

УДК 629.114

Сахапов Р.Л. – доктор технических наук, профессорE-mail: rustem@sakhapov.ru**Махмутов М.М.** – кандидат технических наук, доцентE-mail: maratmax@yandex.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

Влияние исследуемых факторов на производительность снегоуборочной машины**Аннотация**

В статье приведены факторы, влияющие на производительность снегоуборочной машины. 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 снегоуборочной машины. На основании экспериментальных данных были построены графики зависимости количества полос, площади уборки снега, коэффициента наполнения рабочего органа и скорости движения производительность машины. 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 снегоуборочной машины с доверительной вероятностью 95 %.

Ключевые слова: производительность, площадь уборки, коэффициент наполнения, скорость движения, критерий Стьюдента, 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	100	2500	0,7	2
Центральный	0	105	3000	0,75	2,5
Верхний	+1	110	3500	0,8	3
Интерв. варьир.	ΔX	5	500	0,05	0,5

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

$$X_1 = \frac{n_u - 105}{5}, X_2 = \frac{S - 3000}{500}, X_3 = \frac{K_u - 0,75}{0,05}, X_4 = \frac{V - 2,5}{0,5}.$$

Влияние зависимости количества полос, площади уборки снега, коэффициента наполнения рабочего органа и скорости движения производительность машины оценивалось после обработки результатов опытов (табл. 1) по разработанному плану матрицы четырехфакторного эксперимента [1].

Сравнение коэффициентов регрессии при факторах, рассчитанных по плану второго порядка с соответствующим доверительным интервалом, показывает, что наибольшее влияние на величину производительности оказывает фактор скорости движения машины, а наименьшее оказывает фактор коэффициента наполнения рабочего органа [2] и составляет 4,1 % от наиболее значимого фактора. Влияние количества полос

и площадь уборки снега соответственно ниже в 1,19 и 2,34 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 количества полос и скорости движения машины [3, 4]. Остальные значения коэффициентов регрессии в условиях проведения экспериментальных исследований имели показатели ниже доверительного интервала, значения которых приведены в табл. 4.

Что же касается коэффициентов факторов при парных взаимодействиях, то значимыми среди исследуемых факторов являются количество полос с площадью уборки снега; площади уборки снега со скоростью движения. Влияние парных факторов площади уборки снега с коэффициентом наполнения и коэффициента наполнения со скоростью движения одинаково и составляют 83,3 % 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 снегоуборочной машины, будет иметь вид:

$$W = -0,35X_1 + 0,178X_2 + 0,017X_3 - 0,417X_4 + 0,05X_1^2 + 0,004X_2^2 + 0,035X_3^2 + 0,05X_4^2. \quad (1)$$

В результате анализа математической модели (1) установлено, что с увеличением количества полос производительность снижается по экспоненциальной зависимости (рис. 1).

