



Міністерство освіти і науки України
Миколаївська обласна державна адміністрація
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
Національний технічний університет України
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Миколаївський національний аграрний університет



ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ - 2018

МАТЕРІАЛИ

**XIV-ї Міжнародної науково-практичної конференції
молодих учених, аспірантів і студентів
м. Миколаїв, 26-28 вересня 2018 року**

PROSPECTIVE TECHNICS AND TECHNOLOGIES – 2018

MATERIALS

**XIV-th International Scientific and Practikal Conference of
Young Scientists, Post–Graduate Students and Students
«Advanced Equipment and Technologies», 2018**

Mykolaiv, 26-28 september 2018

**2018, Mykolaiv national agrarian university.
Faculty of Engineering and Energy**

**Миколаїв
2018**

УДК 631.3:338.43
ББК 3+65.32-4
П27

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 2 від 30.10.2018 р.

Редакційна колегія:

Головний редактор:	Д.В. Бабенко, к.т.н., професор
Заступники головного редактора:	В.І. Гавриш, д.е.н., к.т.н., професор А.А. Ставинський, д.т.н., професор Л.В. Вахоніна, к.ф.-м.н., доцент Г.О. Іванов, к.т.н., професор Д.Д. Марченко, к.т.н., доцент О.А. Горбенко, к.т.н., доцент К.М. Горбунова, к.пед.н., доцент
Відповідальний секретар:	Д.Д. Марченко, к.т.н., доцент.

Перспективна техніка і технології – 2018 : матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26-28 вересня 2018 р., м. Миколаїв / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. – Миколаїв : МНАУ, 2018. – 145 с.

УДК 631.3:338.43
ББК 3+65.32-4
П27

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2018

ОРГКОМІТЕТ

Президія оргкомітету

Голова:

- **В.С. Шебанін** – д.т.н., професор, ректор Миколаївського національного аграрного університету.

Співголови:

- **О.Є. Новіков** – д.е.н., професор, проректор з наукової роботи Миколаївського національного аграрного університету;
- **М.І. Черновол** – д.т.н., професор, ректор Центральноукраїнського національного технічного університету;
- **К.М. Горбунова** – к.п.н., доцент, в.о. декана інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету;
- **О.В. Піскун** – директор департаменту агропромислового розвитку Миколаївської обласної державної адміністрації.

Склад організаційного комітету

Члени організаційного комітету:

- **А.І. Бойко** – д.т.н., професор, завідувач кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України;
- **Eugeniusz Krasowski** – д.т.н., професор кафедри мобільних машин і двигунів Люблінської сільськогосподарської академії (м. Люблін, Польща);
- **А.І. Свірідьонк** – д.т.н., професор, головний редактор журналу «Трение и износ» науково-дослідного центру проблем ресурсозбереження НАН Білорусії (м. Гродно, Білорусь);
- **Ivanovs Semjons** – д.т.н., професор, Латвійський аграрний університет (м. Елгава, Латвія);
- **Olt Jüri** – д.т.н., професор, Естонський університет природничих наук (м. Тарту, Естонія);
- **Д.Д. Марченко** – к.т.н., доцент, заступник декана з наукової роботи інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету.

Відповідальний секретар організаційного комітету:

- **Д.Д. Марченко** – к.т.н., доцент, заступник декана з наукової роботи інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету

The Presidium of the Organization Committee

The Head of the Committee:

- **V.S. Shebanin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Mykolayiv National Agrarian University.

Subheads of the Committee:

- **O.E. Novikov** – Doctor of Economics, Professor, Vice-president of scientific work of the National Agrarian University;
- **M.I. Chernovol** – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Central Ukrainian National Technical University;
- **K.M. Gorbunova** - Candidate of pedagogical sciences, associate professor, Acting Dean of the Faculty of Engineering of the energy Mykolayiv State Agrarian University;
- **A.V. Piskun** - Director of the Department of Agro-Industrial Development of Mykolaiv Regional State Administration.

The Staff of the Organization Committee

The Members of the Organization Committee:

- **A.I. Boyko** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of safety equipment of the National University of biological resources and the use of natural Ukraine;
- **Eugeniusz Krasowski** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of mobile machines and engines Lublin Agricultural Academy (c. Lublin, Poland);
- **A.I. Sviridonok** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief editor of "Friction and wear" Research Center of Resources Saving Problems of NAS of Belarus (c. Grodno, Belarus);
- **Ivanovs Semjons** - Doctor of Technical Sciences, Professor, University of Agriculture of Latvia (c. Jelgava, Latvia);
- **Olt Jüri** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Estonian University of Life Sciences (c. Tartu, Estonia);
- **D.D. Marchenko** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean for Research, Engineering and Energy Department Mykolayiv State Agrarian University.

The Executive Secretary of the Organization Committee:

- **D.D. Marchenko** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean for Research, Engineering and Energy Department Mykolayiv State Agrarian University.

UDC 001.891.57

**METHOD OF OPTIMAL LINEAR EXTRAPOLATION OF VECTOR
RANDOM SEQUENCES WITH FULL CONSIDERATION OF
CORRELATION CONNECTIONS FOR EACH COMPONENT**

I.P. Atamanyuk, doctor of technical sciences, professor

Nikolaev National Agrarian University

Y.P. Kondratenko, doctor of technical sciences, professor

Petro Mohyla Black Sea National University

The work is devoted to solving important scientific and technical problems of formation of the optimal method of mean-square linear extrapolation implementations of vector random sequences of any number of known values used for the forecast. The resulting method, in contrast to existing solutions prediction problem, take full account of a priori information about the target sequence for each component. Forecast model is synthesized based on the linear vector of the canonical decomposition of the random sequences. The formula for determining the mean square error of extrapolation, which allows us to estimate the accuracy of solving the problem of the prediction by the proposed method for some fixed number of known values and components of the vector sequence. The paper also shows a block-diagram of an algorithm for determining the parameters of the proposed method.

Key words: vector random sequences, linear canonical decomposition algorithm extrapolation

The solution of many actual scientific and technical problems associated with the use of algorithms and extrapolating devices, which are known ie observable part of the process make it possible to estimate the unknown inaccessible part of it. In particular extrapolating algorithms used in automatic control systems and objects inertial systems with delay. Exceptionally widely spread algorithm linear prediction vocoders used in modern digital communication systems, in the compressed audio and video signal [1]. It is also

widely used predictive algorithms based on neural networks, Kalman-Bucy filter, group method of data and some others [2-16]. However, despite this diversity, the need for high-speed, robust and highly accurate algorithms and devices of the forecast continues to be relevant in the present and in the future.

Assume that the random vector sequence $\{\bar{X}\} = \{X_1(i) \dots X_h(i) \dots X_H(i)\}$ in the study a number of points $t_i, i = \overline{1, I}$ given full matrix functions $M[X_h(i)], h = \overline{1, H}, i = \overline{1, I}; M[X_\lambda(\nu)X_h(i)], \nu, i = \overline{1, I}, \lambda, h = \overline{1, H}$. It is necessary to synthesize a method of predicting the future values of a random sequence $\{\bar{X}\}$ of known values $x_h(i), i = \overline{1, k}, k < I, h = \overline{1, H}$, which are obtained by measuring the target sequence on the observation interval $[t_1 \dots t_k]$.

Method, in contrast to existing solutions prediction problem, take full account of a priori information about the target sequence for each component.

The most universal method in terms of the restrictions that are imposed on the predicted sequences is the algorithm of extrapolation [17]:

$$m_h^{(r_1, \dots, r_k)}(i) = \begin{cases} M[X_h(i)], k = 0, i = \overline{1, I}, \\ m_h^{(r_1, \dots, r_k-1)}(i) + [X_{r_k}(k) - m_{r_k}^{(r_1, \dots, r_k-1)}(\mu)] \times \\ \times \varphi_{hk}^{(r_k)}(i), h = \overline{1, H}, i = k + 1, \overline{I}. \end{cases} \quad (1)$$

In the expression (1) $r_\mu, \mu = \overline{1, k}$ - number of components in the section t_μ . The parameters of the algorithm (1) are elements of the canonical decomposition:

$$X_h(i) = M[X_h(i)] + \sum_{\lambda=1}^h \sum_{\nu=1}^i V_\nu^{(\lambda)} \varphi_{h\nu}^{(\lambda)}(i), \\ h = \overline{1, H}, i = \overline{1, I}. \quad (2)$$

Relations for their definitions are of the form:

$$V_1^{(1)} = X_1(1) - M[X_1(i)], \\ V_i^{(h)} = X_h(i) - M[X_h(i)] - \sum_{\lambda=1}^h \sum_{\nu=1}^{i-1} V_\nu^{(\lambda)} \varphi_{h\nu}^{(\lambda)}(i), \\ h = \overline{1, H}, i = \overline{1, I}; \quad (3)$$

$$D_1^{(1)} = D_1(1), \\ D_i^{(h)} = D_h(i) - \sum_{\lambda=1}^h \sum_{\nu=1}^{i-1} D_\nu^{(\lambda)} [\varphi_{h\nu}^{(\lambda)}(i)]^2, \\ h = \overline{1, H}, i = \overline{1, I}; \quad (4)$$

$$\varphi_{hv}^{(\lambda)}(i) = \frac{1}{D_v^{(\lambda)}} M \left[V_v^{(\lambda)} (X_h(i) - M[X_h(i)]) \right],$$

$$h = \overline{1, H}, \lambda = \overline{1, h}, v, i = \overline{1, I}. \quad (5)$$

Expression (1) in the framework described in the canonical decomposition (2) the probability linear relations of sequence $\{\overline{X}\}$ allows to get the best result in the mean-square values of extrapolation $x_h(i), i = \overline{k+1, I}, h = \overline{1, H}$. However, the full properties of the target sequence $\{\overline{X}\}$ in (2) takes into account only for component $\{X_H\}$ (for $\{X_h\}, h < H$ it is not used in the formula (2) of interrelation communication $\{X_h\}$ with $\{X_{h+j}\}, j = \overline{1, H-h}$) and, thus, only this component results extrapolation algorithm (1) can be considered strictly optimal for the available capacity of a priori information about the investigated vector random sequence. For other component characteristics estimation accuracy (1) can be improved by increasing the amount of a priori information, which is used for the forecast.

