

УДК 631.312.024

UDC 631.312.024

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛЕМЕШНОГО ПЛУГА ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЯЖЕЛЫХ ПОЧВ

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE THE DEGREE OF TRACTION RESISTANCE REVERSIBLE PLOW IN HEAVY SOILS

Трубилин Евгений Иванович
д.т.н., профессор

Trubilin Evgeniy Ivanovich
Dr.Sci.Tech., professor

Белоусов Сергей Витальевич
магистр факультет механизации
sergey_belousov_87@mail.ru

Belousov Sergey Vitalyevich
master student of the Department of mechanization
sergey_belousov_87@mail.ru

Лепшина Анна Игоревна
студент
Кубанский государственный Аграрный
Университет, Краснодар, Россия

Lepshina Anna Igorevna
student
Kuban state Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассмотрен вопрос экспериментальных исследований определения степени тягового сопротивления лемешного плуга, при обработке комбинированным лемешным плугом. Определены экспериментальным путем зависимости и оптимальные геометрические размеры разработанных дополнительных рабочих органов

The article deals with the question of experimental studies determining the degree of traction resistance of reversible ploughs, when processing a combined plow. We have determined the optimal geometric dimensions of the developed additional working bodies experimentally

Ключевые слова: ПЛУГ, ПОЧВА, ШИРИНА ЗАХВАТА, ДАВЛЕНИЕ, КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ, РАБОЧИЙ ОРГАН, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НАГРУЗКА, ОТВАЛ, РАБОЧАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Keywords: PLOW, SOIL, WIDTH, PRESSURE, QUALITY OF TREATMENT, WORKING BODY, ENERGY SAVING, LOADING, BLADE, WORK SURFACE

Согласно разработанной методике [1], эксперименты проводились на установке рисунок 1.

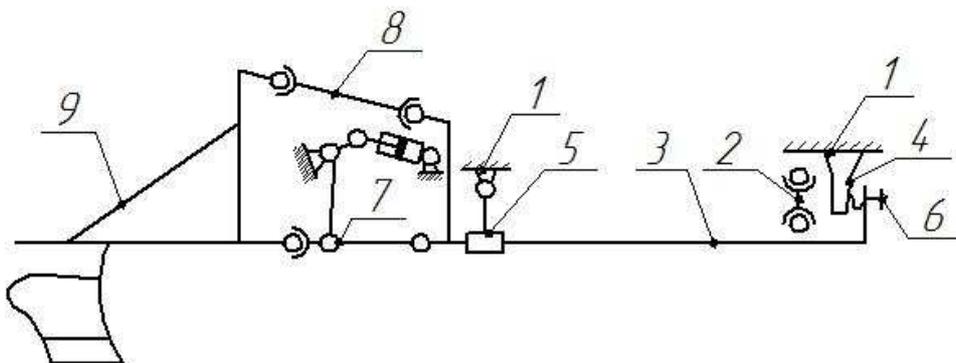


Рисунок 1 - Кинематическая схема переходной рамы к трактору МТЗ

1 - остов трактора; 2 - маятниковый узел; 3 (BC) - несущий элемент переходной рамы; 4 - первичный измерительный преобразователь силы (консольная балка) равного сопротивления с тензорезисторами; 5 - подшипники; 6 - регулируемый упор; 7 - продольные тяги трактора; 8 - центральная тяга трактора; 9 - навешиваемая машина с рабочими органам.

Полученные результаты представлены в виде графика, показанного на рисунке 2.

При рассмотрении факторов влияющих на производительность и качество обработки учитывалось расположение дисковых рабочих органов на раме лемешного плуга в пространстве относительно друг друга и их геометрические размеры.

Анализ непрерывных симметричных планов второго порядка показал, что максимальное значение определителя информационной матрицы достигается в том случае, когда моменты плана соответственно равны.

Для этого использовали ортогональный симметричный план (звездные точки которого равны ± 1). Изучалось влияние двух факторов и фиксированы их значения на оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 1. [2]

Таблица 1 - Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Диаметр мм.	x_1	235	0	235	510
Скорость движения км/ч.	x_2	2,7	5,34	8,05	10,76

На качество обработки влияет скорость движения и диаметр ротационного рабочего органа.

Уровни факторов выбирали таким образом, чтобы оптимальные их значения, рассчитанные теоретически или учитывающие существующие ограничения, попадали в центр интервала варьирования.

