

- по результатам лабораторно-полевых опытов экспериментальная сеялка превзошла по количеству квадратов с одним зерном серийную на 12,3% и пустых квадратов у экспериментальной меньше на 6%, следовательно, урожайность на опытных участках составила 8,3 ц/га, а на контрольной делянке 7 ц/га.

#### Литература

1. Адуов М.А. Научно-технологические основы создания технических средств высева семян зерновых культур и внесения минеральных удобрений (на примере северной зоны Казахстана): дис. ... д-ра техн. наук. – Алматы, 2008.
2. Грищенко В.Ф., Шведков В.И., Ломовицкий В.С. О результатах производственной проверки безрядковой (зерновой) сеялки // Механизация сельского хозяйства: сб. науч. тр. Рязанского СХИ.– Рязань, 1974. – Т.30. – С.5–12.
3. Ковриков И.Т. Основные принципы разработки распределительных устройств подпочвенно-разбросных сошников зерновых сеялок // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. – №5. – С.13–14.
4. Малев М.К. Обоснование параметров рабочих органов сеялок-культиваторов для посева на почвах, подверженных ветровой эрозии // Механизация возделывания зерновых культур на почвах, подверженных ветровой эрозии. – Алма-Ата, 1971. – С.95–117.
5. Каскарбаев Ж.А. Современные проблемы почвозащитного земледелия и перспективы зернового производства в засушливой степи Северного Казахстана // Современные проблемы почвозащитного земледелия и пути повышения устойчивости зернового производства в степных регионах. – Астана-Шортанды, 2006. – С. 67–77.



УДК 621.785.532

С.В. Агафонов

#### АЗОТИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ (НА ПРИМЕРЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ, ГИДРОМОТОРОВ)

*На основании проведенного математического моделирования и практических исследований определены оптимальные параметры процесса азотирования размерновосстановленных распределителей аксиально-поршневых насосов (гидромоторов), изготовленных из стали 38Х2МЮА.*

**Ключевые слова:** детали, химико-термическая обработка, азотирование, математическое моделирование, гибридный регрессионный комплекс.

S.V. Agafonov

#### NITRIDING IN THE ELECTROSTATIC FIELD IN RESTORATION OF WORN-OUT DETAILS IN AGRICULTURAL MACHINERY (ON THE EXAMPLE OF DISTRIBUTORS OF AXIAL AND PISTON PUMPS, HYDRO MOTORS)

*On the basis of the conducted mathematical modeling and practical research, optimal parameters of nitriding process of differently renewed valves in axial piston pumps (hydro motors) made of steel 38X2MЮA are determined.*

**Key words:** details, chemical and thermal processing, nitriding, mathematical modeling, hybrid set of regression.

---

В настоящее время имеются различные эффективные способы повышения долговечности деталей машин. Одним из наиболее эффективных и широко применяемых методов повышения долговечности многих ответственных деталей является их термическая и химико-термическая обработка (ХТО). ХТО воздействует на поверхностные слои металла, в которых концентрируются максимальные напряжения, возникают трещины, развиваются процессы износа и коррозии.

Химико-термическая обработка сочетает термическое и химико-термическое воздействия с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металла или сплава. Для повышения долговечности наиболее ответственных деталей машин широко используются процессы цементации,

нитроцементации и азотирования. Примером могут служить детали автомобилей, тракторов, станков, сельскохозяйственных и других машин.

Азотирование относится к числу наиболее эффективных методов ХТО, повышающих поверхностную твердость, прочность, износостойкость и коррозионную стойкость стальных изделий. Основным недостатком процесса азотирования является большая длительность технологического цикла.

**Цель исследований.** Разработка эффективного ресурсосберегающего технологического процесса азотирования в электростатическом поле при восстановлении изношенных деталей сельскохозяйственной техники, позволяющего получать на поверхности заданные эксплуатационные свойства.

На основании рассмотренных работ, проведенного библиографического анализа по различным видам химико-термической обработки и в соответствии с поставленной целью определены **задачи исследований**:

1. Разработать программный комплекс для осуществления моделирования режимов азотирования в электростатическом поле.

2. Определить оптимальные по энергоматериальным затратам технологические, электрические и газодинамические параметры процесса азотирования в электростатическом поле.