In order to eliminate this disadvantage use to generate a extrapolation algorithm a canonical decomposition [18-20] sequences $\{\overline{X}\}$ with full consideration of interrelation connections for each component:

$$X_h(i) = M[X_h(i)] + \sum_{v=1}^{i-1} \sum_{\lambda=1}^H V_v^{(\lambda)} \varphi_{hv}^{(\lambda)}(i) +$$

$$+ \sum_{\lambda=1}^h V_i^{(\lambda)} \varphi_{hi}^{(\lambda)}(i), i = \overline{1, I}. \quad (6)$$

Elements of the expansion (6) are given by:

$$V_v^{(\lambda)} = X_\lambda(v) - M[X_\lambda(v)] -$$

$$- \sum_{\mu=1}^{v-1} \sum_{j=1}^H V_\mu^{(j)} \varphi_{\lambda\mu}^{(j)}(v) - \sum_{j=1}^{\lambda-1} V_v^{(j)} \varphi_{\lambda v}^{(j)}(v), v = \overline{1, I}; \quad (7)$$

$$D_\lambda(v) = M \left[\{V_v^{(\lambda)}\}^2 \right] = M \left[\{X_\lambda(v)\}^2 \right] -$$

$$- M^2[X_\lambda(v)] - \sum_{\mu=1}^{v-1} \sum_{j=1}^H D_j(\mu) \{ \varphi_{\lambda\mu}^{(j)}(v) \}^2 -$$

$$- \sum_{j=1}^{\lambda-1} D_j(v) \{ \varphi_{\lambda v}^{(j)}(v) \}^2, v = \overline{1, I}; \quad (8)$$

$$\varphi_{hv}^{(\lambda)}(i) = \frac{M \left[V_v^{(\lambda)} (X_h(i) - M[X_h(i)]) \right]}{M \left[\{V_v^{(\lambda)}\}^2 \right]} =$$

$$= \frac{1}{D_\lambda(v)} (M[X_\lambda(v) X_h(i)] - M[X_\lambda(v)] \times$$

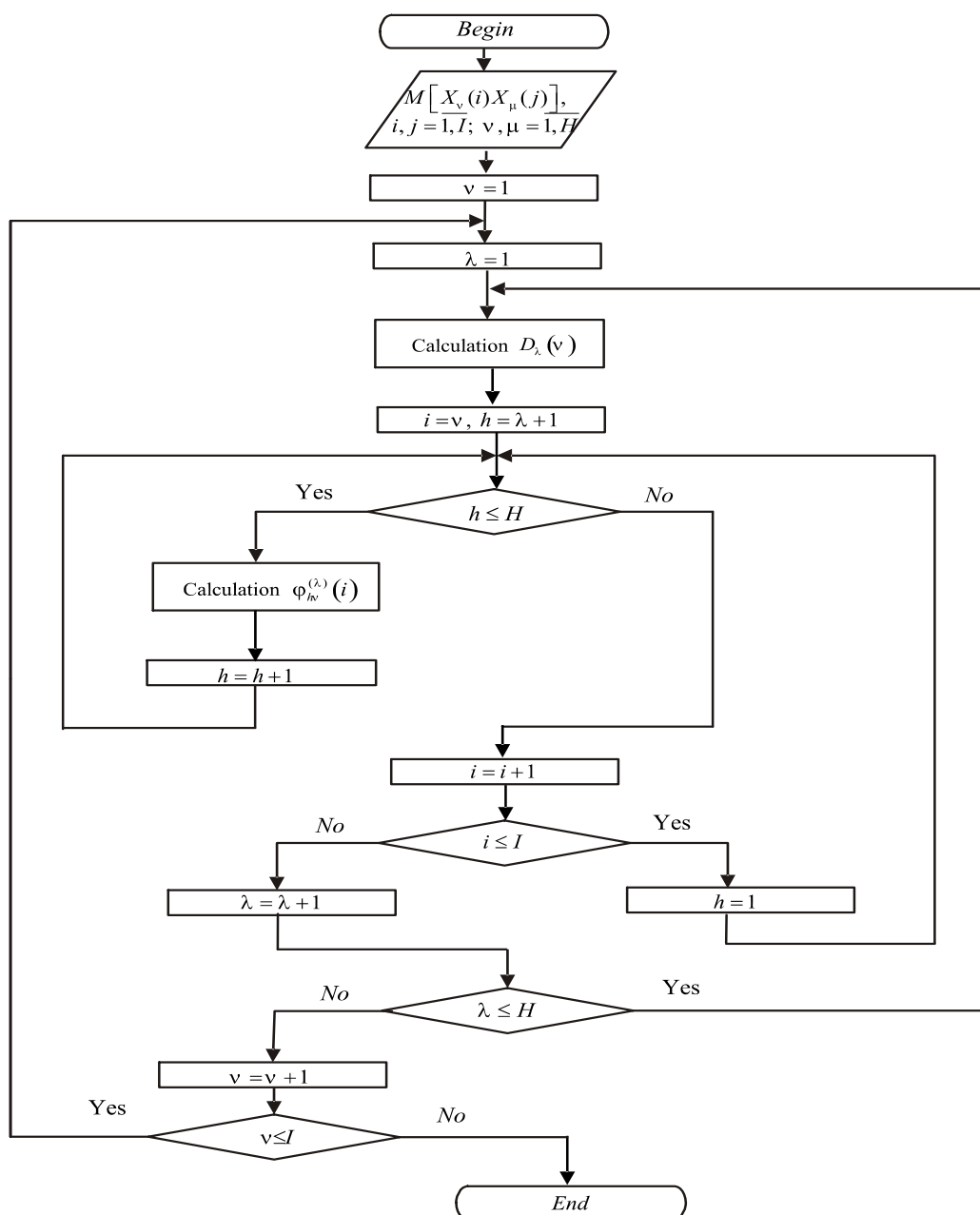
$$\quad (9)$$

$$\times M[X_h(i)] - \sum_{\mu=1}^{\nu-1} \sum_{j=1}^H D_j(\mu) \varphi_{\lambda\mu}^{(j)}(\nu) \varphi_{h\mu}^{(j)}(i) - \\ - \sum_{j=1}^{\lambda-1} D_j(\nu) \varphi_{\lambda\nu}^{(j)}(\nu) \varphi_{h\nu}^{(j)}(i)), \lambda = \overline{1, h}, \nu = \overline{1, I}.$$

The coordinate functions $\varphi_{hv}^{(\lambda)}(i)$, $h, \lambda = \overline{1, H}$, $\nu, i = \overline{1, I}$ are characterized by the following properties:

$$\varphi_{hv}^{(\lambda)}(i) = \begin{cases} 1, & h = \lambda \text{ \& } \nu = i; \\ 0, & i < \nu. \end{cases} \quad (10)$$

Block diagram of the algorithm for calculating the parameters of the canonical decomposition (6) is shown in pic. 1.



Pic. 1. Block diagram of the algorithm for calculating the parameters of the canonical decomposition (6)

Suppose that at time $\mu=1$ known value $X_1(1)=x_1(1)$ of the first component $\{X_1\}$ sequence $\{\bar{X}\}$ and thus knows the value of the random coefficient $V_1^{(1)} = v_1^{(1)} : v_1^{(1)} = x_1(1) - M[X_1(1)]$.

Substituting $v_1^{(1)}$ into (6) gives:

$$X_h^{(1,1)}(i) = M[X_h(i)] + (x_1(1) - M[X_1(1)])\phi_{h1}^{(1)}(i) + \sum_{\lambda=2}^H V_1^{(\lambda)} \phi_{h1}^{(\lambda)}(i) + \sum_{v=2}^{i-1} \sum_{\lambda=1}^H V_v^{(\lambda)} \phi_{hv}^{(\lambda)}(i) + \sum_{\lambda=1}^h V_i^{(\lambda)} \phi_{hi}^{(\lambda)}(i), \quad i = \overline{1, I}. \quad (11)$$

$X_h^{(1,1)}(i) = X_h(i / x_1(1))$ - a posteriori random sequence in which the component $\{X_1\}$ passes through the coordinate $x_1(1)$ at time $\mu=1$.

Application to the operation of the expectation (11) provides an estimate of the future value:

$$m_h^{(1,1)}(i) = M[X_h(i)] + (x_1(1) - M[X_1(1)])\phi_{h1}^{(1)}(i). \quad (12)$$

Let us consider the value $x_2(1)$ of the same implementation. For it is the expansion (11) that allows you to specify the value of the coefficient $V_2^{(1)} = v_2^{(1)}$. In view of (12) the expression for the coefficient $v_2^{(1)}$ can be written as:

$$v_2^{(1)} = x_2(1) - m_2^{(1,1)}(1). \quad (13)$$

that allows to record:

$$m_h^{(1,2)}(i) = m_h^{(1,1)}(i) + [x_2(1) - m_2^{(1,1)}(1)]\phi_{h1}^{(2)}(i). \quad (14)$$

With a further increase in the a posteriori information is used to forecast the resulting pattern gives a generalization of extrapolation algorithm for an arbitrary number of measurement points

$$m_h^{(\mu,l)}(i) = \begin{cases} M[X_h(i)], \quad \mu = 0; \\ m_h^{(\mu,l-1)}(i) + [x_l(\mu) - m_l^{(\mu,l-1)}(\mu)]\phi_{hl}^{(l)}(i), \\ l \neq 1, \quad \mu = \overline{1, k}, \quad i = \overline{k+1, I}; \\ m_h^{(\mu,H)}(i) + [x_1(\mu) - m_1^{(\mu-1,H)}(\mu)]\phi_{h\mu}^{(1)}(i), \\ l = 1, \quad \mu = \overline{1, k}, \quad i = \overline{k+1, I}. \end{cases} \quad (14)$$

$m_h^{(\mu,l)}(i) = M[X_h(i) / x_\lambda(v), \lambda = \overline{1, H}, v = \overline{1, \mu-1}; x_j(\mu), j = \overline{1, l}], \quad h = \overline{1, H}, \quad i = \overline{k, I}$ - optimal for the criterion of the minimum mean square error of the forecast estimates of future

values of the target sequence, provided that the values of $x_{\lambda}(\nu)$, $\lambda = \overline{1, H}$, $\nu = \overline{1, \mu-1}$; $x_j(\mu)$, $j = \overline{1, I}$

The first expression of the algorithm (15) corresponds to the case where a posteriori information is not provided, in the second ratio consistently recurrently known value is accounted for vector random sequences for the fixed time, and the third expression moves to the next point in time for the further accumulation of information, which is used to forecast .

The mean square error of extrapolation algorithm (15) is given by

$$E_h^{(\mu, l)}(i) = D_{x_h}(i) - \sum_{\nu=1}^{\mu-1} \sum_{\lambda=1}^H V_{\nu}^{(\lambda)} \varphi_{h\nu}^{(\lambda)}(i) - \sum_{j=1}^I V_{\mu}^{(j)} \varphi_{h\mu}^{(j)}(i), \quad i = \overline{k+1, I}.$$

In the paper is formed prediction algorithm vector random sequences. Method well as the canonical decomposition, put in its basis, fully take into account for each component of all known information about the target sequence. This ensures the absolute minimum mean square error linear prediction for an arbitrary component. It is also an expression for the mean square error of extrapolation, which allows to evaluate the quality of solving the problem of forecasting for any number of dimensions and the number of components of the study of vector random sequences.