Максимальным значением для первого фактора x_1 являлось диаметр диска равный $n_{\max} = 510$ мм. и снижались до $n_{\min} = 0$ мм, что соответствовало интервалу варьирования.

Для второго фактора x_2 значения, являлось значение скорости движения пахотного агрегата $k_{v \max} = 10,76$ и снижался до $k_{v \min} = 5.34$ что соответствовало интервалу варьирования. [3]

На основании этих рассуждений были выбраны интервалы варьирования и уровни факторов, значения которых занесены в таблицу 1. Матрица планирования представлена в таблице 2. Опыты проводили согласно описанной методике [1]. Порядок проведения опытов выполнялся согласно таблице случайных чисел. Средние величины параметров оптимизации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица планирования при оптимизации показателей работы лемешного плуга с ротационными рабочими органами.

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	Тяговое сопротивление Y кН.	
1	+1	0	5.34	+1	+1	+1	+1	+1	13.1	ПФЭ
2	+1	0	8.16	-1	+1	-1	+1	+1	14.37	
3	+1	0	10.15	+1	-1	-1	+1	+1	15.73	
4	+1	420	5.52	-1	-1	+1	+1	+1	11.9	
5	+1	420	8.39	+1	0	0	+1	0	13.0	Звездные точки
6	+1	420	10.61	-1	0	0	+1	0	13.63	
7	+1	510	5.65	0	+1	0	0	+1	11.1	
8	+1	510	8.57	0	-1	0	0	+1	11.9	
9	+1	510	10.76	0	0	0	0	0	12.5	Опыты в центре плана

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии: [4]

$$Y = 4.49 - 8.95 - 0.09 * X_2 - 12.57 * X_2 * X_2 + 0.074 * X_1^2 - 0.045 * X_2^2 \quad (1)$$

где Y - производительность плуга при взаимодействии 1 и 2

фактора.

Выполняя каноническое преобразование и решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика

$$X_1 = -0.0196, \quad X_2 = -0.71172$$

Подставляя найденные значения x_1, x_2 в уравнение (1) определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика.

$$Y_{s_{12}} = 4.537$$

Угол поворота осей α равен -44.73396 градусов, а коэффициенты регрессии в канонической форме равны: $B_{11} = +6.27141$; $B_{22} = -6.27141$.

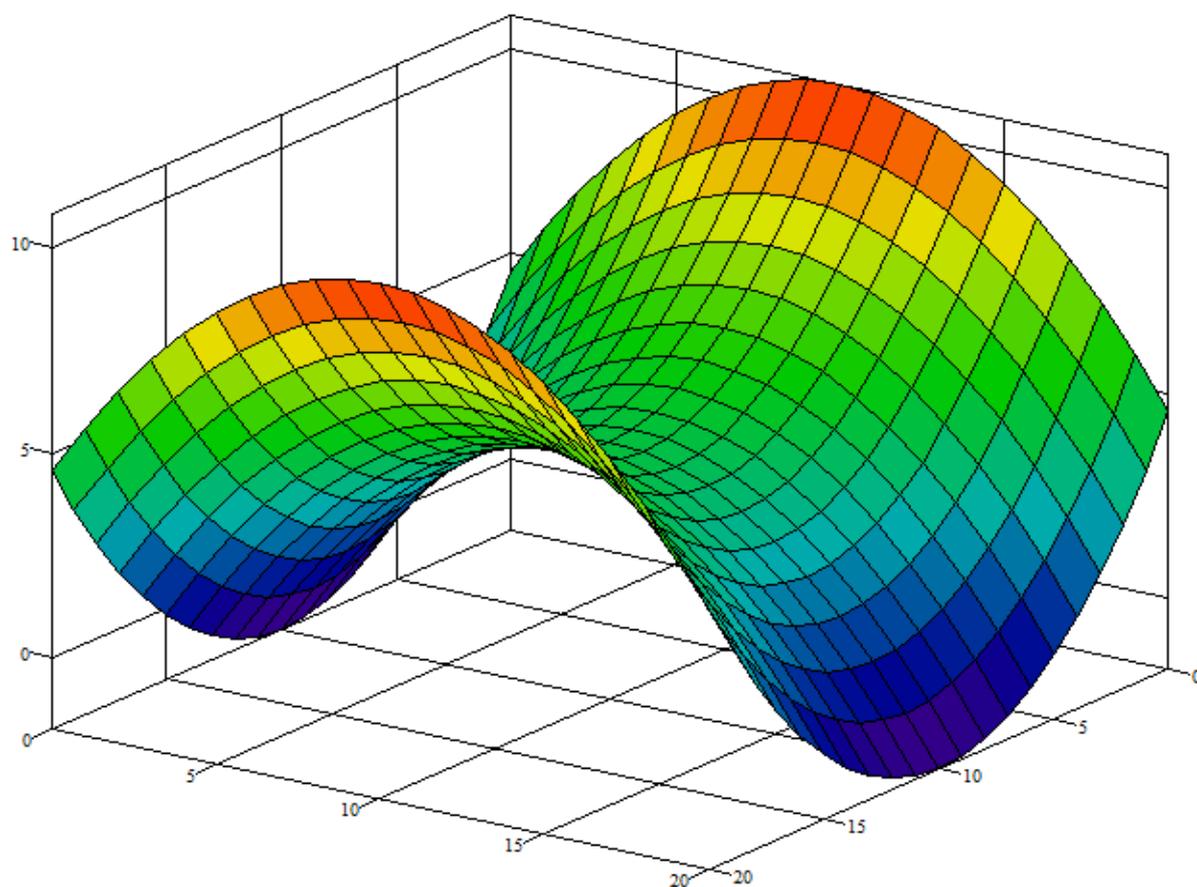
Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y_{12} + 4.537 = +6.27141 * X_1^2 - 6.27141 * X_2^2 \quad (2)$$

