

УДК 629.114

Сахаров Р.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: rustem@sakharov.ru

Махмутов М.М. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: maratmax@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Влияние исследуемых факторов на производительность дорожной фрезы**Аннотация**

В статье приведены факторы, влияющие на производительность дорожной фрезы. При проведении экспериментальных исследований разработан эксперимент [1], то есть уровни варьирования факторов изменяли целенаправленно в зависимости от условий проведения каждого опыта. Были реализованы композиционные В-планы (планы Бокса) второго порядка.

Получена модель, отражающая в закодированном виде влияние значимых факторов на производительность дорожной фрезы. На основании экспериментальных данных были построены графики зависимости радиуса барабана, частоты вращения фрезы, глубины фрезерования и поступательной скорости на производительность дорожной фрезы. Проверка с помощью критерия Фишера и Стьюдента ($F_t=2,30$) гипотезы ($F_p=2,27$) адекватности модели (1) (табл. 4) показала пригодность ее использования в качестве прогнозирования производительности дорожной фрезы с доверительной вероятностью 95 %.

Ключевые слова: дорожная фреза, радиус барабана, частота вращения фрезы, глубина фрезерования, КПД, критерий Фишера.

При проведении экспериментальных исследований разработан эксперимент [1], то есть уровни варьирования факторов изменяли целенаправленно в зависимости от условий проведения каждого опыта. Были реализованы композиционные В-планы (планы Бокса) второго порядка.

В табл. 1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование уровней	Обозначения	Факторы			
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Нижний	-1	0,3	60	40	0,1
Центральный	0	0,35	80	50	0,15
Верхний	+1	0,4	100	60	0,2
Интерв. варьир.	ΔX	0,05	20	10	0,05

Исследуемые факторы были в закодированном виде и рассчитывались по следующим формулам:

$$X_1 = \frac{R - 0,35}{0,05}, X_2 = \frac{n - 80}{20}, X_3 = \frac{h_o - 50}{10}, X_4 = \frac{V_n - 0,15}{0,05}.$$

Влияние радиуса барабана, частоты вращения фрезы, глубины фрезерования, поступательной скорости на производительность оценивалось после обработки результатов опытов (табл. 1) по разработанному плану матрицы четырехфакторного эксперимента [1, 7].

Сравнение коэффициентов регрессии при факторах, рассчитанных по плану второго порядка с соответствующим доверительным интервалом, показывает, что наибольшее влияние на величину производительности оказывает фактор поступательной скорости, а наименьшее оказывает фактор глубины фрезерования и составляет 27,8 % от наиболее значимого фактора. Влияние радиуса барабана и частоты вращения фрезы соответственно ниже в 2,9 и 2,1 раза от наиболее значимого фактора (табл. 3).

Постановка эксперимента с реализацией центральных композиционных планов второго порядка позволяет также выявить влияние квадратов. Практически одинаковое влияние на производительность оказывают факторы радиуса барабана и поступательной скорости. Значение частоты вращения фрезы ниже в 1,4 раза от наиболее значимого

фактора. Остальные значения коэффициентов регрессии глубины фрезерования в условиях проведения экспериментальных исследований имели показатели ниже доверительного интервала [3, 4, 5], значения, которых приведены в таблице 4.

Что же касается коэффициентов факторов при парных взаимодействиях, то значимыми среди исследуемых факторов являются радиус барабана с поступательной скоростью. Влияние парных факторов радиуса барабана и частоты вращения и частоты вращения одинаково и составляет 25 % от наиболее значимых факторов. Значимость остальных факторов в рассматриваемых диапазонах варьирования меньше доверительного интервала и не представляет интереса для исследования.

Таким образом, модель, отражающая в закодированном виде влияние значимых факторов на производительность, будет иметь вид:

$$W_{\text{ч}} = 108,17 - 0,18X_1 + 0,13X_2 + 0,1X_3 + 0,378X_4 + 0,05X_1^2 + 0,05X_4^2 + 0,008X_1X_4. \quad (1)$$

В результате анализа математической модели (1) установлено, что с увеличением радиуса барабана производительность повышается по экспоненциальной зависимости (рис. 1). При частоте вращения фрезы $n=80$ об/мин и с увеличением радиуса барабана R в диапазоне $0,3 \leq R \leq 0,35$ м производительность увеличивается на $0,25$ м³/ч.

