

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ХРОМИРОВАНИЯ ПРИ УПРОЧНЕНИИ СЕГМЕНТОВ УБОРОЧНЫХ МАШИН

© 2015

А. Е. Крупин, старший преподаватель кафедры «Технический сервис»
«Нижегородский государственный инженерно-экономический институт», Княгинино (Россия)

Аннотация. Одним из важнейших этапов возделывания сельскохозяйственных культур является их уборка, следовательно, проблема надежности используемой при этом техники является очень актуальной. К наиболее быстроизнашивающимся деталям техники этой категории относятся их рабочие органы (сегменты, противорежущие пластины, ножи и т. п.). Чрезмерный износ режущих элементов влечет за собой потери урожая, увеличение нагрузки на приводные механизмы вследствие большего усилия резания и простои уборочных машин, связанные с заменой этих деталей, что приводит к повышению себестоимости уборочных работ и увеличивает издержки на возделывание сельскохозяйственных культур в целом.

Предлагается увеличивать ресурс сегментов жаток сельскохозяйственных машин электролитическим хромированием их поверхностей. Данный способ упрочнения поверхностей режущих элементов позволяет за счет свойств наносимых покрытий увеличивать их износостойкость в абразивной среде и снижать поражение их коррозией при хранении. В результате проведения отсеивающего эксперимента определены основные параметры, влияющие на свойства хромовых покрытий. Ими являются температура электролита, плотность тока и толщина наносимого слоя. Для получения максимальной стойкости покрытий к износу и коррозии определены наиболее оптимальные условия нанесения электролитического хрома на поверхности сегментов с помощью построения и реализации плана крутого восхождения по поверхности отклика. Методика проведения плана крутого восхождения, направленного на минимизацию величины износа хромированных образцов, основывалась на проведении дополнительной серии опытов с уменьшенным округленным шагом варьирования значений температуры электролита, плотности тока и толщины наносимого покрытия.

Результаты реализации указанного выше плана эксперимента свидетельствуют о том, что построение уравнения регрессии второго порядка является в данной ситуации не обязательным. Это объясняется тем, что уравнение регрессии, полученное при реализации крутого восхождения, хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Ключевые слова: двумерное сечение, износостойкость, крутое восхождение, оптимизация, отклик, рабочий орган, сегмент, уборочная машина, уравнение, уровень варьирования, фактор, хромирование, электролиз.

Цель исследования: повышение износостойкости сегментов жатки зерноуборочного комбайна.

Объект исследования: сегмент комбайна ДОН-1500Б.

Задачи исследования:

- составление плана крутого восхождения по поверхности отклика;
- определение составляющих градиента;
- изменение шага градиента;
- проведение дополнительных опытов;
- раскодирование уравнения регрессии в расчетные формулы;
- проверка согласования полученного уравнения с экспериментальными данными.

Технологический процесс уборки сельскохозяйственных культур является одним из важнейших и трудоёмких этапов их возделывания. Для соблюдения агротехнических сроков, поддержания высокого качества и производительности убороч-

ных работ существует необходимость уделять большое значение надежности уборочных машин. Как известно, надежность любой сложной технической системы зависит от надежности её составляющих элементов. Рабочие органы уборочных машин являются одними из наиболее уязвимых и недолговечных деталей, поэтому вопрос о повышении их надежности является актуальным. Несмотря на относительно невысокую стоимость этих деталей, их чрезмерный износ приводит к снижению производительности и качества уборки (непрокосы) и увеличению простоев техники в ремонте. Поэтому увеличение ресурса рабочих органов уборочной техники (сегментов жаток зерноуборочных комбайнов) является актуальной задачей.

В связи с недостатками существующих способов увеличения ресурса рабочих органов уборочных машин и исходя из варьирования свойств получаемых покрытий предлагается повышать изно-

состоятельность их поверхностей электролитическим хромированием.

Для получения оптимальных условий процесса электролиза на основании рекомендаций существующей литературы и по результатам априорного ранжирования были выбраны основные факторы, влияющие на износостойкость упрочняемых деталей. Отсеивающий эксперимент осуществлялся на установке для исследования износостойкости рабочих органов уборочных машин, а построение линейной математической модели и крутое восхождение по поверхности отклика производились на основании испытаний хромированных образцов на машине трения горизонтального типа 77-МТ1 по методике, разработанной М. М. Хрущевым и М. А. Бабичевым [1, 2]. Исследование осуществлялось на основании рекомендаций [3, 4].