Коэффициенты B_{11} и B_{22} имеют разные знаки. Гиперболы вытянуты по той оси, которой соответствует меньшее по абсолютной величине значение коэффициента в каноническом уравнении. В этом случае значение отклика увеличивается при движении из центра фигуры по одной оси и уменьшается – при движении по другой. Если, например, $B_{11} > 0$, а $B_{22} < 0$, ($y - y_s = B_{11}\tilde{X}_1^2 + B_{22}\tilde{X}_2^2$), то отклик будет увеличиваться при движении из центра s в направлении $+\tilde{X}_1$ и $-\tilde{X}_1$ и уменьшаться при движении в направлении $+\tilde{X}_2$ и $-\tilde{X}_2$. Центр s фигуры называется седлом или минимаксом. Поверхность отклика является гиперболическим параболоидом. Здесь направление движения выбирают в зависимости от того, чего необходимо достичь - максимума или минимума. Как и при

крутом восхождении, можно наметить серию мысленных опытов, часть из которых можно реализовать.

Подставим различные значения отклика Y в канонические уравнения (1) было получено семейство сопряженных изолиний (рисунок 3). Расположение элементов производительности в области эксперимента напоминало поверхность типа «эллипса». Центр эксперимента находится в пределах области эксперимента. Максимальная производительность в данном случае будет при диаметре диска 230,4 мм. и скорости движения 6,15 км/ч. [5]