Literature

1. Oppenheim E. 1980. Digital processing of speech signals. Moscow: Mir, 323.
2. Kolmogorov A. 1941. Interpolation and extrapolation of stationary random sequences. Izv. USSR Academy of Sciences. Ser. Math, 3–14.
3. Wiener Y. 1961. The interpolation, extrapolation and smoothing of stationary time series. N.Y.: J. Wiley, 341.
4. Kalman R. 1961. New Results in Linear Filtering and Prediction. Journal of Basic Engineering. № 83, 95–108.
5. Ivakhnenko A. 1991. Begin inductive theory of the uneven recognition and forecasting of the casual processes and event. Kiev: Institute of the cybernetics AN Ukraine, 348.
6. Ivakhnenko A. 1975. Long-term forecasting and management complex system. Kiev: Tehnika, 389.

- 7.Box J. 1974. Time series analysis, forecasting and management. Moscow: Mir, 230.
- 8.Kalman R.E. 1960. A new approach to linear filtering and prediction problems. Basic Engg. v. 82 (Series D). 35– 45.
- 9.Ivakhnenko A., Lapa V. 1971. Prediction of random processes. Kiev: Naukova Dumka, 421.
- 10.Pugachev V. 1962. The theory of random functions and its prominence. Moscow: Fizmatgiz, 751.
- 11.Kudritsky V. 1982. Predicting the reliability of radio devices. Kiev: Tehnika, 217.
- 12.Atamanyuk I.P. 2005. Algorithm of Extrapolation of a Nonlinear Random Process on the Basis of Its Canonical Decomposition. Cybernetics and Systems Analysis. Volume 41, Issue 2, USA, 267-273.
- 13.Atamanyuk I., Kondratenko V., Kozlov O., Kondratenko Y. 2012. The algorithm of optimal polynomial extrapolation of random processes. Lecture Notes in Business Information Processing. 115 LNBIP, 78–87.
- 14.Atamanyuk I., Kondratenko Y. 2012. Polynomial algorithm for predicting the reliability of stochastic technical objects on the basis of the apparatus of canonical expansion. MOTROL. No2, 77–83.
- 15.Atamanyuk I., Kondratenko Y. 2011. Algorithm of extrapolation of nonlinear casual process on the base of its canonical decomposition: Proceedings of the First International Workshop Critical Infrastructure Safety and Security (CrISS-DESSERT'11). Volume 2, 308–314.
- 16.Atamanyuk I.P. Kondratenko Y.P. 2013. Information Technology of Determination of Descriptions of Optimum Polinomial Prognosis Algorithm of the State of Technical Systems. MOTROL. Motorization and Energetics in Agriculture, Lublin, Poland. Vol. 15 (2), 47-50.
- 17.Kudritsky V.D. 2001. Filtering, extrapolation and recognition implementations of random functions. K: Fada, Ltd. 176.

18. Atamanyuk I.P. 1998. Canonical decomposition of the vector random process taking fully into account the correlations for each component. Engineering. Bulletin ZITI. №8, 119-120.
19. Atamanyuk I. 2001. Implementation algorithm of nonlinear random sequence based on its canonical decomposition. Electronic simulation. №5, 38–46.
20. Atamanyuk I.P. 2010. Simulation algorithm implementations nonlinear vector random sequences based on the apparatus of canonical expansions. Cybernetics and Computer Science. № 162, 82-91.

Способ оптимальной линейной экстраполяции векторных случайных последовательств с полным рассмотрением корреляционных соединений для каждого компонента. И. А. Атаманюк, Ю. П. Кондратенко

Работа посвящена решению важных научно-технических задач формирования оптимального метода среднеквадратичных линейных экстраполяционных реализаций векторных случайных последовательств любого числа известных значений, используемых для прогноза. Полученный метод, в отличие от проблемы прогнозирования существующих решений, полностью учитывает априорную информацию о целевой последовательности для каждого компонента. Прогнозная модель синтезируется на основе линейного вектора канонического разложения случайных последовательств. Формула для определения среднеквадратической ошибки экстраполяции, которая позволяет оценить точность решения задачи прогнозирования предложенным методом для некоторого фиксированного числа известных значений и компонент векторной последовательности. В работе также показана блок-схема алгоритма для определения параметров предложенного метода.

Спосіб оптимальної лінійної екстраполяції векторних випадкових послідовностей з повним розглядом кореляційних з'єднань для кожного компонента. І. А. Атаманюк, Ю. П. Кондратенко

Робота присвячена вирішенню важливих науково-технічних завдань формування оптимального методу середньоквадратичних лінійних екстраполяційних реалізацій векторних випадкових послідовностей будь-якого числа відомих значень, використовуваних для прогнозу. Отриманий метод, на відміну від проблеми прогнозування існуючих рішень, повністю враховує апіорну інформацію про цільову послідовності для кожного компонента. Прогнозна модель синтезується на основі лінійного вектора канонічного розкладання випадкових послідовностей. Формула для визначення середньоквадратичної помилки екстраполяції, яка дозволяє оцінити точність рішення задачі прогнозування запропонованим методом для деякого фіксованого числа відомих значень і компонент векторної послідовності. У роботі також показана блок-схема алгоритму для визначення параметрів запропонованого методу.

УДК 637.522

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЬНИХ ПАШТЕТНИХ МАС ДЛЯ
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
ПАШТЕТНИХ ПРОДУКТІВ**

Л.М. Борсолюк, науковий співробітник

Л.І. Войцехівська, кандидат технічних наук, завідувач відділу технології м'ясних продуктів

С.Б. Вербицький, кандидат технічних наук, заступник завідувача відділу інформаційного забезпечення, стандартизації та метрології

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ

У статті охарактеризовано сучасні підходи до проектування рецептур функціональних м'ясних продуктів, зокрема паштетів. Доведено, що долучення до рецептур м'ясних паштетів такої сировини рослинного походження, як борошно та олії, позитивним чином впливає на функціонально-технологічні та структурно-механічні властивості зазначених продуктів, зокрема зумовлює ніжнішу консистенцію. Встановлено, що найбільшою ніжністю відрізнявся зразок з кукурудзяним борошном та купажем кукурудзяної та лляної олії у співвідношенні 90:10 за масою.

Ключові слова: функціональні харчові продукти, функціональні паштети, вологозв'язуюча здатність, структурно-механічні характеристики, пенетрація, пружність

Повноцінне активне та здорове життя особливих груп споживачів (дітей, літніх людей, хворих на хронічні захворювання, активних спортсменів та ін.) неможливе без функціональних харчових продуктів, призначених для систематичного вживання у складі раціонів, сформованих з метою задоволення їх спеціальних харчових потреб і пов'язаних зі збереженням та покращенням стану здоров'я, зниженням ризику розвитку певних захворювань та ін., для чого зазначені продукти збагачують низкою фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів [1-3].

Важливе місце серед усього різноманіття функціональних харчових продуктів посідають м'ясні продукти, яким надають зазначених властивостей, зокрема, шляхом модифікування жирнокислотного складу (зниження частки насичених жирних кислот і збільшення частки мононенасичених і поліненасичених жирних кислот) завдяки частковій заміні тваринного жиру рослинним [4]. Висока біологічна цінність функціональних м'ясних продуктів забезпечується поєднанням м'ясної сировини з харчовими і білковими добавками тваринного і рослинного походження (в формі ізолятів, концентратів, борошна), для яких характерні

виражені функціональні властивості та належний вміст необхідних поживних речовин [5]. Проведені дослідження функціональних паштетних продуктів показали доцільність використання із зазначеною метою рисового, лляного та кукурудзяного борошна [3], соняшникової, лляної та кукурудзяної олій [6].

З метою проектування функціональних м'ясних паштетних продуктів для харчування дітей дошкільного та шкільного віку було виготовлено та досліджено модельні паштетні маси з долученням до рецептур різних рослинних олій, їх купажів, а також низки видів борошна.

У ході виконання досліджень визначали: масову частку білка за вмістом загального азоту (за К'ельдалем) з наступною відгонкою аміаку; масову частку вологи термогравіметричним методом за допомогою електронних ваг-вологоміру ADS-50 (AXIS) шляхом висушування наважки до постійної маси за температури 105°C; вологозв'язуюча здатність (B33) методом пресування.

Структурно-механічні дослідження проводили на універсальній випробувальній машині SANS CMT2000, модель 2503 (рис. 1), яка дозволяє здійснювати визначення зазначених властивостей шляхом постійного вимірювання та реєстрації навантаження, що виникає внаслідок опору зразка механічній дії. Визначення показників граничної напруги зсуву (пенетрації) здійснювали за допомогою конічного індентора (рис. 2, б), показників пружності (еластичності) – за допомогою циліндричного індентора (рис. 2, а). Зразок продукту певної форми розміщували на нерухомій рамі та центрували відносно насадки. Далі запускали хід траверси та вмикали реєстрацію отриманих даних комп'ютером. Усі математичні розрахунки щодо обчислення даних показників та графічне оброблення результатів здійснювали за допомогою програмного забезпечення Power Test_DOOE V.3.6. Практичні аспекти використання універсальної електромеханічної випробувальної машини для визначення

пенетрації та інших структурно-механічних показників м'ясних продуктів викладено, зокрема, у [7-9].



Рис. 1. Універсальна випробувальна машина SANS CMT2000, модель 2503

Для виготовлення модельних паштетних мас використовували лляне борошно, що, як функціональний компонент, нормалізує роботу шлунково-кишкового тракту, як технологічний компонент – сприяє збільшенню ВЗЗ м'ясної системи. Використання соняшникового борошна дозволяє отримати продукт, збалансований за хімічним складом і збагачений білками, необхідними для нормального функціонування організму, використання кукурудзяного борошна інтенсифікує виведення з організму жирів накопичень. Останній вид борошна за вмістом білків та жирів суттєво поступається лляному та соняшковому, проте містить більше вуглеводів.

Зважаючи на зазначене, рецептури функціональних паштетних виробів формують, поєднуючи кукурудзяне та лляне борошно [3].

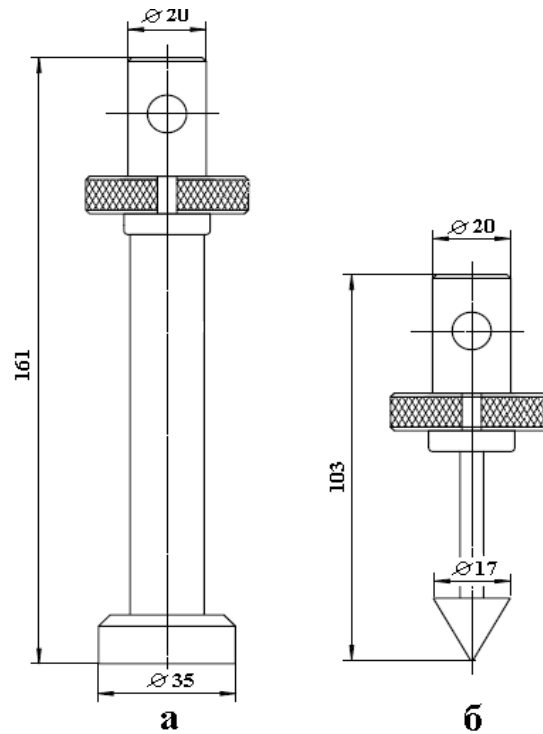


Рис. 2. Індентори:

- а - циліндричний для визначання пружності;
б - конічний для визначання пенетрації

Відомо [3], що у складі функціональних паштетів слід використовувати не окремі види рослинних олій, а їх купажі, які дозволяють забезпечити необхідне для профілактичного харчування співвідношення лінолевої та ліноленової жирних кислот (близько 10:1): купаж 1 кукурудзяної та лляної олії у пропорції 85:15 (співвідношення жирних кислот 10,5:1,0); купаж соняшникова та лляна олії у пропорції 90:10 (співвідношення жирних кислот 10,0:1,0).