Разработка линейной регрессионной математической модели оптимальных режимов азотирования в электростатическом поле проводилась на базе опытов с цилиндрическими образцами диаметром 12 мм, изготовленных из стали 38Х2МЮА. При решении данной задачи (первого этапа) в качестве переменных были выбраны пять основных факторов, наиболее полно характеризующих процесс формирования азотированного слоя:

- $x_1$  – степень диссоциации аммиака, %;
- $x_2$  – температура процесса, °С;
- $x_3$  – длительность процесса, ч;
- $x_4$  – напряжение на электродах, В;
- $x_5$  – знак потенциала на образце.

Параметрами оптимизации служили:

- $y_1$  – поверхностная твердость по Виккерсу, HV;
- $y_2$  – износостойкость, мг/см<sup>2</sup>;
- $y_3$  – глубина азотированного слоя, мм.

По результатам опытов были рассчитаны коэффициенты уравнений линейной регрессии отдельно для каждого параметра оптимизации и проведена их статистическая обработка, получена обобщенная линейная модель процесса азотирования в электростатическом поле [1]:

$$y = d = 0,517 - 0,012x_1 + 0,147x_2 + 0,075x_3 + 0,025x_4 - 0,005x_5. \quad (1)$$

Для точного расчета оптимального режима азотирования был проведен второй этап апостериорного математического моделирования на базе нелинейных уравнений регрессии, при этом компьютерное моделирование данного этапа исследований и численные расчеты проводились в специальной программной среде «ГРЕК» – гибридный регрессионный комплекс, разработанной с участием автора [2].

Методологически второй этап состоял в следующем: проанализировав данные математического моделирования первого этапа, уравнение модели линейной регрессии, было расширено до векторно-матричного линейно-квадратичного уравнения вида [3]:

$$y(u) = c + Au + \text{diag} [u^T B_1 u, \dots, u^T B_3 u] \text{col}(1, \dots, 1) + \varepsilon(u), \quad (2)$$

или (после идентификации) в координатной форме:

$$\begin{aligned} y_1(u) &= 97,4 - 65,075u_1 - 3,706u_2 + 9,369u_3 + 5,991u_4 - 64,313u_1^2 + \\ &+ 25,339u_1u_2 + 11,2136u_1u_3 + 7,159u_1u_4 + 0,529u_2^2 - 8,346u_2u_3 - \\ &- 6,161u_2u_4 - 8,607u_3^2 + 6,29u_3u_4 + 6,227u_4^2; \\ y_2(u) &= 13,1 - 9,098u_1 - 2,232u_2 + 4,435u_3 - 2,235u_4 - 8,648u_1^2 + 3,531u_1u_2 - \\ &- 15,604u_1u_3 + 5,491u_1u_4 + 0,067u_2^2 + 2,361u_2u_3 + \\ &+ 0,502u_2u_4 - 3,986u_3^2 - 5,336u_3u_4 + 0,5u_4^2; \\ y_3(u) &= 17 + 0,398u_1 + 0,964u_2 + 1,388u_3 - 0,437u_4 + 0,226u_1^2 - 0,424u_1u_2 + \\ &+ 5,264u_1u_3 - 1,84u_1u_4 + 0,507u_2^2 + 0,091u_2u_3 - 0,772u_2u_4 - \\ &- 1,56u_3^2 - 0,027u_3u_4 + 0,702u_4^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $u_1$  – вариация (относительно  $x_1$ ) степени диссоциации аммиака  $10^{-1}$  %;

- $u_2$  – вариация (относительно  $x_2$ ) температуры процесса  $10^{-1}$ , °C;
- $u_3$  – вариация (относительно  $x_3$ ) длительности процесса  $10^{-1}$ , час;
- $u_4$  – вариация (относительно  $x_4$ ) напряжения на электродах  $10^{-3}$ , V.

Математическая модель (2) многофакторного процесса азотирования позволяет выявить наиболее критичные параметры и задать определяющие направления совершенствования используемых и разрабатываемых технологических установок получения азотированного слоя. Координаты оптимального режима, в котором показатель качества азотирования вида  $y_i(u)$  ( $i=1,2,3$ ) может иметь внутренний максимум или минимум, дает следующая формула:

$$u_i^* = -B_i^{-1} A^T e_i / 2, \tag{4}$$

где  $T$  – операция транспонирования (вектора, матрицы).