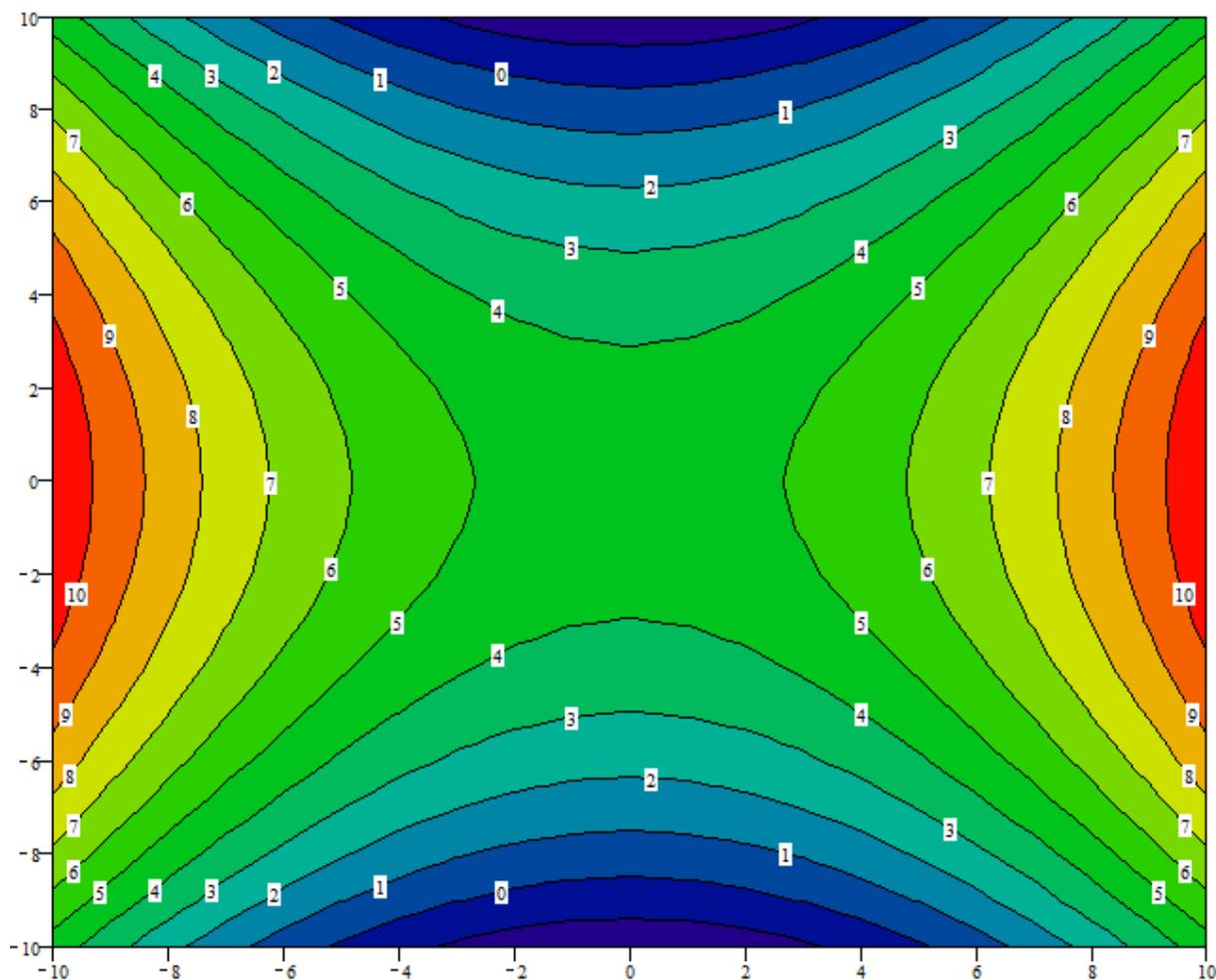


Рисунок 3 - Поверхность зависимости диаметра диска от скорости движения

В результате проделанной работы мы получили следующие выводы:

- 1) Получена конструкция комбинированного лемешного плуга.
- 2) Составлена матрица планирования эксперимента.
- 3) Изучены физико-механические свойства почвы среднее значение
- 4) Получен график зависимости диаметра диска от скорости движения пахотного агрегат, из которого видно, что при увеличении коэффициента диаметра диска происходит уменьшение производительности, а соответственно и ухудшение качественных показателей работы лемешного плуга с ротационными рабочими органами.

5) Были обоснованы факторы влияния на производительность (диаметр диска и скорость движения). С использованием планирования двухфакторного эксперимента по ортогональному плану определены оптимальные параметры режимов работы лемешного плуга при условии выполнения исходных требований к качеству обработки. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальной производительности лемешной обработки почвы центр эксперимента находится в пределах области эксперимента при этом максимальная производительность в данном случае будет при диаметре диска 230,4 мм. и скорости движения 6,15 км/ч.

Согласно разработанной методике, проводились эксперименты на установке включающую в себя лемешный плуг, который состоит из рабочих и вспомогательных рабочих органов, которые включают в себя модернизированные рабочие корпуса.

Полученные результаты представлены в виде графика, показанного на рисунке 3.

При рассмотрении факторов влияющих на производительность и качество обработки учитывалось их расположение в пространстве относительно друг друга и их геометрические размеры.

Анализ непрерывных симметричных планов второго порядка показал, что максимальное значение определителя информационной матрицы достигается в том случае, когда моменты плана соответственно равны.