Таблица 2

Результаты значений производительности

№ п/п	Исследуемые параметры				Результаты значений производительности $W_{\text{ч}}$, м ³ /ч			Сред. знач. $W_{\text{ч}}$, м ³ /ч	Сред. квад. откл.	Абс. погр. ΔX , %	Отн. погр. δ , %
	X_1	X_2	X_3	X_4	1	2	3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	107,17	107,15	107,19	107,17	0,011	0,049	0,04
2	+	-	-	-	107,33	107,35	107,37	107,35	0,0116	0,049	0,04
3	-	+	-	-	107,36	107,40	107,38	107,38	0,0116	0,049	0,04
4	-	-	+	-	107,2	107,4	107,3	107,3	0,00577	0,25	0,23
5	+	+	-	+	108,1	107,9	108,0	108,0	0,00577	0,25	0,23
6	-	+	+	-	107,37	107,36	107,38	107,37	0,00577	0,24	0,23
7	+	-	+	-	107,37	107,41	107,39	107,39	0,0115	0,049	0,04
8	+	+	+	+	108,4	108,7	109,0	108,7	0,173	0,75	0,69
9	-	0	0	-	107,34	107,36	107,38	107,36	0,0115	0,049	0,04
10	+	0	0	+	108,15	108,14	108,13	108,14	0,000577	0,24	0,23
11	0	-	0	+	108,09	108,07	109,1	108,09	0,34	1,46	0,0135
12	0	+	0	-	107,37	107,38	107,36	107,37	0,00577	0,24	0,023
13	0	0	-	+	108,16	108,18	109,0	108,18	0,3234	1,39	0,0128
14	0	0	+	+	109,0	108,09	108,08	108,09	0,305	1,31	0,0121
15	0	0	0	+	108,10	108,12	108,14	108,12	0,0155	0,049	0,046
16	0	0	0	+	108,2	108,3	108,4	108,3	0,0577	0,25	0,23
17	0	0	0	0	108,76	108,75	108,74	108,76	0,0577	0,024	0,02
18	0	0	0	0	107,73	107,71	107,75	107,73	0,01155	0,049	0,046
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	0	0	0	0	107,4	107,6	107,2	107,4	0,115	0,5	0,0046
20	0	0	0	0	107,7	107,5	107,6	107,6	0,0577	0,25	0,0023
21	0	0	0	0	107,74	107,72	107,76	107,74	0,01155	0,049	0,04
22	0	0	0	0	107,74	107,75	107,76	107,75	0,0577	0,024	0,0023
23	0	0	0	0	107,37	107,38	107,36	107,37	0,000577	0,024	0,23
24	0	0	0	0	108,1	108,3	108,2	108,2	1,0	4,3	0,04
25	0	0	0	0	107,72	107,75	107,78	107,75	0,017	0,074	0,069

Таблица 3

Коэффициенты уравнения регрессии производительности

№ п/п	Наименование коэффициентов	Обозначение	Значение коэффиц.
1	2	3	4
1	Свободный член	B_0	+ 108,17
Коэффициенты при факторах			
2	Радиус барабана, R	B_1	+0,18
3	Частоты вращения фрезы, n	B_2	+0,13
4	Глубина фрезерования, h_0	B_3	+0,10
5	Поступательная скорость, V_{II}	B_4	+0,378
Коэффициенты квадратов при факторах			
6	Радиус барабана, R	B_{11}	+0,05
7	Частоты вращения фрезы, n	B_{22}	+0,035
8	Глубина фрезерования, h_0	B_{33}	+0,004
9	Поступательная скорость, V_{II}	B_{44}	+0,05
Коэффициенты факторов при парных взаимодействиях			
10	R и n	B_{12}	+0,006
11	R и h_0	B_{13}	+ 0,004
12	R и V_{II}	B_{14}	+ 0,008
13	n и h_0	B_{23}	+0,005
14	n и V_{II}	B_{24}	+0,006
15	h_0 и V_{II}	B_{34}	+0,005