Комбинируя предыдущие результаты, аналитический расчет оптимального режима азотирования, обеспечивающий максимальную твердость, износостойкость и толщину азотированного слоя обрабатываемой поверхности, представляет следующий вид целевого функционала [4]:

$$F(u) = r_1 y_1(u) + r_2 y_2(u) + r_3 y_3(u), \tag{5}$$

или при  $r_1=0,5$ ,  $r_2=-0,3$ ,  $r_3=0,2$  согласно модели (3):

$$F(u) = 48,17 - 29,729u_1 - 0,99u_2 + 3,632u_3 + 3,579u_4 - 29,517u_1^2 + 11,526u_1u_2 + 11,341u_1u_3 + 1,564u_1u_4 + 0,346u_2^2 - 4,863u_2u_3 - 3,4u_2u_4 - 3,42u_3^2 + 4,74u_3u_4 + 3,1u_4^2. \tag{6}$$

Стационарная точка задачи оптимизации вида  $\max F(u)$  для линейно-квадратичного функционала позволяет вычислять параметры оптимизации режима азотирования.

В векторно-матричном представлении данная точка (вектор-столбец) согласно модели (2) имеет координаты

$$u^* = -(r_1 B_1 + r_2 B_2 + r_3 B_3)^{-1} (e_1 + e_2 + e_3)^T \text{diag}[r_1, r_2, r_3] A^T / 2, \tag{7}$$

или, то же самое, в физических размерностях с учетом «отсчета» от опорного режима  $x$  уравнение (7) определяет следующие эффективные технологические параметры режима азотирования:

$$u^{*T} = [46,76 \% \quad 537,794 \text{ }^\circ\text{C} \quad 19,378 \text{ час} \quad -21,3 \text{ V}]. \tag{8}$$

Полученный выше математический результат (в частности координаты стационарной точки режима азотирования) находится в хорошем соответствии с логикой физических рассуждений (рис. 1–6):

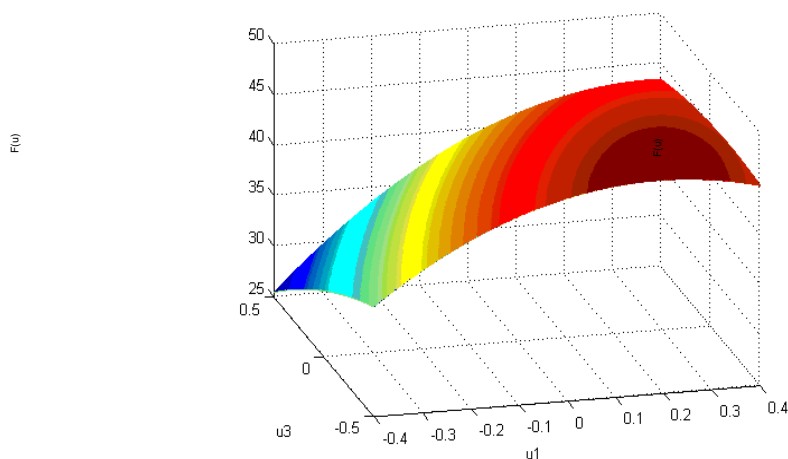


Рис. 1. Фрагмент целевого функционала  $F(u_1, u_3)$  в окрестности стационарной точки (4)

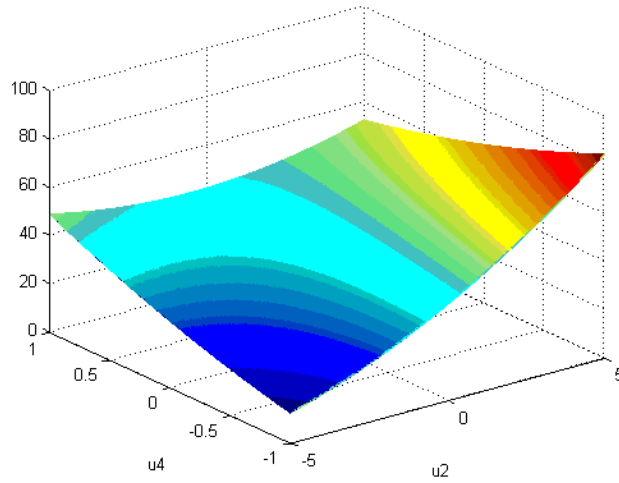


Рис. 2. Фрагмент целевого функционала  $F(u_2, u_4)$  в окрестности стационарной точки (4)