У ході дослідних виробок модельних м'ясних паштетів використовували м'ясну сировину: свинину напівжирну, яловичину вищого сорту, печінку курячу, серце куряче, до якої для досліду 1 додавали: соняшникове борошно і купаж олій 1 (суміш кукурудзяної та лляної олії у співвідношенні 85:15); для досліду 2 – кукурудзяне борошно

та купаж олій 1; для досліду 3 – борошняну суміш (кукурудзяне та лляне борошно у співвідношенні 1:1) і купаж олій 2 (суміш соняшникової та лляної олії у співвідношенні 90:10).

Виявлені у ході досліджень функціонально-технологічні показники зразків модельних м'ясних паштетів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Функціонально-технологічні показники паштетів, %

Зразок	Білок	Волога	ВЗЗ
Контроль	14,00	59,11	85,39
Дослід 1	16,23	54,94	90,44
Дослід 2	14,81	54,88	91,53
Дослід 3	15,20	56,48	94,29

Додавання борошна впливало на всі дослідні зразки паштетних мас у подібний спосіб – завдяки додаванню борошна вміст загального білка порівняно з контролем збільшувався. Наприклад, у дослідному зразку 1 вміст білка збільшився на 2,23 % за рахунок соняшникового борошна, долученого до рецептури. Порівняно з контрольними, всі дослідні зразки характеризувалися більшими (на 5,05 – 8,90 %) показниками ВЗЗ.

Характер впливу компонентів рослинного походження на досліджені структурно-механічні показники готових паштетів – penetрацію та пружність видно з діаграми на рис. 3.

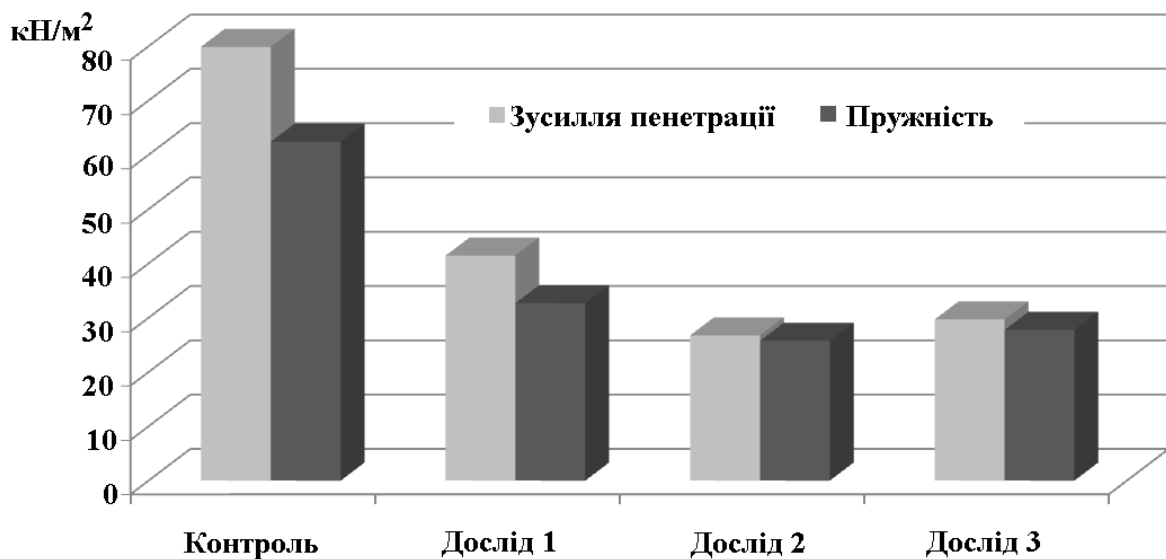


Рис. 3. Структурно-механічні показники паштетів

Дослідні зразки паштетних мас відрізнялися меншими, порівняно з контрольними зразками, значеннями показників пенетрації (в 1,9-3,0 рази) та пружності (в 1,9-2,4 рази), що свідчить про те, що консистенція зазначених зразків була суттєво ніжнішою. У цьому сенсі, найприйнятнішим був дослідний зразок 2 з кукурудзяним борошном та сумішшю кукурудзяної та лляної олії в рецептурі.

Виходячи з отриманих результатів досліджень, можна припустити, що зниження міцнісних властивостей дослідних паштетних мас пов'язане зі збільшенням значень показника ВЗЗ, а також зі зменшенням частки білків м'яса, які формують щільнішу структуру, ніж білки рослинного походження.

Виконані дослідження функціонально-технологічних та структурно-механічних властивостей модельних паштетних мас дозволяють аргументовано виконувати проектування рецептур функціональних паштетів, призначених для дітей дошкільного та шкільного віку.

Література

1. Premkumar, J., & Ranganathan, T. V. (2018). Bioingredients: Functional properties and health impacts. *Current Opinion in Food Science*. p. 120-126.
2. Freitas A. C., Rodrigues D, Rocha-Santos T. A., Gomes A. M., Duarte A. C.: Marine biotechnology advances towards applications in new functional foods. *Biotechnol Adv* 2012, 30:1506-1515.
3. Борсолук, Л. М. Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей рослинної сировини у складі паштетних продуктів / Л. М. Борсолук, Л. І. Войцехівська, С. Б. Вербицький, В. Ю. Лизова // Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. – НААН; Ін-т прод. Ресурсів НААН. – К.: ТОВ “Барми”, 2017. – № 9. – С. 79-86.
4. Лисицын, А. Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом /

А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О. И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. Т. 3 (1). – 2018. – С. 29-45.

5. Баженова, Б. А. Исследование потребительских свойств мясного изделия функционального назначения / Б. А. Баженова, И. А. Ханхалаева, С. В. Андреева // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2016. – №6 (63). – С. 95-100.

6. Борсолук, Л. М. Порівняння властивостей рослинних олій та їх купажів, використовуваних у складі функціональних паштетних продуктів / Л. М. Борсолук, С. Б. Вербицкий, Л. І. Войцехівська, Т. В. Шелкова // Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини: матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. – Кривий Ріг, 19-20.04.2018 г.: ДонНУЕТ, 2018, С. 19,20.

7. Sarıçoban, C. İki farklı yöntemle kemiksizleştirilmiş piliç etlerinden üretilen sosislerin bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespiti / C. Sarıçoban, M. Karakaya // S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi. – 2005. – № 19 (35). – S. 115-121.

8. Вербицкий, С. Б. Тонкое измельчение мясного сырья на эмульсаторах в одну и две стадии: энергозатраты и качество обработки / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко // Современные технологии производства и переработки сельскохозяйственного сырья для создания конкурентоспособных пищевых продуктов : Материалы Международной научно-практической конференции / Волгогр. государств. техн. ун-т. – Волгоград, –2007. – С. 283-288.

9. 165. Франко, О. В. Результати порівняльних досліджень тонкого подрібнення м'ясної сировини в одну та дві стадії / О. В. Франко, В. В. Шевченко, С.Б. Вербицкий // Вісник аграрної науки. – 2007. – № 4. – С. 63-65.

Исследования модельных паштетных масс для разработки технологии функциональных паштетных продуктов. Л.Н. Борсолук, Л.У. Войцеховская, С.Б. Вербицкий

В статье охарактеризованы современные подходы к проектированию рецептур функциональных мясных продуктов, в частности паштетов. Доказано, что введение в рецептуры мясных паштетов такого сырья растительного происхождения, как мука и масла, положительным образом влияет на функционально-технологические и структурно-механические свойства указанных продуктов, в том числе обуславливает более нежную консистенцию. Установлено, что наибольшей нежностью отличался образец с кукурузной мукой и купажем кукурузного и льняного масла в соотношении 90:10 по массе.

Research of model meat paste stuffs aiming at development of technology of functional pâté products. L.M. Borsoliuk, L.I. Voitsekhivska, S.B. Verbytskyi

This article contains characteristics of the advanced approaches to the forming of formulations of the functional meat products, including pâtés. The incorporation of such plant raw materials, as flour and oils, into formulations of meat pâtés is proven to positively affect functional, technological and rheological properties of the said products, including guaranteeing their more tender texture. The highest tenderness was found in the specimen containing corn flour and the blend of corn and flaxseed oil in the proportion of 90:10 (by mass).

УДК 678.073.661.481

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ НАНОКОМПОЗИТОВ

Е.Ф. Кудина, кандидат технических наук, доцент

Г.Г. Печерский, кандидат технических наук, доцент

Н.С. Полещук, кандидат технических наук, доцент

***ГНУ «Институт механики систем им. В. А. Белого НАН
Беларуси»***

В статье приведены результаты исследований оптимального состава силикатно-полимерного раствора, обладающего высокой стабильностью и длительным временем начала гелеобразования, а также достаточно высокой прочностью сформировавшегося на его основе геля, чтобы выдерживать значительные градиенты давления. Установлено, что увеличение содержания кислоты в бинарной системе коррелирует со снижением ТГО и возрастанием прочности.

Ключевые слова: гелеобразование, гомогенные гели, модификация, нанокompозит

В настоящее время развитие нефтедобывающего комплекса характеризуется рядом проблем, обусловленных трудностью извлечения остаточных запасов и увеличением обводненности нефти [1]. Нефть в основном залегает в сложнопостроенных трещиноватых коллекторах и извлекается с использованием системы поддержания пластового давления при искусственном водонапорном режиме, в результате чего повышается обводненность сырой нефти. Поэтому на многих месторождениях проводятся работы по закупориванию каналов в основном за счет закачивания гелевых, осадкообразующих и вяжущих композиций, составляющих основу потокоотклоняющих технологий [1-4]. Проведение данных работ позволяет увеличить реальные дебиты нефти за счет снижения ее обводненности.

