

УДК 629.114

ВЛИЯНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ФАКТОРОВ НА МОЩНОСТЬ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

© 2015 Р.Л. Сахапов, М.М. Махмутов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 26.03.2015

В статье приведены факторы, влияющие на мощность фрезерования. При проведении экспериментальных исследований разработан факторный эксперимент [1]. Были реализованы композиционные В-планы (планы Бокса) второго порядка. Получена модель, отражающая в закодированном виде влияние значимых факторов на мощность фрезерования. На основании экспериментальных данных построены графики зависимости радиуса фрезерования, частоты вращения фрезы, глубины фрезерования и ширины разрушаемой полосы асфальтобетона на мощность фрезерования. Проверка с помощью критерия Фишера и Стьюдента ($F_i=2,30$) гипотезы ($F_p=2,27$) адекватности модели показала пригодность ее использования в качестве прогнозирования мощности дорожной фрезы с доверительной вероятностью 95%.

Ключевые слова: *мощность фрезерования, радиус, частота вращения, фреза*

При проведении экспериментальных исследований разработан факторный эксперимент [1] и были реализованы композиционные В-планы (планы Бокса) второго порядка. В табл. 1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов. Исследуемые факторы были в закодированном виде и рассчитывались по следующим формулам:

$$X_1 = \frac{R-0,3}{0,02}, \quad X_2 = \frac{n-60}{20}, \quad X_3 = \frac{h_o-50}{10}, \quad X_4 = \frac{B-0,7}{0,05}.$$

Влияние радиуса фрезерования, частоты вращения фрезы, глубины фрезерования, ширины разрушаемой полосы асфальтобетона на мощность оценивалось после обработки результатов опытов (табл. 1) по разработанному плану матрицы четырехфакторного эксперимента [1, 2, 7]. Сравнение коэффициентов регрессии при факторах, рассчитанных по плану второго порядка с соответствующим доверительным интервалом, показывает, что наибольшее влияние на величину мощности оказывает фактор ширины разрушаемой полосы асфальтобетона, а наименьшее оказывает фактор глубины фрезерования и составляет 27,8% от наиболее значимого фактора. Влияние радиуса фрезерования 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 мощность оказывают факторы радиуса фрезерования

и ширины разрушаемой полосы асфальтобетона. Значение частоты вращения фрезы ниже в 1,4 раза от наиболее значимого фактора. Остальные значения коэффициентов регрессии в условиях проведения экспериментальных исследований имели показатели ниже доверительного интервала [3-5], значения, которых приведены в табл. 4.

Что же касается коэффициентов факторов при парных взаимодействиях, то значимыми среди исследуемых факторов являются радиус фрезерования с шириной разрушаемой полосы асфальтобетона. Влияние парных факторов радиуса фрезерования с частотой вращения и частоты вращения с шириной разрушаемой полосы асфальтобетона 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 мощность, будет иметь вид:

$$N_{\phi} = 9780 - 0,18X_1 + 0,13X_2 + 0,1X_3 + 0,378X_4 + 0,05X_1^2 + 0,05X_4^2 + 0,008X_1X_4 \quad (1)$$

В результате анализа математической модели (1) установлено, что с увеличением радиуса фрезерования мощность повышается по экспоненциальной зависимости (рис. 1). При частоте вращения фрезы $n=40$ об/мин и с увеличением радиуса фрезерования R в диапазоне $0,28 \leq R \leq 0,3$ м мощность увеличивается на 10 Вт.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование уровней	Обозначения	Факторы			
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
нижний	-1	0,28	46	40	0,65
центральный	0	0,30	60	50	0,70
верхний	+1	0,32	80	60	0,75
интервал варьирования	ΔX	0,02	30	20	0,05