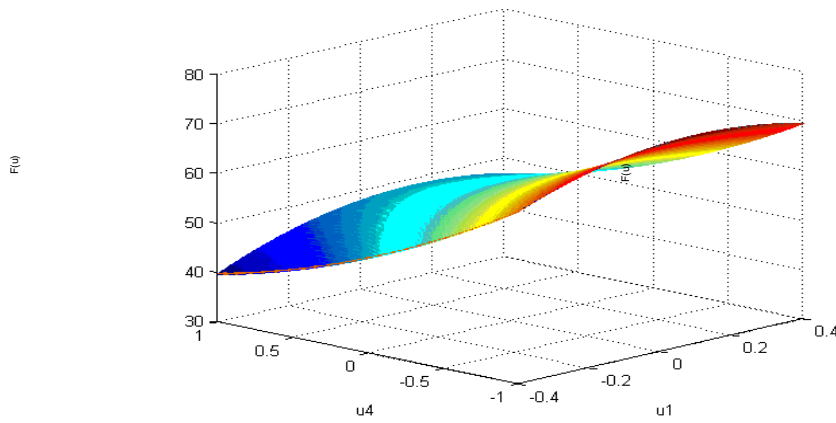


Рис. 3. Фрагмент целевого функционала  $F(u_1, u_4)$  в окрестности стационарной точки (4)

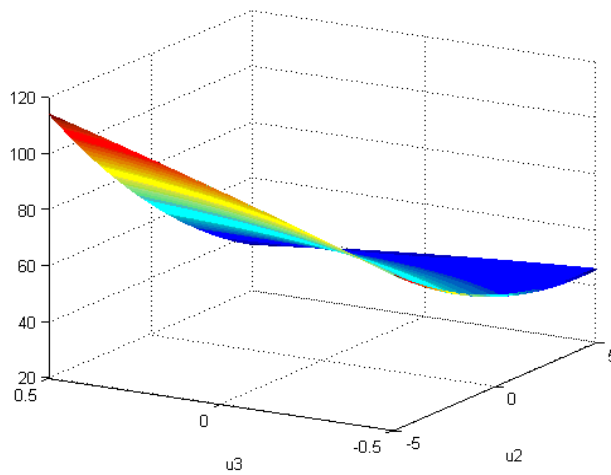


Рис. 4. Фрагмент целевого функционала  $F(u_2, u_3)$  в окрестности стационарной точки (4)

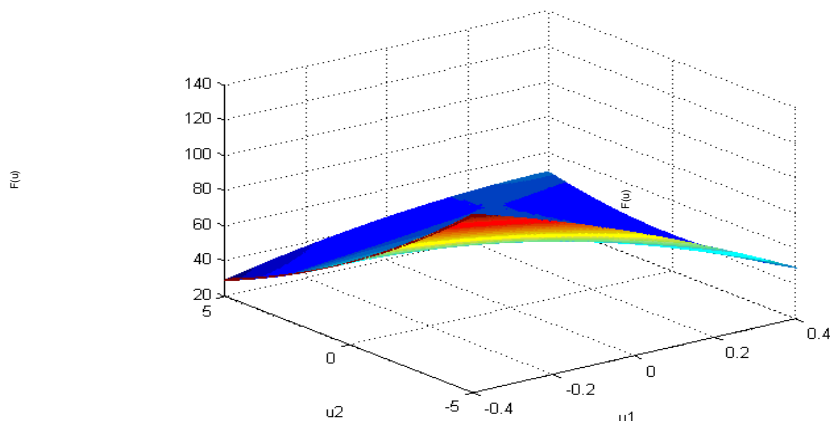


Рис. 5. Фрагмент целевого функционала  $F(u_1, u_2)$  в окрестности стационарной точки (4)

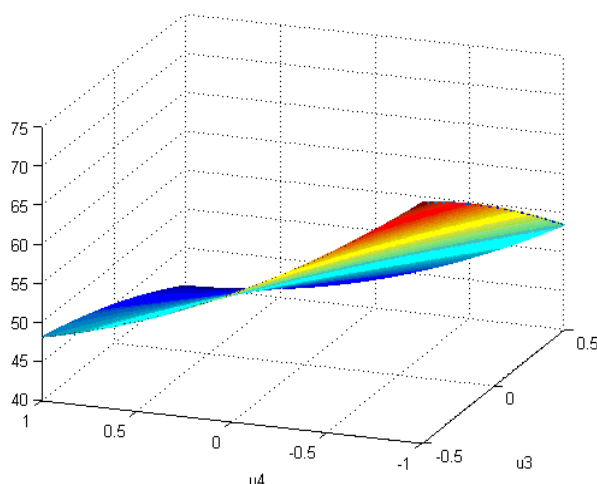


Рис. 6. Фрагмент целевого функционала  $F(u_3, u_4)$  в окрестности стационарной точки (4)