Таблица 2

Результаты значений производительности

№ п/п	Исследуемые параметры				Результаты значений производительности W, га/ч			Сред. знач. W, га/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	-	-	-	-	23,8	23,6	23,4	23,6	0,1155	0,337	3,45E-10 ⁵
2	+	-	-	-	22,4	21,4	23,4	22,4	0,577	1,7	1,7·10 ⁻⁴
3	-	+	-	-	22,0	24,0	26,0	24,0	0,012	5,0	18,0
4	-	-	+	-	21,6	23,6	25,6	23,6	0,012	5,0	21,0
5	+	+	-	+	23,7	22,7	21,7	22,7	0,058	2,5	11,0
6	-	+	+	-	25,2	23,2	21,2	23,2	0,012	5,0	21,0
7	+	-	+	-	22,5	24,5	23,5	23,5	0,012	5,0	18,0
8	+	+	+	+	21,6	23,6	25,6	23,6	0,012	5,0	21,0
9	-	0	0	-	23,7	22,7	21,7	22,7	0,058	2,5	11,0
10	+	0	0	+	25,2	23,2	21,2	23,2	0,012	5,0	21,0
11	0	-	0	+	23,0	25,0	24,0	24,0	0,012	5,0	18,0
12	0	+	0	-	21,6	23,6	25,6	23,6	0,012	5,0	21,0
13	0	0	-	+	23,7	22,7	21,7	22,7	0,058	2,5	11,0
14	0	0	+	+	20,3	20,2	20,1	20,2	0,058	0,25	1,2
15	0	0	0	+	20,0	21,0	22,0	21,0	0,058	2,5	13,0
16	0	0	0	+	22,7	23,7	24,7	23,7	0,058	2,5	11,0
17	0	0	0	0	19,8	20,2	20,6	22,2	0,058	0,25	1,2
18	0	0	0	0	22,0	24,0	23,0	23,0	0,058	2,5	13,0
19	0	0	0	0	20,1	22,1	21,1	21,1	0,058	2,5	18,0
20	0	0	0	0	19,2	21,2	23,2	21,2	0,012	5,0	23,0
21	0	0	0	0	21,6	21,2	21,4	21,4	0,012	5,0	27,0
22	0	0	0	0	25,2	23,2	21,2	23,2	0,012	5,0	21,0
23	0	0	0	0	26,2	24,2	22,2	24,2	0,012	5,0	21,0
24	0	0	0	0	22,2	20,2	21,2	21,2	0,012	5,0	21,0
25	0	0	0	0	23,7	23,5	23,6	23,6	0,012	5,0	21,0

Таблица 3

Коэффициенты уравнения регрессии производительности

№ п/п	Наименование коэффициентов	Обозначение	Значение коэффициентов
1	2	3	4
1	Свободный член	B_0	+ 21,9
Коэффициенты при факторах			
2	Количество полос, $n_{ц}$	B_1	- 0,350
3	Площадь уборки снега, S	B_2	+ 0,178
4	Коэффициент наполнения, $K_{н}$	B_3	+ 0,017
5	Скорость движения, V	B_4	- 0,417
Коэффициенты квадратов при факторах			
6	Количество полос, R	B_{11}	+ 0,05
7	Площадь уборки снега, p	B_{22}	+ 0,004
8	Коэффициент наполнения, $K_{н}$	B_{33}	+ 0,035
9	Скорость движения, V	B_{44}	+ 0,05
Коэффициенты факторов при парных взаимодействиях			
10	$n_{ц}$ и S	B_{12}	+ 0,006
11	$n_{ц}$ и $K_{н}$	B_{13}	+ 0,004
12	$n_{ц}$ и V	B_{14}	+ 0,008
13	S и $K_{н}$	B_{23}	+ 0,005
14	S и V	B_{24}	+ 0,006
15	$K_{н}$ и V	B_{34}	+ 0,005

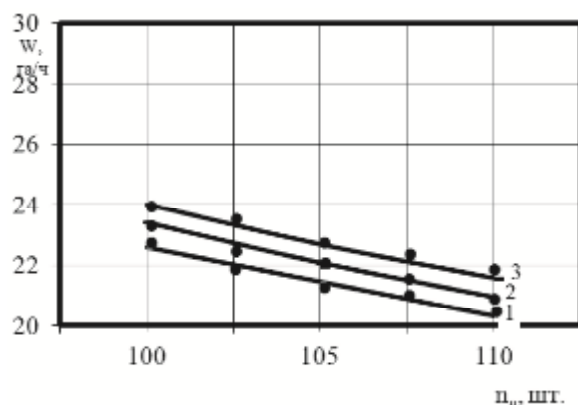


Рис. 1. Влияние количества полос на производительность при:
1 – $S = 2500 \text{ м}^2$; 2 – $S = 3000 \text{ м}^2$; 3 – $S = 3500 \text{ м}^2$