По результатам отсеивающего эксперимента, проводимого по рекомендациям [5, с. 259 ; 6, с. 235 ; 7, с. 184 ; 8, с. 184 ; 9, с. 264 ; 10, с. 348] были выделены следующие факторы, которые наиболее существенно влияют на износостойкость ножей: температура электролита, плотность тока и толщина наносимого слоя.

Для оставшихся факторов на основании рекомендаций [9, с. 23 ; 11, с. 270 ; 12, с. 242 ; 13, с. 82 ; 14, с. 6 ; 15, с. 6 ; 16, с. 35 ; 17, с. 75] составлен план полного факторного эксперимента и получено линейное уравнение регрессии, описывающее величину и характер влияния перечисленных факторов и их парных взаимодействий на отклик. Ниже представлены составляющие полученного уравнения:

$$b_0 = + 400,625; b_1 = - 2,875 \cdot X_1; b_2 = - 3,625 \cdot X_2; \\ b_3 = - 14,125 \cdot X_3; b_{13} = + 2,875 \cdot X_1 \cdot X_3; \\ b_{23} = + 3,625 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Проведенные расчеты свидетельствуют об адекватности полученной математической модели.

Дальнейшим этапом определения рациональных значений факторов с целью минимизации износа ножей был выбран способ движения к оптимуму методом крутого восхождения по поверхности отклика, реализация которого осуществлялась на основании рекомендаций [18, с. 9 ; 7, с. 93 ; 19, с. 103 ; 6, с. 207 ; 20, с. 164].

Программа и матрица планирования крутого восхождения по поверхности отклика отличается от плана полного факторного эксперимента дополнительными опытами с определенными сочетаниями уровней факторов. Для всех факторов вводится одинаковый коэффициент, который уменьшает ин-

тервал их варьирования. Методика осуществления предлагаемого плана приведена ниже.

Определение составляющих градиента [8, с. 90]:

$$K_i = \Delta X_i \cdot |b_i|, \quad (1)$$

где ΔX_i – интервал варьирования, b_i – коэффициент уравнения.

Выполняя опыты с уменьшенным шагом изменения факторов, определяют, в каком из них будет зафиксировано оптимальное значение отклика. Значения факторов при полученном оптимальном отклике являются наиболее рациональными для составленного ранее уравнения.

Согласно выражению (1) значения K_i для каждого из факторов составят $K_1 = 28,75$; $K_2 = 90,625$; $K_3 = 211,875$.

Принято ввести коэффициент изменения шага градиента для всех факторов равный 62.

Программа и матрица планирования крутого восхождения по поверхности отклика при исследовании износостойкости сегментов представлена в таблице 1.

Критерием прекращения опытов при крутом восхождении явились технологические ограничения нанесения хрома. Увеличение температуры электролита выше 63 °С влечет за собой его интенсивное испарение и, как следствие, его повышенный расход. При повышении плотности тока выше 61 А/дм² кромки лезвий образцов начинали обгорать, т. к. их площадь очень мала и величина тока на этих участках стремилась к бесконечности. Увеличение толщины наносимого покрытия выше 32 мкм вызывало повышенное трещинообразование и влекло скалывание покрытия.

Минимальное значение отклика (выделено в таблице жирным текстом) получено в опыте № 12. В следующих опытах износ образцов начал увеличиваться (таблица 1). Это может объясняться преобладанием негативного влияния на отклик взаимодействий факторов 1–3 и 2–3 над положительным влиянием трех рассматриваемых факторов в отдельности. Раскодирование уравнения регрессии в расчетные формулы

Преобразование линейных членов уравнения производилось по формуле [9, с. 31]:

$$X_i = \frac{X_{Ni} - X_{NOi}}{\Delta X_{Ni}}, \quad (2)$$

где X_{Ni} – натуральное значение фактора, X_{NOi} – натуральное значение основного уровня фактора, ΔX_{Ni} – интервал варьирования фактора.