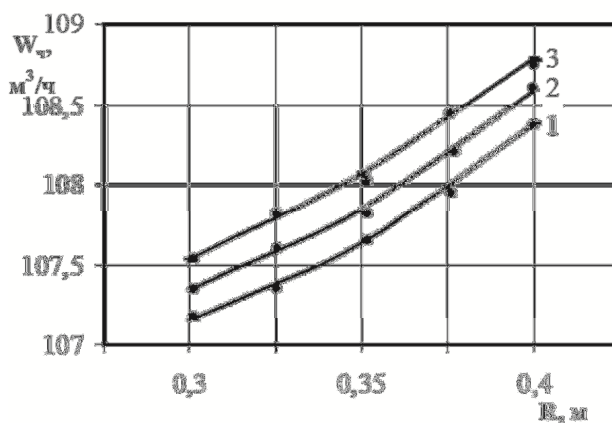


Рис. 1. Влияние радиуса барабана фрезы на производительность при:
1 – n = 60 об/мин; 2 – n = 80 об/мин; 3 – n = 100 об/мин

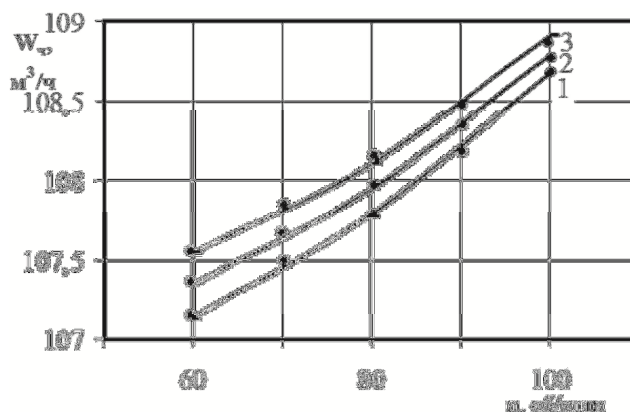


Рис. 2. Влияние частоты вращения фрезы на производительность
в зависимости от радиуса барабана: 1 – R = 0,3 м; 2 – R = 0,35 м; 3 – R = 0,4 м

При частоте вращения фрезы $n=60$ об/мин и с увеличением радиуса барабана R в диапазоне $0,3 \leq R \leq 0,35$ м производительность увеличивается на $0,2$ м³/ч, а при $0,35 \leq R \leq 0,4$ м – на $0,29$ м³/ч. При частоте вращения фрезы $n=100$ об/мин и с увеличением радиуса барабана R в диапазоне $0,3 \leq R \leq 0,35$ м производительность увеличивается на $0,16$ м³/ч, а при $0,35 \leq R \leq 0,4$ м – на $0,17$ м³/ч.

На рис. 2 представлена графическая зависимость влияния частоты вращения фрезы на производительность. Установлено, что с увеличением частоты вращения фрезы производительность увеличивается по экспоненциальной зависимости. При радиусе барабана $R=0,3$ м производительность для интервала $60 \leq n \leq 80$ об/мин, увеличивается на $0,5$ м³/ч, а при $80 \leq n \leq 100$ об/мин – на $0,6$ м³/ч. При радиусе барабана R производительность для интервала $60 \leq n \leq 80$ об/мин, увеличивается на $0,15$ м³/ч, а при $80 \leq n \leq 100$ об/мин – на $0,10$ м³/ч.

На рис. 3 представлена графическая зависимость влияния глубины фрезерования на производительность. Установлено, что с увеличением глубины фрезерования производительность независимо от радиуса барабана уменьшается по параболической зависимости. При радиусе барабана $R=0,3$ м производительность при глубине фрезерования $40 \leq h_0 \leq 50$ мм, уменьшается на $0,13$ м³/ч, а при $50 \leq h_0 \leq 60$ мм – на $0,14$ м³/ч. При радиусе барабана $R = 0,35$ м производительность для интервала $40 \leq h_0 \leq 50$ мм, снижается на $0,17$ м³/ч, а при $50 \leq h_0 \leq 60$ мм – на $0,19$ м³/ч. При радиусе барабана $R=0,4$ м производительность для интервала $40 \leq h_0 \leq 50$ мм, снижается на $0,45$ м³/ч, а при $0,15 \leq h_0 \leq 0,2$ м – на $0,35$ м³/ч.