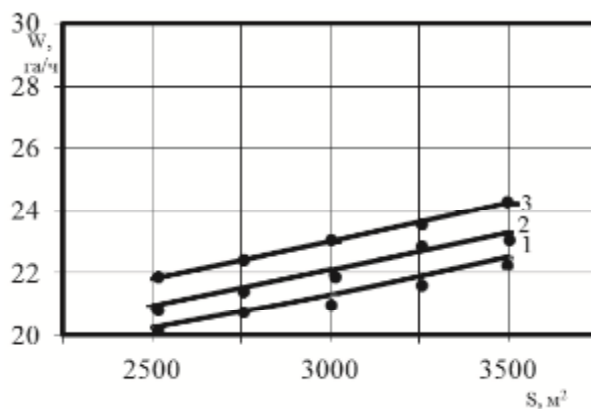


Рис. 2. Влияние площади уборки снега на производительность при:
1 – $K_{н} = 0,7$; 2 – $K_{н} = 0,75$; 3 – $K_{н} = 0,8$

При скорости движения $V = 2,5$ м/с и с увеличением количества полос n на 5 шт. производительность уменьшается на 1 га/ч. При скорости движения $V = 3$ м/с и с увеличением количества полос n на 10 шт. производительность уменьшается на 1,5 га/ч.

На рис. 2 представлена графическая зависимость влияния площади уборки снега на производительность. Установлено, что с увеличением площади уборки снега производительность увеличивается по экспоненциальной зависимости. При коэффициенте наполнения рабочего органа $K_n = 0,7$ и с увеличением площади уборки [7] снега на 500 м^2 производительность увеличивается на 1 га/ч. При коэффициенте наполнения рабочего органа $K_n = 0,8$ и с увеличением площади уборки снега на 1000 м^2 производительность увеличивается на 2 га/ч.

На рис. 3 представлена графическая зависимость влияния коэффициента наполнения на производительность снегоуборочной машины [8]. Установлено, что с увеличением коэффициента наполнения рабочего органа производительность увеличивается по экспоненциальной зависимости. При скорости движения $V = 2,5$ м/с и с увеличением коэффициента наполнения K_n на 0,05 производительность увеличивается на 0,5 га/ч. При скорости движения $V=3$ м/с и с увеличением коэффициента наполнения K_n на 0,1 производительность увеличивается на 1 га/ч.

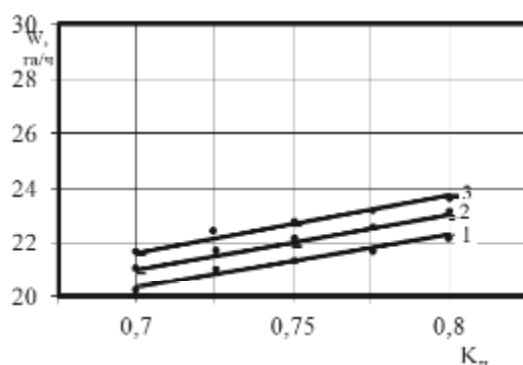


Рис. 3. Влияние коэффициента наполнения рабочего органа на производительность при:

1 – $V = 2$ м/с; 2 – $V = 2,5$ м/с; 3 – $V = 3$ м/с

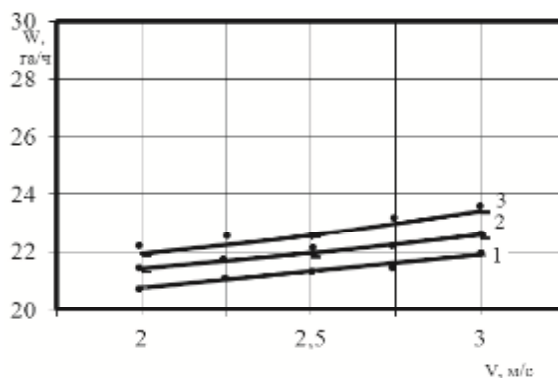


Рис. 4. Влияние скорости движения машины на производительность при:

1 – $K_n = 0,7$; 2 – $K_n = 0,75$; 3 – $K_n = 0,8$

На рис. 4 представлена графическая зависимость влияния скорости движения на производительность. Установлено, что с увеличением скорости движения машины производительность увеличивается по квадратичной зависимости. При коэффициенте наполнения $K_n = 0,75$ и с увеличением скорости движения V на 0,5 м/с производительность увеличивается на 1,2 га/ч. При коэффициенте наполнения $K_n = 0,8$ и с увеличением скорости движения V на 1 м/с производительность увеличивается на 1,5 га/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 взаимодей.	
1	2	3	4	5	6
1	Производительность W, га/ч	0,283	0,901	0,388	0,77