Для этого использовали ортогональный симметричный план (звездные точки которого равны ± 1). Изучалось влияние двух факторов и фиксированы их значения на оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 3. [6]

Таблица 3 - Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Диаметр мм.	x_1	150	0	150	300
Скорость движения км/ч.	x_2	2,7	5,34	8,05	10,76

На качество обработки влияет скорость движения и диаметр ротационного рабочего органа.

Уровни факторов выбирали таким образом, чтобы оптимальные их значения, рассчитанные теоретически или учитывающие существующие ограничения, попадали в центр интервала варьирования.

Максимальным значением для первого фактора x_1 являлось ширина захвата плоскорежущей бритвы равной $n_{\max} = 300$ мм. и снижались до $n_{\min} = 0$ мм, что соответствовало интервалу варьирования.

Для второго фактора x_2 значения, являлось значение скорости движения пахотного агрегата $k_{v \max} = 10,76$ и снижался до $k_{v \min} = 5.34$ что соответствовало интервалу варьирования.

На основании этих рассуждений были выбраны интервалы варьирования и уровни факторов, значения которых занесены в таблицу 3. Матрица планирования представлена в таблице 4. Опыты проводили согласно описанной выше методике. Порядок проведения опытов выполнялся согласно таблице случайных чисел. Средние величины параметров оптимизации представлены в таблице 3.

Таблица 4 – Матрица планирования при оптимизации показателей работы лемешного плуга с плоскорезущими рабочими органами.

№ опыта	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	x ₁ ²	x ₂ ²	Тяговое сопротивление У кН.	
1	+1	0	5.34	+1	+1	+1	+1	+1	13.1	ПФЭ
2	+1	0	8.16	-1	+1	-1	+1	+1	14.37	
3	+1	0	10.15	+1	-1	-1	+1	+1	15.73	
4	+1	200	5.52	-1	-1	+1	+1	+1	11.9	
5	+1	200	8.39	+1	0	0	+1	0	13.0	Звездные точки
6	+1	200	10.61	-1	0	0	+1	0	13.63	
7	+1	300	5.65	0	+1	0	0	+1	11.1	
8	+1	300	8.57	0	-1	0	0	+1	11.9	
9	+1	300	10.76	0	0	0	0	0	12.5	Опыты в центре плана

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии:[7]

$$Y = 13,567 + 0,965 * X + 0,1095 * X - 1236 * X * X - 9,155 * X - 3,605 * X$$

(3)

где Y - производительность плуга при взаимодействии 1 и 2 фактора.

Выполняя каноническое преобразование и решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика

$$X_1 = -0,05436, \quad X_2 = -0,02451$$

Подставляя найденные значения x_1 , x_2 в уравнение (3) определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика.

$$Y_{s_{12}} = 13,54$$

Угол поворота осей α равен $-6,27$ градусов, а коэффициенты регрессии в канонической форме равны: $B_{11} = 9,22$; $B_{22} = 3,54$.

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y_{12} + 13,54 = +9,22 * X_1^2 - 3,54 * X_2^2 \quad (4)$$

Параболы [2] Один из коэффициентов канонического уравнения равен нулю, при этом центр фигуры находится в бесконечности. Поверхность отклика является возрастающим возвышением (гребнем). В этом случае можно поместить начало координат в какую-либо точку (обычно вблизи центра эксперимента) на оси, соответствующей незначимому коэффициенту канонического уравнения, и получить, таким образом, *уравнение параболы*. Например, если равен нулю B_{22} то выбрав новый центр s' , можно получить уравнение параболы $y - y_{s'} = B_{11} \tilde{X}_1^2 + B_2 \tilde{X}_2^2$, где B_2 - коэффициент, определяющий крутизну наклона возвышения, т. е. скорость увеличения параметра оптимизации по оси \tilde{X}_2 . В практических задачах часто центр фигуры s удален за пределы той области, где проводился эксперимент, и тогда один из коэффициентов (B_{11} или B_{22}) близок к нулю. В этом случае в зависимости от наклона, поверхность отклика будет аппроксимироваться, либо стационарным, либо возрастающим возвышением. Подставим различные значения отклика Y в канонические уравнения (3) было получено семейство сопряженных изолиний (рисунок 3). Расположение элементов производительности в области эксперимента напоминало поверхность типа «эллипса». Центр