Таблица 2. Результаты значений мощности

№п /п	Исследуемые параметры				Результаты значений мощности N, Вт			Сред. знач. N, Вт	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	-	-	-	-	9780,2	9780	9779,8	9780	0,1155	0,337	3,45E·10 ⁻³
2	+	-	-	-	9778	9779	9777	9778	0,577	1,7	1,7·10 ⁻⁴
3	-	+	-	-	9776	9775	9774	9775	0,577	1,7	1,7·10 ⁻⁴
4	-	-	+	-	9780	9781	9779	9780	0,577	1,7	1,7·10 ⁻⁴
5	+	+	-	+	9782	9781	9780	9781	0,577	2,5	2,5·10 ⁻⁴
6	-	+	+	-	9772	9778	9775	9775	1,73	7,5	7,6·10 ⁻⁴
7	+	-	+	-	9773,5	9774,5	9775,5	9774,5	0,577	2,48	2,54·10 ⁻⁴
8	+	+	+	+	9772,5	9773,5	9774,5	9773,5	0,577	2,48	2,54·10 ⁻⁴
9	-	0	0	-	9777	9776	9775	9776	0,577	2,5	2,5·10 ⁻⁴
10	+	0	0	+	9773	9777	9781	9777	2,31	9,9	0,001
11	0	-	0	+	9784	9782	9780	9782	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴
12	0	+	0	-	9783	9782	9784	9783	0,577	5,0	2,5·10 ⁻⁴
13	0	0	-	+	9784	9785	9783	9784	0,577	2,5	2,5·10 ⁻⁴
14	0	0	+	+	9785	9788	9782	9785	1,73	7,5	7,6·10 ⁻⁴
15	0	0	0	+	9772	9770	9768	9772	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴
16	0	0	0	+	9774	9776	9772	9774	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴
17	0	0	0	0	9778	9774	9776	9776	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴
18	0	0	0	0	9786	9784	9785	9785	0,577	2,5	2,5·10 ⁻⁴
19	0	0	0	0	9784	9786	9788	9786	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴
20	0	0	0	0	9785,3	9785,5	9785,7	9785,5	0,1155	0,497	5,08·10 ⁻³
21	0	0	0	0	9777	9783	9780	9783	1,73	7,5	7,6·10 ⁻⁴
22	0	0	0	0	9787,1	9787,5	9787,9	9787,5	0,2309	0,994	1·10 ⁻⁴
23	0	0	0	0	9776	9772	9774	9774	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴
24	0	0	0	0	9774	9776	9775	9775	0,577	2,5	2,5·10 ⁻⁴
25	0	0	0	0	9780	9776	9778	9778	1,15	5,0	5,1·10 ⁻⁴

При частоте вращения фрезы n=60 об/мин. и с увеличением радиуса фрезерования R в диапазоне 0,3≤R≤0,32 м мощность увеличивается на 12 Вт, а при 0,3≤R≤0,32 м – на 14 Вт. При частоте вращения фрезы n=80 об/мин. и с увеличением радиуса фрезерования R в диапазоне 0,3≤R≤0,32 м мощность увеличивается на 14 Вт, а при 0,3≤R≤0,32 м – на 15 Вт. На рис. 2 представлена графическая зависимость влияния частоты вращения фрезы на мощность. Установлено, что с увеличением частоты вращения фрезы мощность увеличивается по экспоненциальной зависимости. При радиусе барабана R=0,3 м мощность для интервала 40≤n≤60 об/мин, увеличивается на 10 Вт, а при 60≤n≤80 об/мин – 12 Вт. При радиусе барабана R мощность для ин-

тервала 40≤n≤60 об/мин, увеличивается на 12 Вт, а при 60≤n≤80 об/мин – на 14 Вт.

На рис. 3 представлена графическая зависимость влияния глубины фрезерования на мощность. Установлено, что с увеличением глубины фрезерования мощность независимо от радиуса фрезерования уменьшается по параболической зависимости. При радиусе барабана B = 0,65 м мощность при глубине фрезерования 40≤h₀≤50 мм, увеличивается на 12 Вт, а при 50≤h₀≤60 мм – на 14 Вт. При радиусе барабана B=0,7 м мощность для интервала 40≤h₀≤50 мм, увеличивается на 14 Вт, а при 50≤h₀≤60 мм – на 15 Вт. При радиусе барабана B=0,75 м мощность для интервала 40≤h₀≤50 мм снижается на 0,45 м³/ч, а при 0,15≤h₀≤0,2 м – на 0,35 м³/ч.