Основными причинами низкой эффективности заводнения являются: капиллярные силы, удерживающие в пористой среде нефтяных пластов 20-45% нефти, а также неравномерное вытеснение нефти водой из неоднородных пластов, в результате чего в низкопроницаемых пластах и пропластках остается значительное количество нефти. Капиллярно удерживаемую нефть вытесняют с помощью растворов поверхностно-активных веществ и композиций на их основе. Степень извлечения нефти

из неоднородных пластов можно увеличить, если снизить проницаемость водопроводящих высокопроницаемых каналов, что достигается путем генерирования в них различных тампонирующих масс (осадков, гелей, закачки суспензий глинистых частиц и т.п.). Прекращение фильтрации воды через высокопроницаемые каналы приводит к перераспределению фильтрационных потоков в пласте и вытеснению плохо дренированных запасов нефти. Для повышения нефтеотдачи известно много способов и составов, однако высокую технологическую и экономическую эффективность показали только следующие потокоотклоняющие технологии: полимерные системы; осадко-гелеобразующие составы; полимер-дисперсные системы.

При этом используются изоляционные составы:

- гелеобразующие: силикатные и полимерные гели;
- тампонажные: кремнийорганические соединения и синтетические смолы;
- цементы: пластификаторы (повышение подвижности), понизители водоотдачи (повышение седиментационной устойчивости), расширяющие добавки.

Промысловый опыт показал, что наиболее эффективной технологией для ограничения водопритока по сравнению с применением стандартных тампонажных растворов [1, 5-9] является использование гелеобразующих композиций. Гелеобразующие композиции представляют собой, до реакции гелеобразования, растворы близкие по вязкости к воде, и эффективность достигается за счет глубокого проникновения в пласт.

Наиболее перспективным направлением для снижения обводненности добывающих скважин и увеличения нефтеотдачи пластов, разрабатываемых с использованием заводнения, в настоящее время является применение силикат-полимерного геля. В основе технологии заложено блокирование высокопроницаемых обводненных зон и трещин неоднородного пласта гелем, образующимся в результате последовательной закачки в пласт

оторочек пресной воды, силикатного раствора и гелеобразующей композиции с выдержкой последнего до образования геля с дальнейшим вводом скважины под нагнетание. При применении данной технологии устраняется прорыв воды к добывающим скважинам, вовлекаются в разработку низкопроницаемые участки пласта. Технология может быть реализована на месторождениях, заводняемых пресной или слабоминерализованной водой и со средней приемистостью скважины не менее $500 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Большой интерес представляет селективная закупорка высокопроницаемых обводненных или поглощающих пористых сред силикатами (низкомодульное, высокомодульное и порошкообразное) и их композициями с регулируемыми свойствами, образующихся гелей в пласте и регулируемым временем гелеобразования. Коллоидные кремнеземы представляют собой дисперсные системы с содержанием оксида кремния в количестве 20-40 вес.% и размером частиц от 7 до 200 нм, в любом соотношении смешиваются с пресной водой, обладая при этом низкой первоначальной вязкостью (от 1,5 до 150 мПа·с), образуя гели под влиянием тех или иных факторов. Химические свойства кремнезема характеризуются большой реакционной способностью как из-за большой поверхности, так и в связи с высокой аморфностью кремнезема в дисперсной фазе. Особую группу составляют реакции взаимодействия частиц золя непосредственно между собой или с связующими агентами. Силикаты - доступное сырье, нетоксичны, экологически безвредны.

Основная задача исследований в данном направлении состоит в разработке оптимального состава силикатно-полимерного раствора, обладающего высокой стабильностью и длительным временем начала гелеобразования, а также достаточно высокой прочностью сформировавшегося на его основе геля, чтобы выдерживать значительные градиенты давления. При этом также необходимо учитывать и такие факторы, как эффективность действия гелеобразующего состава,

расширение возможностей его применения (температурный диапазон и степень минерализации пластовых вод) и стоимость.

В связи с вышеизложенным целью данной работы являлось разработать составы на основе раствора силиката натрия, позволяющие получать стабильные системы, образующие гомогенные гели при повышенных температурах и фиксированных интервалах времени для получения материалов, повышающих нефтеотдачу нефтяных месторождений.

Объектами исследования являлись композиции на основе водного раствора силиката натрия – жидкого натриевого стекла (ЖС, $n=2,9$) и модификаторов: кислот – неорганических (соляная, серная, фосфорная) и органических (малеиновая (МК), янтарная (ЯК), акриловая (АК) и уксусная (УК)) и трехатомного спирта глицерина (ГЛ). Реагенты совмещали в определенных соотношениях и последовательности. Готовые композиции подвергались термической обработке при $T=65\pm 2^{\circ}\text{C}$ или $T=75\pm 2^{\circ}\text{C}$, при которой проводилось измерение ТГО – время, по истечению которого раствор теряет текучесть. Прочность полученных гелей измерялась через 24 часа после их образования пенетрации. Реологические свойства определяли в условиях возрастающей скорости деформации на ротационном вискозиметре «Реотест-2».

Исследования показали, что все выбранные реагенты, за исключением глицерина, при определенных концентрациях в ЖС способны образовывать гомогенные гели (табл.1). Однако введение кислоты уже в количестве 0,1% может вызывать быстрое гелеобразования раствора. Экспериментально установлено, что увеличение содержания кислоты в бинарной системе коррелирует со снижением ТГО и возрастанием прочности. Прочность образующихся гелей оказывается наибольшей при действии более слабых органических кислот.

Таблица 1

Влияние модифицирования ЖС на свойства образующихся гелей

Кислота	Концентрация* кислоты	ТГО при T=65±2°C, мин.	Прочность геля, кН/м ²
HCl (pK _a = -7)	1,15	30	<3,6
	1,37	15	<3,6
	1,80	5	9,8
H ₂ SO ₄ (pK _a = -3)	0,09	120	<3,6
	0,11	60	5,4
	0,12	10	9,8
H ₃ PO ₄ (pK _a = 2,12)	0,39	200	<3,6
	0,45	45	6,2
	6,50	2	9,8
МК (pK _{a1} = 1,92; pK _{a2} = 6,23) HOOCCH ₂ COOH	0,89	50	3,6
	2,30	5	21,7
	3,16	2	49,4
ЯК (pK _{a1} = 4,2; pK _{a2} = 5,64) HOOCCH ₂ CH ₂ COOH	0,89	420	<3,6
	1,27	180	4,5
	1,34	60	8,0
АК (pK _a = 4,26) CH ₂ CHCOOH	0,45	15	<3,6
	1,80	1	11,6
	7,38/7,38**	2/210	10,6/109,0
УК (pK _a = 4,75) CH ₃ COOH	1,26	200	6,2
	1,44	12	21,7
	1,62	8	32,8
ГЛ (pK _a = 9,26) HOCH ₂ CHONCH ₂ OH	Стабильный р-р, гель не образуется		

* – концентрация кислоты (безводной) приведена в расчете на 4,5 г дегидратированного ЖС

**– при введении инициатора реакции (Инр)

Поэтому, учитывая комплексное воздействие (высокая прочность при ТГО более 1,5-2 ч) изученных кислот на свойства водных растворов ЖС, для дальнейшего исследования были выбраны УК и АК. Проведенные исследования влияния глицерина на свойства совмещенных композиций показали, что компонент хорошо совмещается как с ЖС, так и кислотами. Кроме этого испытания на морозоустойчивость исследуемых систем свидетельствуют, что совмещенные растворы ЖС–УК замерзают при $t=-2^{\circ}\text{C}$, тогда как введение глицерина позволяет расширить диапазон до $t=-10^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать системы ЖС–УК–ГЛ при более низких температурах.

При проведении реодинамических исследований было отмечено, что после смешения компонентов система в течение некоторого времени остается неизменной, затем отмечается быстрое повышение вязкости раствора, которое заканчивается отверждением. Процесс гелеобразования ускоряется с повышением температуры. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что рассматриваемые системы являются достаточно структурированными, т.к. течение начинается по достижении некоторого определенного значения напряжения сдвига $\tau_r > 0$. Однако характер изменения реологических кривых в значительной степени зависит от концентрации УК и температуры раствора. На рис.1 представлены кривые $\eta=f(D_r)$ гелеобразующих растворов на основе ЖС. Для изучаемых систем отмечается волнообразный вид кривых, что свидетельствует о сложности процессов разрушения и восстановления структуры, протекающих в динамических условиях при постоянном увеличении напряжения сдвига. На всех кривых течения при низких скоростях сдвига наблюдаются ярко выраженные максимумы.

Установлено, что увеличение концентрации модификаторов приводит к структурированию системы и повышению вязкости. Резкое возрастание вязкости является следствием формирования адсорбционно-сольватных

оболочек на образующихся в бинарных растворах кремнеземных частицах, а также кислотно-основным взаимодействием компонентов. При наличии в структуре полученных систем относительно рыхлых агрегатов со слабыми межчастичными связями с увеличением напряжения сдвига происходит их разрушение. Поскольку при дальнейшем увеличении напряжения сдвига условия для перестройки структуры отсутствуют, вязкость систем начинает понижаться. На кривых течения после максимума наблюдается падение вязкости вследствие разрушения структуры с выходом на практически горизонтальный участок, соответствующий вязкости предельно разрушенной структуры. То, что структурный фактор оказывает влияние при низких скоростях деформации, свидетельствует о том, что исследуемые золи могут рассматриваться как слабоагрегированные системы.

На рис. 2 приведена зависимость прочности гелей, сформированных из системы ЖС–УК–ГЛ от содержания модификаторов в композиции.

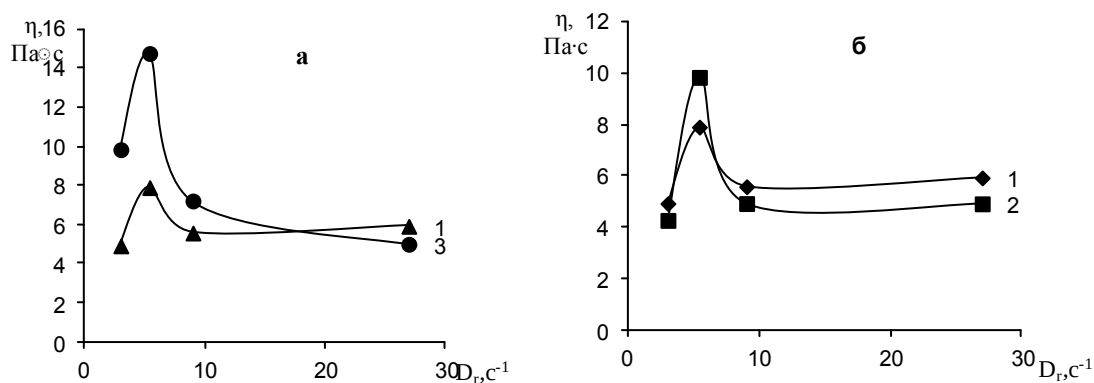


Рис. 1. Зависимость вязкости от скорости деформации и соотношения реагентов совмещенных систем:

1 - ЖС/ГЛ/УК (2/8/0,56); 2 - ЖС/ГЛ/УК (2/8/0,6);

3 - ЖС/ГЛ/УК (2/10/0,56); $t = 65 \pm 2^\circ C$

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что оптимальными концентрациями ГЛ, с точки зрения максимального увеличения прочности гелей, в композиции является 10,0 – 11,5%.