В стационарной точке  $u^*$  функционал качества  $F(u)$  достигает своего «max» по переменным  $u_1$  и  $u_3$  и «min», соответственно по  $u_2$  и  $u_4$ , т.е.  $u^*$  – седловая точка функционала (6). Физический смысл этого положения с учетом (8) означает следующее: нельзя для структуры (6) превышать степень диссоциации аммиака более чем на 46,76 %, для которой длительность азотирования равна 19,378 час. При этом одновременно не стоит опускать (делать меньше) температуру печи ниже 537,794 °С, а общий потенциал электростатического поля понижать ниже 21,3 V (см. рис. 1–6); в противном случае нарушение этих технологических параметров будет снижать эффективность процесса электростатического азотирования в смысле достижения осредненного показателя качества (6).

Таким образом, обобщая оба этапа оптимизации процесса азотирования в электростатическом поле размерновосстановленных распределителей аксиально-поршневых насосов (гидромоторов), аналитически установлено, что при соответствующей обработке изучаемой группы изделий, изготовленных из конструкционной стали 38Х2МЮА, оптимальными параметрами процесса азотирования следует считать: степень диссоциации аммиака – 25 %; температура процесса – 550 °С; длительность процесса – 25 час (40 час по стандартной технологии для получения слоя 0,4мм [5]); знак потенциала на обрабатываемых деталях – «минус»; напряжение на электродах – 1800 V.

## Литература

1. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.
2. Гибридный регрессионный комплекс «ГРЕК»: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2008614737 от 2.10.2008 / С.В. Агафонов, Д.Ю. Шарпинский, В.А. Русанов, [и др.]. – № 2008613718; заявл. 12.08.2008.
3. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
4. Теория выбора и принятие решений / И.М. Макаров [и др.]. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
5. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активных газовых средах. – М.: Машиностроение, 1979. – 224 с.



УДК 631.354

А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков,  
Ш.С. Иксанов, А.В. Корытко, П.А. Косов

### К ОБОСНОВАНИЮ СРОКОВ УБОРКИ ЗЕРНОФУРАЖНЫХ КУЛЬТУР И ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАЩЕННОСТИ УБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛЮЩЕНОГО КОРМОВОГО ЗЕРНА

*В статье рассматривается изменение фаз развития спелости зерна и сроков созревания в зависимости от продолжительности уборки. Представлен экспериментальный материал многолетних наблюдений фаз развития спелости и созревания зерна пшеницы в условиях Челябинской области региона Южного Урала, а также недомолота колоса при обмолоте хлебной массы в зерноуборочных комбайнах. Дано технологическое обоснование целесообразной технической оснащённости процесса уборки урожая на кормовые цели.*

**Ключевые слова:** зерно, фаза спелости, уборка, сроки, зерноуборочный комбайн, техническая оснащённость, влажность зерна, недомолот, барабан, молотилка.

A.P. Lovchikov, V. P. Lovchikov,  
Sh.S. Iksanov, A.V. Korytko, P.A.Kosov

### TO THE SUBSTANTIATION OF FEED GRAIN HARVESTING PERIOD AND TECHNICAL RIGGING OF HARVESTING PROCESS IN PRODUCTION TECHNOLOGY OF FLATTENED FODDER GRAIN

*Phases change of grain ripeness development and ripening period depending on harvesting duration are considered in the article. The experimental material of long-term observation of grain ripeness development and wheat grain ripening period in the conditions of Chelyabinsk region in the South Ural is presented. Insufficient thresh in threshing of ear mass in combine harvesters is given. Technological substantiation of expedient harvesting process technical rigging for fodder purposes is given in the article.*

**Key words:** grain, ripeness phase, harvesting, period, combine harvester, technical rigging, humidity of grain, insufficient thresh, reel, thresher.

---

Для повышения продуктивности животных в качестве корма используют зернофураж, который получают путем безобмолотной уборки зернофуражных культур. При скармливании такого корма, полученного в поздние фазы спелости созревания, не переваривается до 25 % зерна. В связи с чем была разработана технология раздельной уборки зернофуражных культур в фазе начала восковой спелости (влажность 24–35 %) с содержанием сухого вещества в зерне от 65 до 70 % с последующим его плющением и консервированием, поскольку в таком зерне (ячмень) повышается содержание сахара в 1,7 раза, снижается содержание клетчатки на 22,5 % и