Заключение

1. В результате математической модели (1) установлено, что повышение производительности объясняется увеличением коэффициента наполнения рабочего органа. Установлено, что при скорости движения $V = 2,5$ м/с и с увеличением количества полос n на 5 шт. производительность уменьшается на 1 га/ч. При коэффициенте наполнения рабочего органа $K_n = 0,8$ и с увеличением площади уборки снега на 1000 м² производительность увеличивается на 2 га/ч. При коэффициенте наполнения $K_n = 0,8$ и с увеличением скорости движения V на 1 м/с производительность увеличивается на 1,5 га/ч.

2. 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 мощности фрезерования 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. Васильев И.А. Вопросы экономической эффективности дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 392 с.
3. Дорожная техника: Каталог – справочник / под общей редакцией Б.С. Марышева и Ю.Ф. Устинова. – М.: изд-во ассоциации «РАДОР», Ч. 2, 2004. – 96 с.
4. Дружинин Н.К. Выборочное наблюдение и эксперимент. – М.: Статистика, 1977. – 176 с.
5. Крившин А.П. Повышение эффективности использования дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1980.
6. Куляшов А.П., Молев Ю.И., Шапкин В.А., Щепетов В.А. Современные способы разработки льда. – М.: Спутник+, 2005. – 137 с.
7. Методические рекомендации по разработке проекта содержания автомобильных дорог. / Минтранс России, Гос. служба дор. хозяйства. – М., 2003. – 39 с.
8. Патент на полезную модель № 155623 РФ, МПК E01H 1/00. Снегоуборочная машина / Сахапов Р.Л., Махмутов М.М., Габдуллин Т.Р., Махмутов М.М., Земдиханов М.М. заяв. 26.01.2015; опубл. 10.10.2015. Бюл. № 28. – 2 с.

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

E-mail: rustem@sakhapov.ru

Makhmutov M.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: maratmax@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

The influence of the studied factors on the capacity of milling**Resume**

In this article was presented the factors affecting the performance of the snow machines. The resulting model, which reflects in coded form the influence of significant factors on the

performance of the snow machines was built. Based on the experimental data were plotted according to the number of lanes, area of snow removal, the filling ratio of the working body and speed performance of the machine. Testing using the Fisher test and student t-test ($F_t=2,30$) hypotheses ($F_p=2,27$) the adequacy of the model (1) (tabl. 4) showed the suitability of its use as a forecasting performance of the snow machines with confidence probability of 95 %.

Keywords: performance, area cleaning, filling ratio, speed, student's criterion, Fisher's criterion.

Reference list

1. Adler P., Markova E.V., Granovsky Y. Planning experiment in the search for optimal conditions. – M.: Nauka, 1976. – 279 p.
2. Vasiliev I.A. Economic efficiency of road machines. – M.: Mashinostroenie, 1971. – 392 p.
3. Road machinery: the Directory / Under the General editorship of B.S. Marysheva and Y.F. Ustinov. – M.: publishing association «Rador», Part 2, 2004. – 96 p.
4. Druzhinin N.N. To selective observation and experiment. – M.: Statistica, 1977. – 176 p.
5. Kryuchin A.P. Improving the efficiency of road machines. – M.: Mashinostroenie, 1980.
6. Kulash A.P., Molev Y.I., Shapkin V.A., Shchepetov V.A. Modern methods of development of ice. – M.: Sputnik+, 2005. – 137 p.
7. Methodical recommendations on development of draft road maintenance. / The Ministry Transport of Russia, State. service dor. economy. – M., 2003. – 39 p.
8. Patent № 155623 the Russian Federation, IPC AN 1/00. Snowblower / Sakhapov R.L., Makhmutov M.M., Gabdullin T.R., Makhmutov M.M., Zemlyanov M.M. stated. 26.01.2015; publ. on 10.10.2015. Bull. № 28. – 2 p.