эксперимента находится в пределах области эксперимента. Максимальная производительность в данном случае будет при ширине захвата плоскорежущей бритвы равна 190,54 мм. и скорости движения 6,15 км/ч.[8]

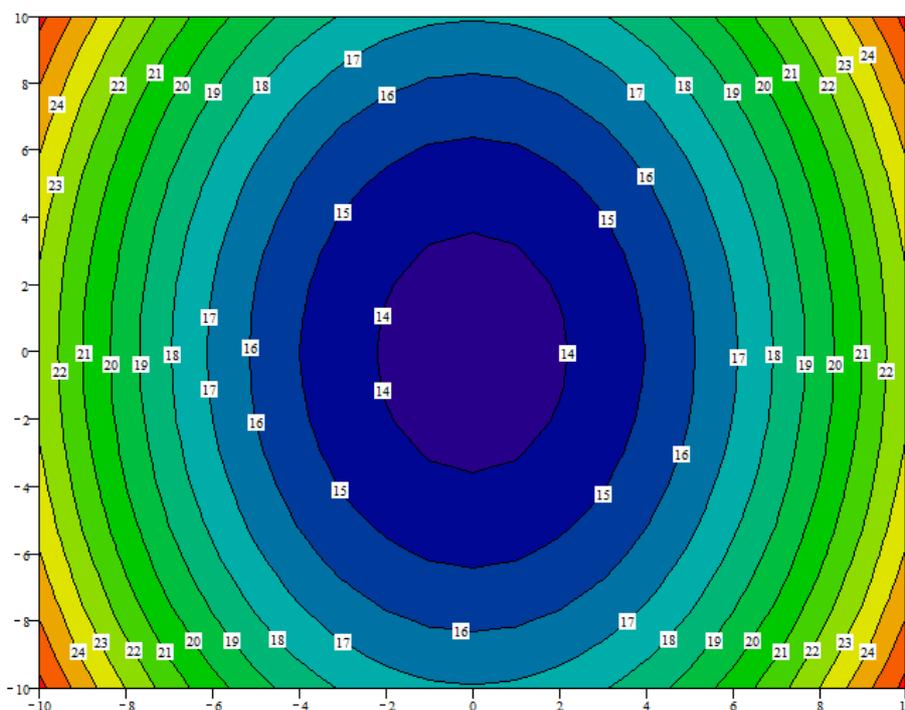
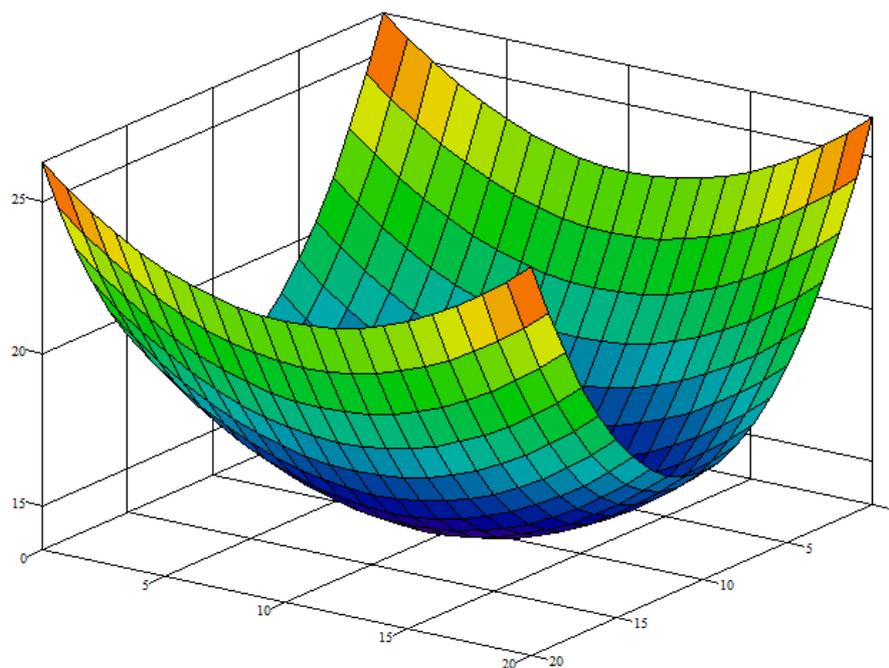


Рисунок 3 - Поверхность зависимости ширины захвата плоскорежущего рабочего органа от скорости движения

В результате проделанной работы мы получили следующие выводы:

1) Получена конструкция комбинированного лемешного плуга с дополнительными плоскорежущими рабочими органами.