Таблица 1 – Матрица планирования кругого восхождения

№	Последовательность операций	X ₁ , °C	X ₂ , А/дм ²	X ₃ , мкм	Y, мг
1	Основной уровень	60	55	20	
2	Интервал варьирования, Δx _i	10	25	15	
3	Нижний уровень	50	30	5	
4	Верхний уровень	70	80	35	
5	Опыты: 1	–	–	–	426
	2	–	+	+	387
	3	–	+	–	415
	4	–	–	+	386
	5	+	–	–	418
	6	+	+	+	386
	7	+	+	–	400
	8	+	–	+	387
6	Коэффициенты b _i	2,875	3,625	14,125	
7	Шаг градиента Δx _i * b _i	28,75	90,625	211,875	
8	Изменение шага градиента	0,46	1,46	3,41	
9	Округление шага	0,5	1,5	3	
10	Опыты: 9	60	55	20	404
	10	6,5	56,5	23	397
	11	61	58	26	391
	12	61,5	59,5	29	385
	13	62	61	32	387
	14	62,5	62,5	35	390
	15	63	64	38	393

В результате преобразования получены следующие результаты:

$$X_1 = \frac{X_{N1} - 60}{10} \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{X_{N2} - 55}{25} \quad (4)$$

$$X_3 = \frac{X_{N3} - 20}{15} \quad (5)$$

Подставляя выражения (3), (4), (5) в уравнение с полученными ранее коэффициентами, получаем расчетную формулу, выражающую зависимость отклика от факторов, представленных через натуральные значения. Ниже представлены составляющие полученного уравнения: B₀ = + 478,304; B₁ = – 0,671 X_{N1}; B₂ = – 0,338 X_{N2}; B₃ = – 2,625 X_{N3}; B₁₂ = + 0,019 X_{N1} · X_{N2}; B₂₃ = + 0,01 X_{N2} · X_{N3}.

Полученное уравнение регрессии хорошо согласуется с экспериментальными данными. Так, расчетное значение износа образца ножа по массе на основании уравнения с указанными выше значениями коэффициентов (B), (при X₁ = 62, X₂ = 61 и X₃ = 32) составит 389 мг, а экспериментальное зна-

чение 387 мг (отклонение около 2 %). Поэтому данное уравнение вполне может быть использовано при оценке износостойкости сегментов.

По результатам реализации плана эксперимента для наглядного отображения влияния всех рассматриваемых факторов на отклик построены поверхности отклика величины износа сегментов и их двумерные сечения (рисунок 1, 2, 3), а также диаграмма Парето, показывающая влияние факторов на значение отклика (рисунок 4).

Как видно из уравнения с указанными коэффициентами (B), увеличение температуры электролита (фактор № 1), плотности тока (фактор № 2) и толщины покрытия (фактор № 3) положительно влияет на отклик, уменьшая его значение. Также положительное влияние на отклик оказывает увеличение сочетания факторов № 1 и 3. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что наибольшее положительное влияние на отклик оказывает увеличение толщины наносимого покрытия (фактор № 3). Самое существенное негативное влияние на износостойкость ножей оказывает в равной степени уменьшение значений сочетания факторов 2–3 и 1–3.

Реализация плана кругого восхождения позволила получить оптимальные значения факторов

при минимуме отклика. При этом полученное уравнение хорошо согласуется с экспериментальными данными. Поэтому построение уравнений регрессии второго порядка является в данной ситуации не обязательным.

Отметим, что результаты крутого восхождения дают основание предположить, что выбранный ранее центр эксперимента находится вблизи области оптимума, поскольку наилучшие результаты получены уже после реализации четвертого дополнительного опыта.

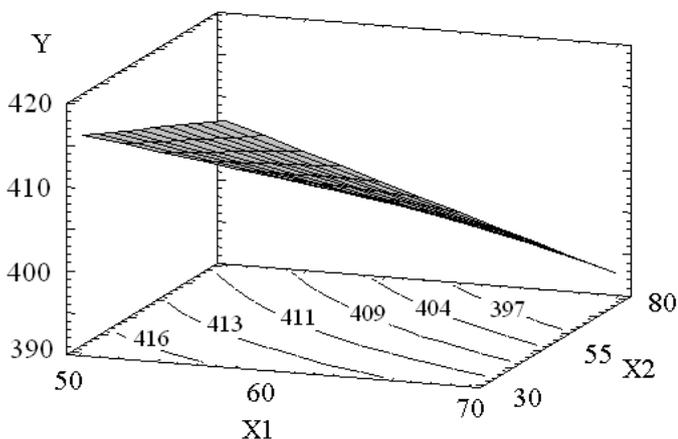


Рисунок 1 – Поверхность отклика и ее двумерное сечение (зависимость износа сегмента (Y) от температуры электролита (X_1) и плотности тока (X_2))