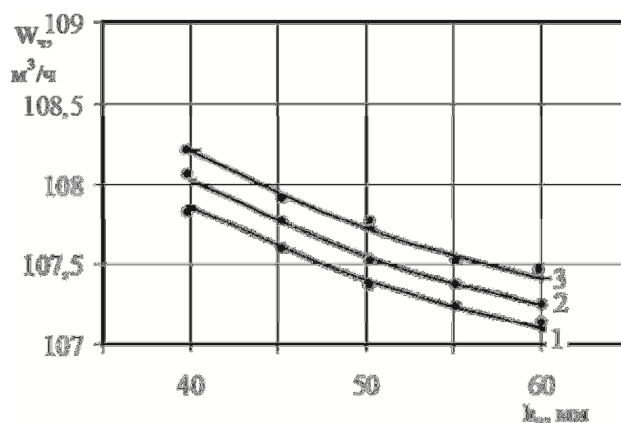


Рис. 3. Влияние глубины фрезерования на производительность в зависимости от радиуса барабана:
1 – $R = 0,3$ м; 2 – $R = 0,35$ м; 3 – $R = 0,4$ м

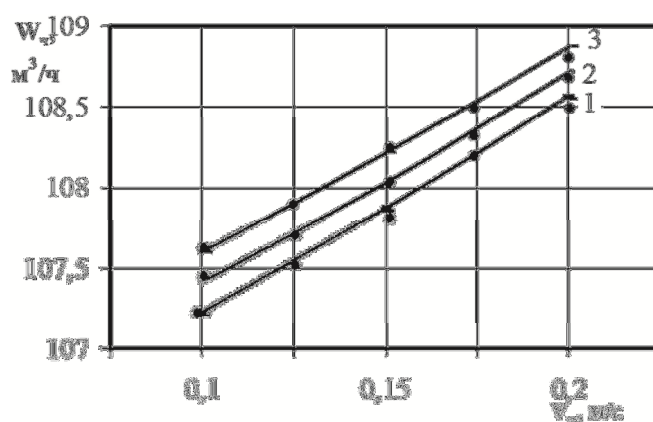


Рис. 4. Влияние поступательной скорости на производительность в зависимости от радиуса барабана: 1 – $R = 0,3$ м; 2 – $R = 0,35$ м; 3 – $R = 0,4$ м

На рис. 4 представлена графическая зависимость влияния поступательной скорости на производительность. Установлено, что с увеличением поступательной скорости

производительность увеличивается линейно. При радиусе барабана $R=0,3$ м производительность при поступательной скорости $0,1 \leq V_{п} \leq 0,15$ м/с, увеличивается на $0,2$ м³/ч, а при $0,15 \leq V_{п} \leq 0,2$ м/с – на $0,30$ м³/ч. При радиусе барабана $R=0,35$ м производительность для интервала $0,1 \leq V_{п} \leq 0,15$ м/с, увеличивается на $0,2$ м³/ч, а при $0,15 \leq V_{п} \leq 0,2$ м/с – на $0,21$ м³/ч. Для интервала $0,1 \leq V_{п} \leq 0,15$ м/с и при радиусе барабана производительность увеличивается на $0,27$ м³/ч, а при $0,15 \leq V_{п} \leq 0,2$ м/с – на $0,29$ м³/ч.