2) Составлена матрица планирования эксперимента.

3) Изучены физико-механические свойства почвы и получены их среднее значение.

4) Получен график зависимости ширины захвата плоскорежущей бритвы от скорости движения пахотного агрегат, из которого видно, что при увеличении коэффициента ширины захвата плоскорежущей бритвы происходит уменьшение производительности, а соответственно и ухудшение качественных показателей работы лемешного плуга.

5) Были обоснованы факторы влияния на производительность (ширина захвата плоскорежущей бритвы и скорость движения). С использованием планирования двухфакторного эксперимента по ортогональному плану определены оптимальные параметры режимов работы лемешного плуга при условии выполнения исходных требований к качеству обработки. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальной производительности лемешной обработки почвы центр эксперимента находится в пределах области эксперимента при этом максимальная производительность в данном случае будет при ширине захвата плоскорежущей бритвы 190,54мм. и скорости движения 6,15 км/ч.

Литература

1. Белоусов С.В. Диссертация на соискание степени магистра Техники и технологии на тему: «Совершенствование технологического процесса основной обработки почвы с разработкой ротационного рабочего органа» с. 51-74

2. Моделирование и оптимизация процессов в агроинженерии: учеб. Пособие / Г.Г. Маслов, Е.И. Трубилин, В.В. Цыбулевский. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 136 с., ил. С.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616837 от 04 июля 2014. Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. Тяговое усилие лемешного плуга в зависимости от скорости движения и диаметра используемого диска.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619482 от 13 мая 2014. Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. Каноническое преобразование уравнения зависимости тягового сопротивления лемешного плуга в зависимости от диаметра используемого диска

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616838 от 13 мая 2014. Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. Графики зависимости тягового сопротивления лемешного плуга от диаметра используемого диска

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615232 от 21 мая 2014. Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. Тяговое усилие лемешного плуга в зависимости от скорости и ширины захвата плоскорежущей бритвы.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615233 от 21 мая 2014. Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. Каноническое преобразование уравнения зависимости тягового сопротивления лемешного плуга

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615230 от 21 мая 2014. Белоусов С.В., Трубилин Е.И., Цыбулевский В.В. Графики зависимости тягового сопротивления лемешного плуга

References

1. Belousov S.V. Dissertacija na soiskanie stepeni magistra Tehniki i tehnologii na temu: «Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa osnovnoj obrabotki pochvy s razrabotkoj rotacionnogo rabocheho organa» s. 51-74

2. Modelirovanie i optimizacija processov v agroinzhenerii: ucheb. Posobie / G.G. Maslov, E.I. Trubilin, V.V. Cybulevskij. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – 136 s., il. S.

3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014616837 ot 04 ijulja 2014. Belousov S.V., Trubilin E.I., Cybulevskij V.V. Tjagovoe usilie lemeshnogo pluga v zavisimosti ot skorosti dvizhenija i diametra ispol'zuemogo diska.

4. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014619482 ot 13 maja 2014. Belousov S.V., Trubilin E.I., Cybulevskij V.V. Kanonicheskoe preobrazovanie uravnenija zavisimosti tjagovogo soprotivlenija lemeshnogo pluga v zavisimosti ot diametra ispol'zuemogo diska

5. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014616838 ot 13 maja 2014. Belousov S.V., Trubilin E.I., Cybulevskij V.V. Grafiki zavisimosti tjagovogo soprotivlenija lemeshnogo pluga ot diametra ispol'zuemogo diska

6. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014615232 ot 21 maja 2014. Belousov S.V., Trubilin E.I., Cybulevskij V.V. Tjagovoe usilie lemeshnogo pluga v zavisimosti ot skorosti i shiriny zahvata ploskorezhushhej britvy.

7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014615233 ot 21 maja 2014. Belousov S.V., Trubilin E.I., Cybulevskij V.V. Kanonicheskoe preobrazovanie uravnenija zavisimosti tjagovogo soprotivlenija lemeshnogo pluga

8. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2014615230 ot 21 maja 2014. Belousov S.V., Trubilin E.I., Cybulevskij V.V. Grafiki zavisimosti tjagovogo soprotivlenija lemeshnogo pluga