Таблица 3. Коэффициенты уравнения регрессии мощности

№ п/п	Наименование коэффициентов	Обозначение	Значение коэффициентов
1	свободный член	B_0	+ 9780
коэффициенты при факторах			
2	радиус фрезерования, R	B_{11}	+0,18
3	частота вращения фрезы, n	B_{22}	+0,13
4	глубина фрезерования, h_0	B_{33}	+0,10
5	ширина разрушаемой полосы асфальтобетона, B	B_{44}	+0,378
коэффициенты квадратов при факторах			
6	радиус фрезерования, R	B_{11}	+0,05
7	частота вращения фрезы, n	B_{22}	+0,004
8	глубина фрезерования, h_0	B_{33}	+0,035
9	ширина разрушаемой полосы асфальтобетона, B	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 B	B_{14}	+ 0,008
13	n и h_0	B_{23}	+0,005
14	n и B	B_{24}	+0,006
15	h_0 и B	B_{34}	+0,005

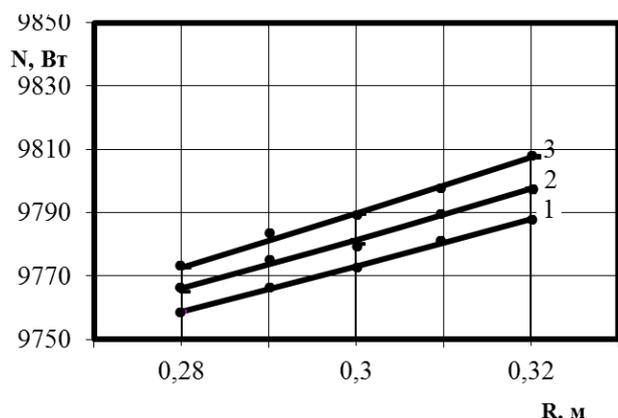


Рис. 1. Влияние радиуса фрезерования на мощность при: 1 – n=40 об/мин; 2 – n=60 об/мин; 3 – n=80 об/мин.

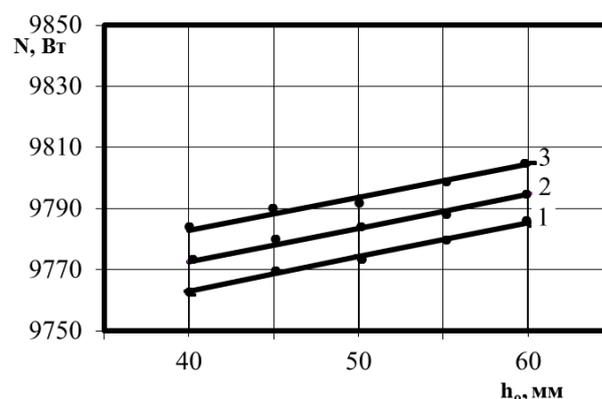


Рис. 3. Влияние глубины фрезерования на мощность в зависимости от радиуса фрезерования: 1 – $B=0,65$ м; 2 – $B=0,7$ м; 3 – $B=0,75$ м.

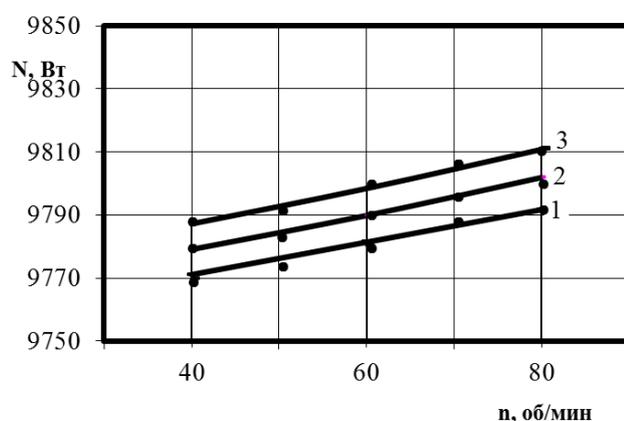


Рис. 2. Влияние частоты вращения фрезы на мощность в зависимости от радиуса фрезерования: 1 – R=0,3 м; 2 – R=0,35 м; 3 – R=0,4 м.