Дальнейшее повышение или понижение концентрации ГЛ не приносит желаемого результата и снижает прочность образующихся гелей. Введение кислоты в количестве более 1,1% ведет к резкому росту прочности гелей. Однако, увеличение концентрации УК.

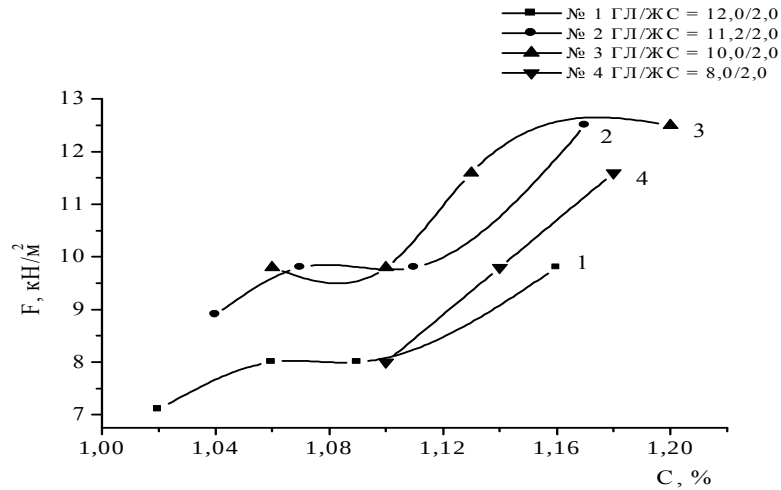


Рис. 2. Зависимость прочности составов от содержания уксусной кислоты в композиции ЖС–УК–ГЛ

При увеличении концентрации УК выше 1,12% происходит резкое снижение ТГО до 1–2 мин. после совмещения исходных компонентов. Такая зависимость ТГО от концентрации УК связана с ростом полимеризации ЖС при увеличении концентрации УК и рН систем. Следует отметить, что структурирующим фактором в исследуемых системах является концентрация УК, а ГЛ играет роль стабилизатора системы ЖС–УК при определенных концентрациях структурирующего агента.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что органоминеральные системы на основе ЖС–УК–ГЛ могут быть использованы в качестве базовых составов для получения стабилизированных совмещенных систем с низкой вязкостью и способных образовывать гомогенные прочные гели при $T=65\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Модифицирование ЖС акриловой кислотой позволило получить высокоэластичные гели, способные к восстановлению формы после

механической деформации. Нанофазовая структура полученных гелей представлена на рис. 3.

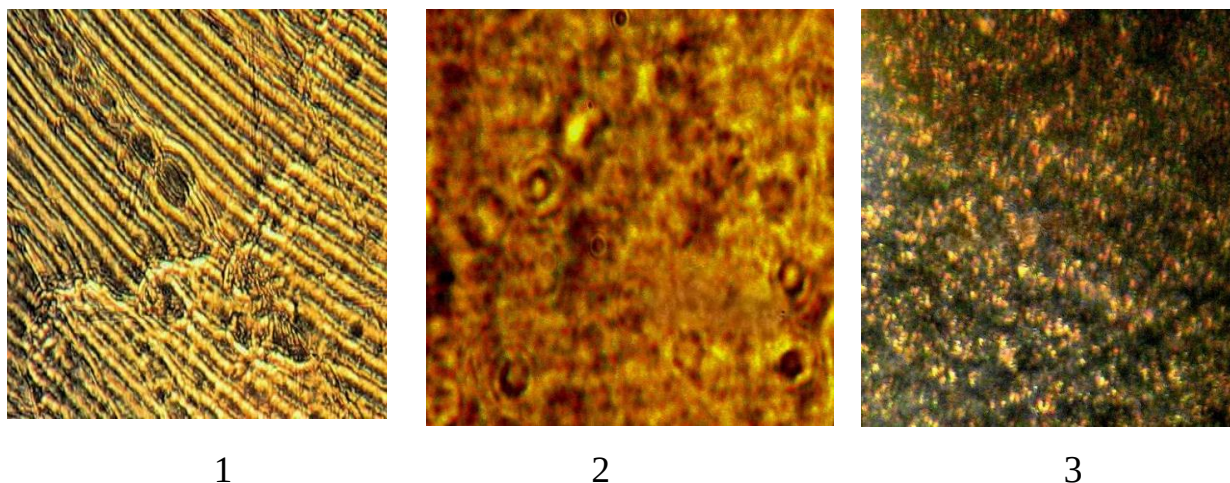


Рис. 3. Структура гелей, полученных из систем ЖС–УК (1), ЖС–УК–ГЛ (2), ЖС–АК (3)

Из акрилосиликатных систем формируются гидрофобные гели и при контакте с пластовой водой ($\rho=1,15 \text{ г/см}^3$) при температурах $T=60-90^\circ\text{C}$. Физико-механические свойства гелей, полученных на основе совмещенных базовых систем, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства разработанных гелей

№ п/п	Базовый состав	ТГО, мин.		Свойства геля	
		станд. условия	$T=75\pm 2^\circ\text{C}$	$\Delta m^*, \%$	$F^{**}, \text{кН/м}^2$
1	ЖС–УК	600-720	80-200	0	22,0 / 8,0
2	ЖС–УК–ГЛ	900-1020	90-130	0	13,5 / 10,0
3	ЖС–АК–Ипр	900-2160	180-300	0	60,0-110,0 / 60,0-110,0

*– статическая водоотдача после отверждения системы при $T=75\pm 2^\circ\text{C}$

**– механическая прочность. В числителе: для исходной системы, в знаменателе – для системы с мрамором.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что модифицирование растворов щелочных силикатов кислотами позволяет при определенных соотношениях получить гелеобразные продукты при широком варьировании их эксплуатационных характеристик.

Литература

1. Пирожков В.В., Пысенков В.Г., Лымарь И.В. и др. Эффективность новых технологий ограничения водопритока, опробованных на нефтяных месторождениях РУП «ПО «Белоруснефть» в 2002-2003 г.г. // Сб.: «Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь» в 2 ч. – Гомель: БелНИПИнефть. – 2004, Вып.5, Ч.2. – 305 с.
2. Освоение ресурсов трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей. // Сборник докладов 4-й Международной конференции. – Анапа, 2004 г. – Краснодар: Изд-во «Эдви». – 2004. – С.371-374.
3. Д.Д. Спарлин, У. Хаген. Контроль и регулирование добычи воды при разработке месторождений. // Нефть, газ и нефтехимия. – 1984, №3. – С.12-17.
4. Билл Бейли, Майк Крабтри, Джеб Тайри и др. Диагностика и ограничение водопритоков. // Нефтегазовое обозрение. – 2001, № 1. -- С.44-67.
5. Методическое руководство по оценке технологической эффективности применения методов увеличения нефтеотдачи пластов. РД 153-39.1-004-96. – М.: ВНИИнефть. – 1996. – 87 с.
6. Строганов В.М., Строганов А.М. и др. Водонаполненные составы АКОР и процессы их гелеобразования // Сборник научных трудов ВНИИКРнефть: Вопросы крепления и заканчивания скважин – Краснодар. Изд.: ВНИИКРнефть. – 1991. – С.140-145.
7. Артемьев В.Н. Новые технологии и технические средства в АО «Юганскнефтегаз»// Нефтяное хозяйство. – 1994, № 2. – С.8-11.

8. Вагнер Г.Р. Формирование структур в силикатных дисперсиях // Киев: Наукова думка. – 1989. – 169 с.
9. Гамзатов С.М. Применение вяжущих веществ в нефтяных и газовых скважинах. – М.: Недра. – 1986. – 184 с.

Отримання і властивості гелеутворюючих нанокompозитів. Е.Ф. Юдіна, Г.Г. Печерський, Н.С. Поліщук

У статті наведено результати досліджень оптимального складу силікатно-полімерного розчину, що володіє високою стабільністю і тривалим часом початку гелеутворення, а також досить високою міцністю сформованого на його основі гелю, щоб витримувати значні градієнти тиску. Встановлено, що збільшення вмісту кислоти в бінарній системі корелює зі зниженням ТГО і зростанням міцності.

Obtaining and properties of nanocomposites helebrazuyuschie. E.F. Yudina, G.G. Pecherskiy, N.S. Polishchuk

The article presents the results of research the optimal composition of the silicate-polymer solution having high stability and long start gelling as well as a sufficiently high strength formed on the basis of the gel it to withstand significant pressure gradients. It is found that increasing the acid content in the binary system is correlated with a decrease in strength and an increase in MSW.

УДК 621.787.4

**ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЕ
ВОЛНИСТОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ
ПОСЛЕ ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКАМИ**

В.А. Артюх, ассистент

О.В. Азза, соискатель высшего образования группы М2/1

Николаевский национальный аграрный университет

Сформулирована и экспериментально обоснована причина появления волнистости на поверхности при обкатывании торообразными роликами – колебание усилия обкатывания из-за наличия больших сил трения скольжения в механизме нагружения ролика.

Ключевые слова: обкатывание роликом, упрочнение, волнистость, стабилизация усилия

Основной причиной появления волнистости некоторые исследователи считают наличие торцевого биения ролика, приводящее к переменной подаче обкатывания [1 – 3].

Несмотря на существенное влияние, которое продольная подача вносит в процесс деформации поверхностного слоя, влияние обкатывания на изменение исходной шероховатости при этом остается таким же, как при обкатывании без подачи.

Это проверено экспериментально и остается справедливым при равенстве количества проходов без подачи приведенному количеству проходов i ролика с подачей, определяющееся в зависимости от ширины контактной канавки $2a_0$, подачи s и количества продольных проходов ролика $i_{\text{прод}}$.

$$i = \frac{2a_0}{s} i_{\text{прод}}. \quad (1)$$

При обкатывании с продольной подачей ролика формируется новый микропрофиль поверхности, который накладывается на деформированную исходную шероховатость.

Обкатанная поверхность сохраняет винтовой след подачи ролика. Высота вновь созданных при этом неровностей на участке стабильного процесса может быть рассчитана геометрически:

$$R_z'' = r_p - \frac{\sqrt{4r_p^2 - s^2}}{2}, \quad (2)$$

где R_z'' – высота неровностей, мм;

r_p – радиус кривизны ролика, мм;

s – подача ролика, мм/об.

Шаг этих неровностей равняется подаче ролика (рис. 1). Опытная проверка связи шероховатости с подачей ролика показывает, что зависимость (2) хорошо соблюдается при относительно больших подачах.

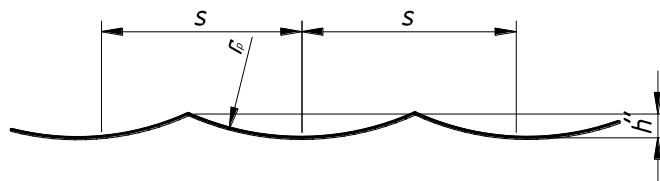


Рис 1. Профиль неровностей при обкатывании роликом

При подачах больше 0,78 мм/об высота неровностей совпадает с расчетной; при меньших подачах высота сохраняется в пределах 0,28 - 0,35 мкм и от подачи не зависит. В этом случае на обкатанной поверхности образуется волна с шагом, отличным от подачи.

