improvement of the process and the device for finishing the unhardened concrete surfaces: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Bratsk, 2011. 167 p.

УДК 691.327

## Оценка надежности работы роторных экскаваторов

В.Н. Анферов<sup>1,а</sup>, С.И. Васильев<sup>2,б</sup>, С.М. Кузнецов<sup>1,с</sup><sup>1</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Д. Ковальчук 191, Новосибирск, Россия<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 78, Красноярск, Россия<sup>а</sup>avn43@mail.ru, <sup>б</sup>S-vasilev1@yandex.ru, <sup>с</sup>ksm56@yandex.ru

Статья получена 17.10.2013, принята 15.01.2014

*В статье предложен алгоритм обработки выборок, построения регрессионных уравнений, доверительных интервалов и оценки надежности работы роторных экскаваторов. С помощью этого алгоритма можно рассчитать основные показатели выборок натурных испытаний работы роторных экскаваторов, построить регрессионные уравнения и оценить надежность работы роторных экскаваторов и других строительных машин на любом объекте. Это позволит достоверно прогнозировать срок производства строительно-монтажных работ еще на стадии проектирования строительства. В статье определены показатели технической и организационно-технологической надежности работы машин. Для оценки надежности технологического процесса предложено понятие надежности как вероятности достижения машинами и механизмами конечной цели при выполнении проекта производства работ. Основными факторами надежности работы строительных машин являются коэффициенты использования их по времени и готовности к работе. Для оценки надежности работы строительных машин создана база данных по результатам натурных испытаний роторных экскаваторов при производстве земляных работ в Красноярском крае. Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натурных испытаний проводились два этапа проверки: логический и математический. После формирования выборки в соответствии с ГОСТ 8.207-76 с помощью критерия согласия Пирсона проверялась принадлежность закону нормального распределения. При этом были построены регрессионные уравнения для коэффициентов использования машин по времени в зависимости от коэффициентов готовности машин. Использование предлагаемого подхода к оценке надежности работы роторных экскаваторов может быть распространено на любой тип техники и позволит получить численные значения оценки надежности, что весьма актуально при выборе машин и механизмов для строительства.*

**Ключевые слова:** организационно-технологическая надежность, организационно-технологический риск, строительные машины.