Таблица 4

Значения критических областей коэффициентов регрессии и критерия Фишера экспериментальных уравнений регрессии при доверительной вероятности 95 %

№ п/п	Название экспериментальной модели и ее номер	Коэффициенты			Крит. Фишера расчет.
		факторов	квадратов	парных взаимод.	
1	2	3	4	5	6
1	Производительность дорожной фрезы $W_{ч}$, м ³ /ч	0,41	0,03	0,006	0,57

Заключение

1. В результате математической модели (1) установлено, что повышение производительности агрегата объясняется увеличением КПД дорожной фрезы [8], повышением действия подталкивающей силы за счет увеличения его параметров. При радиусе барабана $R=0,3$ м производительность при поступательной скорости $0,1 \leq V_{п} \leq 0,15$ м/с, увеличивается на $0,2$ м³/ч, а при $0,15 \leq V_{п} \leq 0,2$ м/с – на $0,30$ м³/ч. При радиусе барабана $R=0,35$ м производительность для интервала $0,1 \leq V_{п} \leq 0,15$ м/с, увеличивается на $0,2$ м³/ч, а при $0,15 \leq V_{п} \leq 0,2$ м/с – на $0,21$ м³/ч. Для интервала $0,1 \leq V_{п} \leq 0,15$ м/с и при радиусе барабана производительность увеличивается на $0,27$ м³/ч, а при $0,15 \leq V_{п} \leq 0,2$ м/с – на $0,29$ м³/ч.

2. Проверка с помощью критерия Фишера и Стьюдента ($F_t=2,30$) гипотезы ($F_p=2,27$) адекватности модели (1) (таблица П.4) показала пригодность ее использования в качестве прогнозирования производительности дорожной фрезы с доверительной вероятностью 95 %.

Список библиографических ссылок

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. и др. Машины для земляных работ. – М.: Машиностроение, 1964. – 467 с.
3. ГОСТ 11.004-2011. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 20 с.
4. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.
5. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 18 с.
6. ГОСТ 27247-87. (ИСО 7464-83) Метод определения тяговой характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
7. Дружинин Н.К. Выборочное наблюдение и эксперимент. – М.: Статистика, 1977. – 176 с.
8. Карошкин А.А., Краснолудский А.В. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: определение рациональных параметров эксцентричной дорожной фрезой. – 95 с.

Sakhapov R.L. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: rustem@sakhapov.ru

Makhmutov M.M. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: maratmax@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Analysis of factors affecting the reference of cross road-building machine

Resume

The article describes the factors that affect the performance of road cutters. When conducting experimental research developed an experiment [1], i.e. the variation levels of the factors changed purposeful-but depending on the conditions of each experience. Compositional-plans (Boxing) the second order were implemented.

The resulting model, reflecting in coded form, the influence of relevant factors on performance of road cutters. On the basis of experimental data were graphs of the dependence of the radius of the drum, the rotational speed of the cutter, the milling depth and forward speed on the performance of road cutters.

Validation using Fisher's exact test and student's t ($F_t=2,30$) hypothesis ($F_p=2,27$) the adequacy of the model (1) (table 4) showed the suitability of its use as a forecasting performance road cutters with confidence probability of 95 %.

Keywords: road milling machine, the radius of the drum, the rotational speed of the milling cutter, milling depth, efficiency, Fisher's criterion.

Reference list

1. Adler Iu.P., Markova E.V., Granovsky Iu.V. Planning experiment in the search for optimal conditions. – M.: Nauka, 1976. – 279 p.
2. Alekseeva T.V., Artemyev K.A., Bromberg A.A. and other. Machines for excavation RA-bot. – M.: Mashinostroenie, 1964. – 467 p.
3. GOST 11.004-2011. Applied statistics. The rules for determining assessments and credentials bounds for parameters of the normal distribution. – M.: Publishing house of standards, 1979. – 20 p.
4. GOST 8.207-76 State system for ensuring the uniformity of measurements. Direct measurement with multiple observations. Methods of processing results to the observations. – M.: Publishing house of standards, 1976. – 7 p.
5. GOST 24026-80. Research trials. The planning of the experiment. Terms and definitions. – M.: Publishing house of standards, 1980. – 18 p.
6. GOST 27247-87. (ISO 7464-83) the Method of determining the tractive force. – M.: Publishing house of standards, 1988. – 15 p.
7. Druzhinin N.K. Selective observation and experiment. – M.: Statistics, 1977. – 176 p.
8. Kurochkin A.A., Krasnolutski A.V. Diss. of research scientific degree cand. tech. sci.: determination of rational parameters eccentric mill road. – 95 p.