В этом случае высота волн не выходит из пределов 7-го класса шероховатости. В других случаях волнистость при обкатывании может быть значительно глубокой. При малой шероховатости поверхности в пределах одного шага волны (0,18 мкм) сама волна с шагом 2,5 мм имеет высоту 0,16 мкм.

Высота волны при обкатывании уменьшается с увеличением профильного радиуса ролика или с уменьшением усилия, то есть с уменьшением угла вдавливания ролика, и не зависит от подачи и скорости обкатывания.

Рассмотрим этот процесс подробнее. Автор работы [1] считает что по мере вращения детали ролик вращается и подается (рис. 2, а), при этом

углу поворота ролика ψ соответствует угол поворота детали $\psi D_p/D_\partial$ и подача ролика на величину, определяющаяся следующим выражением:

$$S_\psi = s \frac{\psi}{2\pi} \cdot \frac{D_p}{D_\partial}, \quad (3)$$

где s – подача ролика на один оборот детали, мм.

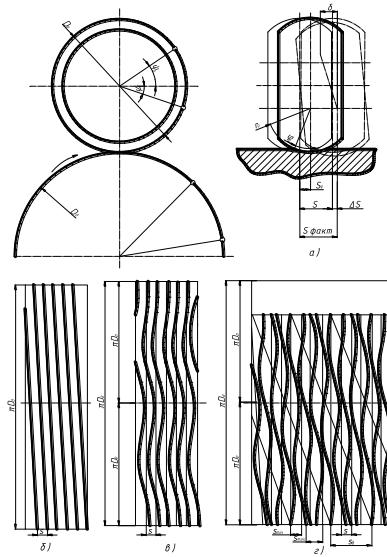


Рис. 2. Образование волнистости поверхности при обкатывании:

a – изменение подачи при осевом биении ролика; b – развертка поверхности вала, обкатанного роликом, не имеющим осевого биения; $в$ – развертка поверхности вала, обкатанного роликом с осевым биением при кратных диаметрах детали и ролика; $г$ – развертка поверхности вала, обкатанного роликом при некратных диаметрах детали и ролика

Развернем поверхность детали на плоскость. В случае идеальной схемы контактная канавка постоянного профиля шириной $2a$ расположится на обкатанной поверхности в виде параллельных прямых с постоянным шагом, равным подаче (рис. 2, б). Для реальной детали и ролика схема может существенно измениться.

Рабочая поверхность ролика из-за погрешности изготовления и установки может иметь некоторое осевое и радиальное биение (рис. 2, а).

След ролика на развертке обрабатываемой поверхности становится криволинейным.

В результате биения изменяется фактическая подача ролика

$$S_{\text{факт}} = S + \Delta S. \quad (4)$$

Искажение подачи при рассматривании двух смежных следов ролика будет равняться

$$\Delta S = \frac{\delta}{2} \sin \left(\psi_0 + \psi + 2\pi \frac{D_\delta}{D_p} \right) - \frac{\delta}{2} \sin(\psi_0 + \psi) = \delta \cos \left(\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_\delta}{D_p} \right) \cdot \sin \pi \frac{D_\delta}{D_p}. \quad (5)$$

В случае кратности диаметров детали и ролика $\sin \pi D_\delta / D_p$, а следовательно, и ΔS равняются нулю, то есть подача остается постоянной, несмотря на биение ролика (рис. 2, в).

В общем случае ΔS является переменной величиной, зависящей в каждой точке поверхности от угла поворота ролика ψ . Найдем значение угла ψ , что отвечает наибольшему и наименьшему приращениям подачи. Для этого приравняем к нулю производную функции $\Delta S = f(\psi)$:

$$\Delta S' = -\delta \sin \pi \frac{D_\delta}{D_p} \cdot \sin \left(\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_\delta}{D_p} \right) = 0. \quad (6)$$

Последнее равенство удовлетворяется при

$$\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_\delta}{D_p} = \pm \pi n,$$

где $n = 0; 1; 2; 3; \dots$

Отсюда

$$\psi = \pi \left(\pm n - \frac{D_\delta}{D_p} \right) - \psi_0. \quad (7)$$

Подставив найденное значение угла в равенство (5), найдем экспериментальные значения приращения подачи

$$\Delta s_{min}^{max} = \pm \delta \sin \pi \frac{D_{\delta}}{D_p}. \quad (8)$$

Из формулы (5) видно, что полный цикл изменения Δs завершается за каждый оборот ролика. При вращении детали участки, обкатанные с одинаковой фактической подачей, смещаются по ее поверхности, как в осевом, так и в круговом направлениях. При этом участки, обкатанные с уменьшенной против номинала подачей, деформируются сильнее и образуют впадину, а обкатанные с увеличенной фактической подачей и менее деформированные – гребень волны. Сливаясь в процессе обкатывания одинаково деформированные участки создают многозаходную винтовую поверхность с определенным шагом – шагом волны (рис. 2, з)

При обкатывании деталей цилиндрическими роликами на их поверхности получают прямоугольный отпечаток, если оси ролика и детали параллельны. В этом случае длина отпечатка на цилиндрической детали определяется длиной ролика или длиной образующей цилиндрической поверхности, ширина отпечатка зависит от приведенной кривизны ролика и детали в плоскости качения ролика. Если оси ролика и детали в осевом их пересечении наклонены под небольшим углом, или вместо цилиндрического ролика применен конический, то на детали получают каплевидный отпечаток, ширина которого уменьшается до нуля в направлении обкатанной поверхности. При этом получают задний угол вдавливания ролика в деталь φ_a (рис. 3) равным $25'-30'$ при обкатывании сталей, $40'-1^\circ$ - при обкатывании закаленных сталей и $1^\circ 30'$ - при обкатывании чугунов [1, 2, 3 - 5].

При таких значениях угла φ_a обеспечивается интенсивная деформация микронеровностей и поверхностного слоя, волнистость на обкатанной поверхности отсутствует. Такой процесс применяют при

обкатывании валов и розкатывании цилиндрических отверстий в крупносерийном и массовом производствах.

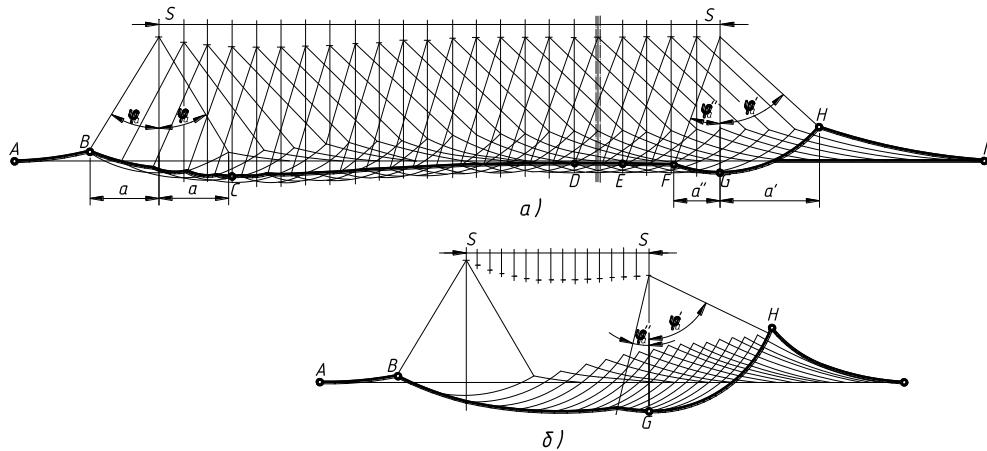


Рис. 3. Схема последовательного деформирования поверхности деталей при обкатывании торообразным роликом с продольной подачей S :
 a – при нормальном процессе; $б$ – процесс деформации не стабилизировался

Каплевидный отпечаток может быть получен и при применении самоустанавливающегося цилиндрического ролика. С помощью силы подачи, возникающей в процессе обкатывания, ролик за счет поворота самоустанавливающейся головки на угол $20' - 30'$ обеспечивает получение каплевидного отпечатка [6 – 8].

В том случае, когда оси цилиндрического ролика и детали перекрещиваются, на ней возникает эллиптический отпечаток. Такой же отпечаток может быть получен при обкатывании деталей бочкообразными, сферическими или торообразными роликами.

Во время обкатывания роликом отпечаток превращается в пластично деформированную канавку, которая при обработке цилиндрических поверхностей с подачей представляет собой винтовую линию. Так как

ширина канавки в несколько раз превышает подачу, то при последующих оборотах детали ролик прокатывается по уже деформированной поверхности, несколько расширяя и углубляя канавку.

При нормальном процессе обкатывания торообразным роликом после некоторого числа оборотов детали углубление канавки прекращается (Рис. 3, *a*). Ролик соприкасается с каждой точкой поверхности $2a/s$ раз. Перед роликом возникает волна деформированного металла, а расширение контактной канавки приводит к возрастанию контакта, что обуславливает постепенное снижение глубины канавки при последующих оборотах детали и на участке CD процесс обкатывания стабилизируется. Волна металла перед роликом GHI намного больше волны EFG за ним. На всем участке обкатывания до его стабилизации в точке D изменяется угол вдавливания ролика φ_a .

Процесс поверхностного деформирования зависит от силы обкатывания, размеров и профиля ролика, размеров обрабатываемой поверхности, механических свойств обкатываемого металла и числа $2a/s$. При некоторых сочетаниях указанных факторов стабилизация процесса может и не наступить.

Например, на рис. 3, *в* интенсивный рост волны металла перед роликом продолжается до тех пор, пока гребень волны не начнет разрушаться. Участок поверхности ниже остальной обкатанной поверхности. Имеется соотношение [1, 6 - 11] для расчета ширины впадины в начале обкатанной поверхности:

$$L_b = 1,27 \sqrt{\frac{P}{HB}}, \quad (9)$$

где P – усилие обкатывания, H .

При больших углах φ_a вдавливания ролика на обкатанной поверхности детали появляется волнистость с шагом, отличным от величины подачи ролика.

Для предотвращения появления волнистости при чистовом обкатывании рекомендуют принимать угол вдавливания значением $2 - 3^\circ$ (что, однако, ограничивает шероховатость обкатанной поверхности величиной $40 < R_z < 80$ мкм, а для уменьшения волнистости – использовать

ролики с точным рабочим профилем и чаще их перешлифовывать. При упрочняющем обкатывании тонкий поверхностный слой для исключения волнистости поверхности сошлифовывают или стачивают, это существенно уменьшает эффективность упрочнения. Заметим, что силы трения в опорах, суммируясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия P ; при наличии же радиального биения ролика эти силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению.