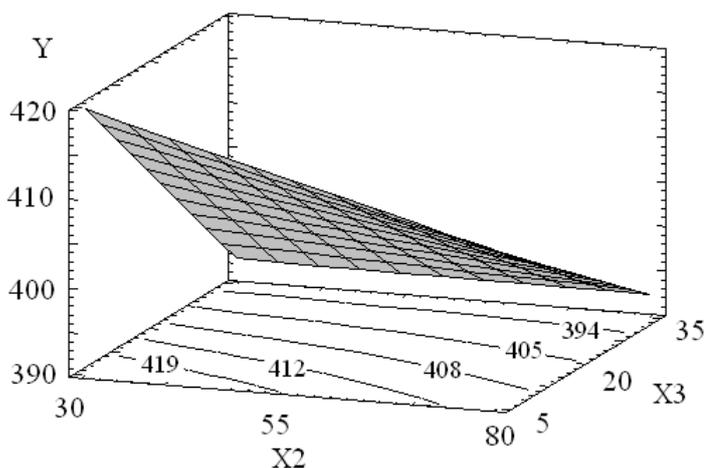


Рисунок 2 – Поверхность отклика и ее двумерное сечение (зависимость износа сегмента (Y) от плотности тока (X_2) и толщины покрытия (X_3))

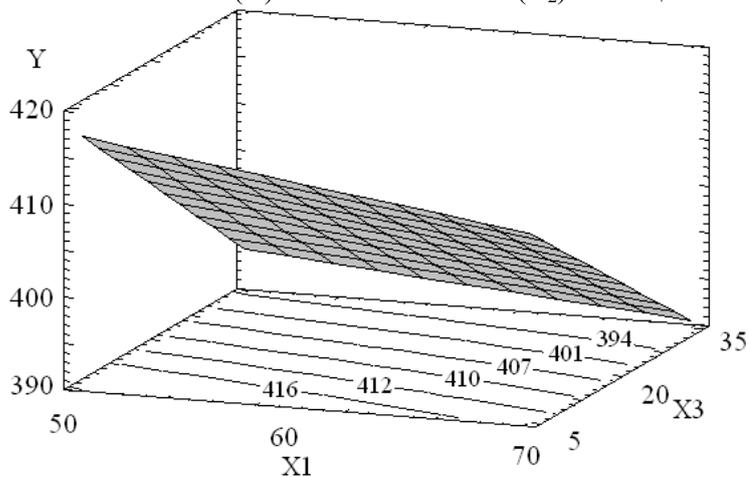


Рисунок 3 – Поверхность отклика и ее двумерное сечение (зависимость износа сегмента (Y) от температуры электролита (X_1) и толщины покрытия (X_3))

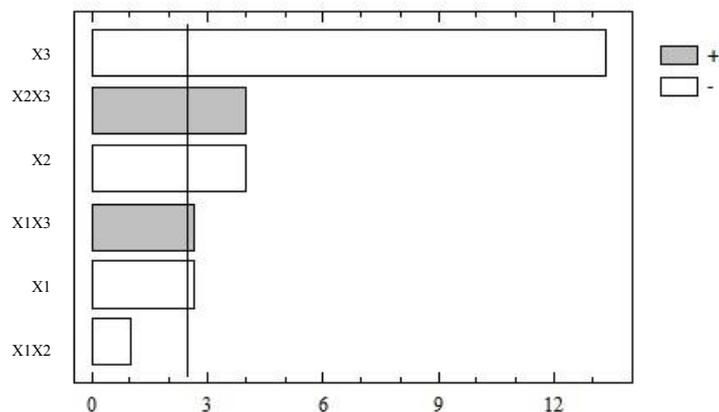


Рисунок 4 – Диаграмма Парето

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрущев М. М., Бабичев М. А. Износостойкость и структура твердых наплавов. М. : Машиностроение, 1971. 252 с.

2. Хрущев М. М. Трение, износ и микротвердость материалов: Избранные работы (к 120-летию со дня рождения). М. : Красанд, 2012. 512 с.

3. ГОСТ30480-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Москва, 1998. 14 с.

4. ГОСТ 27640-88. Материалы конструкционные и смазочные. Методы экспериментальной оценки коэффициента трения. Государственный комитет СССР по стандартам. Москва, 1989. 21 с.

5. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. Издательство «Металлургия». Москва, 1968. 155 с.

6. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд. перераб. и доп. Издательство «Наука». Москва, 1976. 279 с.

7. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-е изд. перераб. и доп. Л. : Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. 168 с.

8. Новик Ф. С. Аросов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М. : Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.

9. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Под редакцией Э. К. Лецкого. Издательство «Мир» Москва, 1977. 552 с.

10. Ермаков С. М. Математическая теория планирования эксперимента. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. 392 с.

11. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учеб. пособие для магистров. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2014. 495 с.

12. Montgomery D. C. Design and analysis of experiments Fifth Edition. By John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, 2001. 684 p.

13. Rodrigues M. I., Iemma A. F. Experimental Design and Process Optimization. By Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2014. 302 p.

14. Шкляр В. Н. Планирование эксперимента и обработка результатов. Конспект лекций для магистров по направлению 220200 «автоматизация и управление в технических (мехатронных) системах». Издательство Томского политехнического университета, 2010. 90 с.

15. Иванкина О. П. Основы планирования эксперимента: Учеб.-метод. пособие для студентов и аспирантов. Рязань РИ МГОУ, 2001. 82 с.

16. Бородюк В. П., Вошинин А. П., Иванов А. З. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум): Учебное пособие. М. : Высша. школа, 1983. 216 с.

17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

18. Жиглявский А. А., Жиглявский А. Г. Методы поиска глобального экстремума. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1991. 248 с.

19. Изаков Ф. Я. Планирование эксперимента и обработка опытных данных. Учебное пособие для магистрантов и аспирантов. Челябинск, 1997. 128 с.

20. Аугамбаев М. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента. «Укитувич». Ташкент, 2004. 336 с.

OPTIMIZATION OF THE CONDITIONS OF THE ELECTROLYTIC CHROME PLATING IN THE HARDENING SEGMENTS HARVESTING MACHINES

© 2015

A. E. Krupin, assistant professor of the chair «Technical service»
State budgetary educational institution of higher professional education
Nizhny Novgorod State Engineering-Economic Institute, Knyaginino (Russia)

Annotation. One of the most important stages of cultivation of agricultural crops is their cleaning, therefore, the problem of reliability used in this technique is very relevant. The most wear to the components of the equipment in this category include their working bodies (segments, share plates, knives, etc). Excessive wear of the cutting elements entails the loss of crops, increasing the load on the driving mechanism due to the higher cutting forces and downtime cleaning machines associated with the replacement of these parts, which increases the cost of harvesting and increases the cost of cultivation of agricultural crops in General.

It is proposed to increase the resource segments reapers agricultural machinery electrolytic plating of their surfaces. This method of hardening the surfaces of the cutting elements due to the properties of the applied coatings to increase wear resistance in abrasive environment and reduce the damage to their corrosion during storage. In the screening experiment were the main parameters affecting the properties of chromium coatings, they are the temperature of the electrolyte, current density and layer thickness. To obtain the maximum resistance of coatings for wear and corrosion determined the optimal conditions for electroplating chromium on the surface of the segments through the creation and implementation plan steep ascent on the surface response. Methodology for plan a steep ascent aimed at minimizing the amount of wear and chrome-plated samples was based on an additional series of experiments with a reduced rounded step of varying the temperature of the electrolyte, current density and thickness of the applied coating.

The results of the implementation of the above plan of the experiment indicate that the construction of the regression equations of the second order is in this situation not mandatory. This is because, the regression equation obtained during the implementation of the steep ascent, in good agreement with the experimental data.

Keywords: two-dimensional cross-section, durability, steep ascent, optimization, response, body work, segment, sweeper, equation, factor, chrome plating, electrolysis.

УДК 523.67

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ г. ТОЛЬЯТТИ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

©2015

Е. А. Краснопецева, аспирант
С. А. Мальцев, магистрант
Л. Н. Козина, старший преподаватель кафедры
«Энергетические машины и системы управления»
А. М. Дзюбан, доцент кафедры «Энергетические машины и системы управления»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о недобросовестном содержании автомобильных дорог и их некачественном состоянии. Приведена классификация автомобильных дорог по их транспортно-эксплуатационным характеристикам. Рассмотрены утвержденные нормативными документами характеристики предельно допустимых повреждений дорожного покрытия, требования к ровности покрытия проезжей части, а также сроки ликвидации обнаруженных несоответствий. Обращено внимание на ежегодные проблемы, возникающие в каждый отдельно взятый сезон года на дорогах нашего города. Предложены пути их решения. Обращено внимание на экологические аспекты проблемы использования автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, связанные с быстрым ростом автомобильного парка города. Приведены количественные показатели основных загрязняющих веществ и показатели среднегодовых концентраций вредных и опасных веществ в атмосфере, выраженные в ПДК.

Ключевые слова: автомобильные дороги, выхлопные газы, двигатель внутреннего сгорания, предельно-допустимая концентрация вредных веществ, тротуары, улицы, ямы.