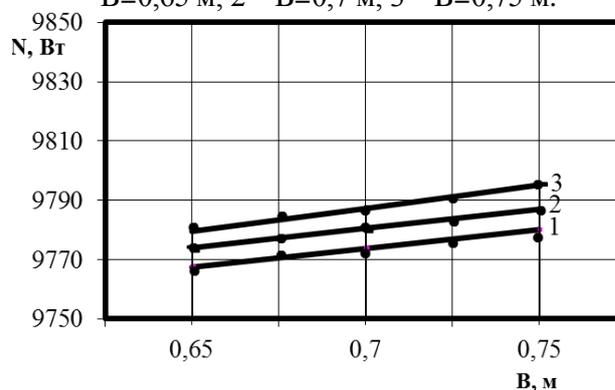


Рис. 4. Влияние ширины разрушаемой полосы асфальтобетона на мощность в зависимости от глубины фрезерования: 1 – $h_0=40$ мм; 2 – $h_0=50$ мм; 3 – $h_0=50$ мм

На рис. 4 представлена графическая зависимость влияния ширины разрушаемой полосы асфальтобетона на мощность. Установлено, что с увеличением ширины разрушаемой полосы асфальтобетона мощность увеличивается по квадратичной зависимости. При глубине фрезерования $h_0=40$ мм мощность при ширины разрушаемой полосы асфальтобетона $0,65 \leq B \leq 0,7$ м

увеличивается на 12 Вт, а при $0,7 \leq B \leq 0,75$ – на 14 Вт. При глубине фрезерования $h_0=50$ мм мощность для интервала $0,65 \leq B \leq 0,7$ м увеличивается на 12 Вт, а при $0,7 \leq B \leq 0,75$ м – 14 Вт. Для интервала $0,65 \leq B \leq 0,7$ м и при глубине фрезерования 60 мм мощность увеличивается на 14 Вт, а при $0,65 \leq B \leq 0,7$ м – на 15 Вт.

Таблица 4. Значения критических областей коэффициентов регрессии и критерия Фишера экспериментальных уравнений регрессии при доверительной вероятности 95%

Название экспериментальной модели и ее номер	Коэффициенты			Крит. Фишера расчет.
	факторов	квадратов	парных взаимодей.	
мощность фрезерования n , Вт	00,8	0,004	0,055	0,57

Выводы:

1. В результате математической модели (1) установлено, что повышение мощности фрезерования объясняется увеличением силы фрезерования [8] за счет увеличения кинематических параметров фрезы. При радиусе барабана $R=0,28$ м и $0,65 \leq B \leq 0,7$ м, мощность увеличивается на 14 Вт, а при $0,7 \leq B \leq 0,75$ м – на 15 Вт. При глубине фрезерования $h_0=50$ мм мощность для интервала $0,65 \leq B \leq 0,7$ м увеличивается на 12 Вт, а при $0,7 \leq B \leq 0,75$ м – 14 Вт. При частоте вращения фрезы $n=80$ об/мин и с увеличением радиуса фрезерования R в диапазоне $0,3 \leq R \leq 0,32$ м мощность увеличивается на 14 Вт, а при $0,3 \leq R \leq 0,32$ м – на 15 Вт.

2. Проверка с помощью критерия Фишера и Стьюдента ($F_t=2,30$) гипотезы ($F_p=2,27$) адекватности модели показала пригодность ее использования в качестве прогнозирования мощности фрезерования с доверительной вероятностью 95%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М.: Наука, 1976. 279 с.
2. Брехман, А.И. Инновационная модель интеграции образования и бизнеса в дорожно-строительной отрасли / А.И. Брехман, Р.Л. Сахапов, С.Г. Абсалямова // Наука и техника в дорожной отрасли. 2014. №3. С. 39-41.
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. Краснолудский, А.В. Определение рациональных параметров эксцентричной дорожной фрезы. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. – Саратов, 2004. 177 с.

INFLUENCE OF THE STUDIED FACTORS ON MILLING POWER

© 2015 R.L. Sakhapov, M.M. Makhmutov

Kazan State University of Architecture and Engineering

The factors influencing on milling power are given in article. When carrying out pilot studies factorial experiment is developed [1]. Composite B-plans (Boxing plans) of second order were realized. The model reflecting in coded form influence of significant factors on milling power is received. On the basis of experimental data schedules of dependence the radius of milling, frequency of mill rotation, depth of milling and width of destroyed asphalt concrete strip on milling power are constructed. Check by means of Fischer and Student criterion ($F_t=2,30$) of hypothesis ($F_p=2,27$) of model adequacy showed suitability of its use as forecasting the power of road mill with confidential probability of 95%.

Key words: *milling power, radius, rotation frequency, mill*

Rustem Sakhapov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Road and Construction Machines". E-mail: rustem@sakhapov.ru; Marat Makhmutov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department "Road and Construction Machines". E-mail: maratmax@yandex.ru