С целью проверки данных представлений с помощью универсального динамометра УДМ конструкции ВНИИ нами были измерены составляющие усилия P при обкатывании торообразным роликом вала из наиболее распространенной конструкционной стали 40 (200 НВ) диаметром 100 мм на токарном станке с помощью разработанного и изготовленного на кафедре “Транспортных технологий и технического сервиса” Николаевского НАУ устройства рычажного типа со стабилизацией рабочего усилия обкатывания, показанного на рис. 4 [12].

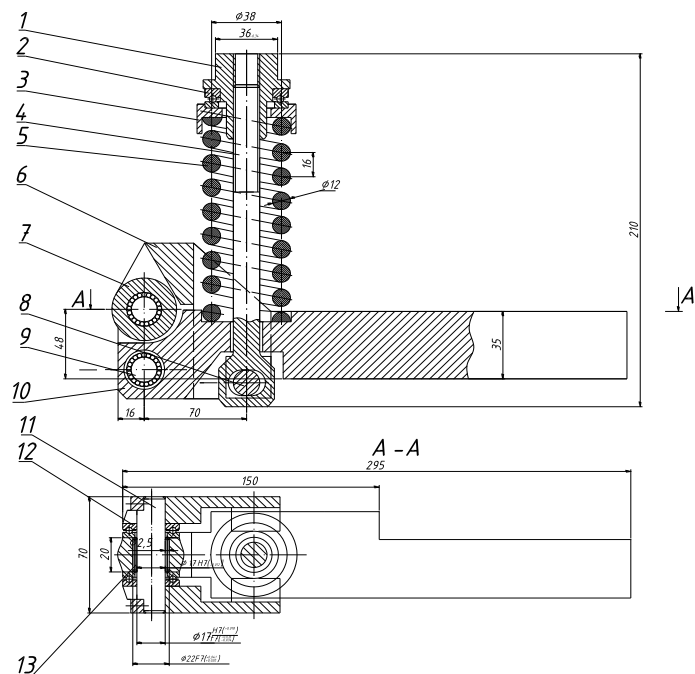


Рис. 4. Конструктивная схема устройства для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания

Принцип работы устройства заключается в следующем: ролик 7 установлен с помощью подшипников 12, 13 на оси 11. Усилие пружины 5 через тягу 4, ось 8 и рычаг 6 передается на ролик 7 и передается на обкатываемую деталь. Рычаг 6 установлен на оси 9 с помощью игольчатого и упорных подшипников, и легко перемещается вокруг корпуса 10

Общий вид устройства для обкатывания роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания представлен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид устройства для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания

Жесткость рычажно-пружинного механизма составляет 0,745 кН/мм. Усилие пружины (P_{np}) определяется величиной ее сжатия (f_{np}) в миллиметрах и рассчитывается по зависимости:

$$P_{np} = j_{np} \times f_{np}, \quad (10)$$

где j_{np} – жесткость пружины, $j_{np} = 0,472$ кН/мм.

Усилие P обкатывания на ролике в кН определяют по зависимости:

$$\begin{aligned} P &= P_{np} \times 60/38 = f_{np} \times 0,472 \times 60 / 38 = \\ &= 0,745 f_{np}, \end{aligned} \quad (11)$$

где 60 и 38 величины плеч усилия пружины и усилия на ролике соответственно в миллиметрах.

На рис. 6 показана схема действия составляющих усилия обкатывания на деталь

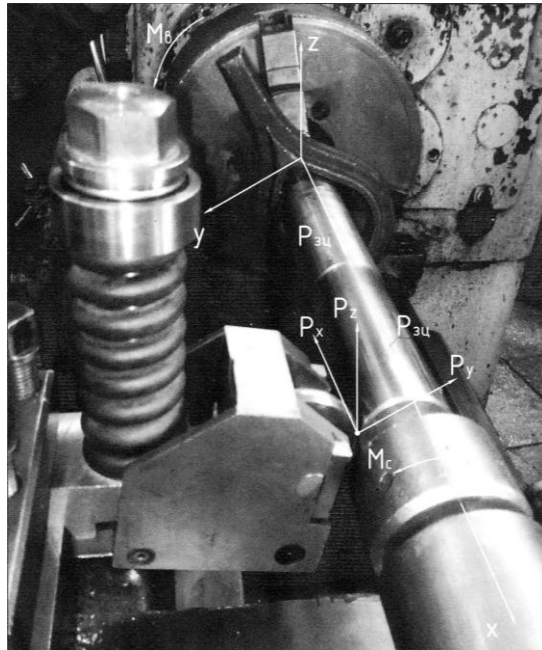


Рис. 6. Составляющие усилия обкатывания на деталь:

P_x – касательное усилие качения ролика; P_y – номинальное усилие поджатия ролика к детали; P_z – усилие подачи; $P_{зц}$ – нагрузка от задней бабки в осевом направлении

На рис. 7 показана осциллограмма составляющих усилия P , полученная при установке роликового узла на опорах скольжения, т.е. применительно к конструкции устройств, используемых на заводах для упрочняющего или чистового обкатывания стальных деталей.

Номинальное значение усилия поджима ролика к детали, $P_{yn} = 5 \text{ кН}$, а соотношение: $P_{xn} : P_{yn} : P_{zn} = 0,15 : 5 : 1,5$. Сила P_x в процессе обкатывания остается практически постоянной, а силы P_y и P_z с каждым оборотом ролика периодически изменяются; амплитуда колебания силы P_y составляет $\Delta P_y = 0,45$, а сила P_z (в направлении подачи) изменяется менее заметно. При установке роликового узла на подшипниках качения, как показали измерения, $\Delta P_y < 0,03 P_{yn}$, а колебания сил P_x и P_y практически не обнаружены.

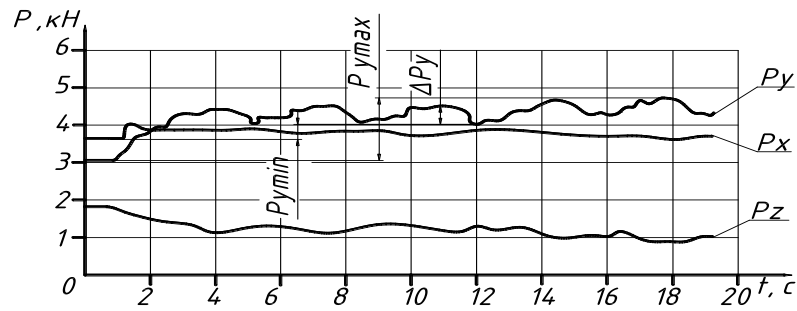


Рис. 7. Осциллограмма составляющих усилия обкатывания P при установке роликового узла на опорах скольжения

Коэффициент трения в подшипниках скольжения составляет $f_c = 0,05 \div 0,1$, а в подшипниках качения $f_k = 0,003 \div 0,008$, поэтому стабилизация силы P при установке роликового узла на подшипниках качения достигается существенным уменьшением сил трения в опорах. Силы трения в опорах, складываясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия P обкатывания; при наличии же радиального биения ролика силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению. Это позволило предположить, что основной причиной появления волнистости является наличие колебания усилия P обкатывания при каждом обороте ролика в результате его радиального биения.

Рассчитаем шаг волны S_w при некратных отношениях D_d/D_p . Точками на развертке следа ролика при качении его по детали отмечены места максимального значения усилия P (рис. 8).

Точки, сдвигаясь по поверхности детали, образуют винтовые линии с шагом S_w , превосходящим величину S подачи ролика. Вдоль этих линий деформация металла поверхностного слоя детали получается большей, чем в промежутках между ними, чем и определяется появление волнистости.

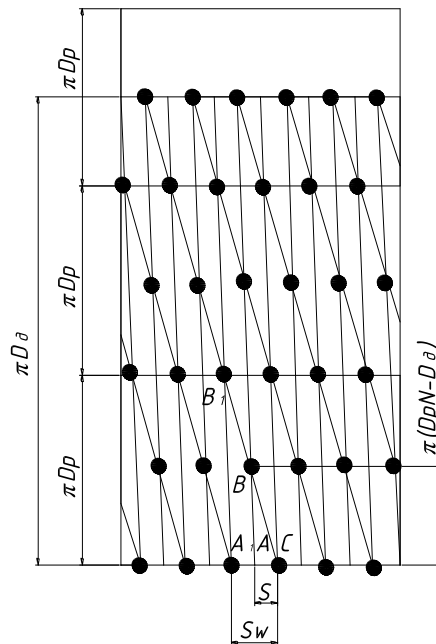


Рис. 8. Схема расчета шага S_w волны при обкатывании роликами

Из подобия треугольников ABC и $A_1 B_1 C$ получим

$$S_w = D_p S / (D_p N - D_d), \quad (12)$$

где: $N = D_d / D_p + 1$ (здесь D_d / D_p - целая часть отношения). Данное выражение справедливо для случая, исключаящего проскальзывание ролика по детали при их взаимном вращении, при наличии скольжения фактический шаг волны может значительно отличаться от расчетного. Разворотом оси ролика вокруг перпендикуляра к поверхности контакта в ту или другую сторону можно изменить степень проскальзывания ролика и тем самым повлиять на величину S_w .

Стабилизируя с помощью установки роликового узла на подшипниках качения усилие P можно исключить появление волнистости при больших углах вдавливания, которые свойственны даже упрочняющему обкатыванию. При этом удастся получить шероховатость поверхности $R_a = 0,08 - 0,32$ мкм при исходной $R_z = 80 - 160$ мкм, и кроме того, совместить чистовое и упрочняющее обкатывание.

Представленные на рис. 9 профилограммы поверхности вала из наиболее мягкой из всех конструкционных сталей, 20, HV 140 (при

обкатывании этой стали имеет место максимальная волнистость обработанной поверхности) до обкатывания и после при $P_{yn} = 5$ кН, $S = 0.2$ мм/об детали, $D_o = 117$ мм, $D_p = 60$ мм, свидетельствуют об эффективности установки роликового узла на подшипниках качения.

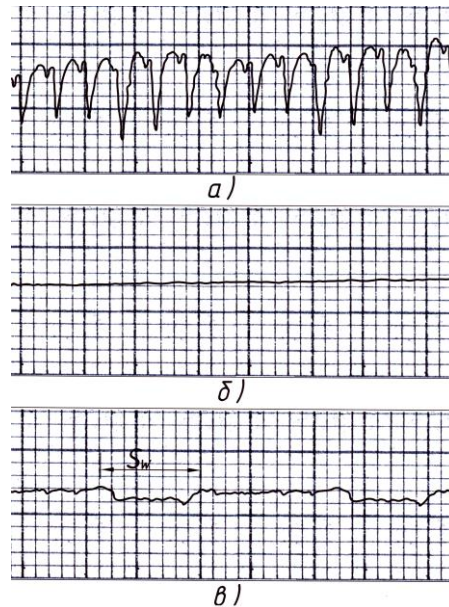


Рис. 9. Профилограммы поверхности вала из стали 20:

a – до обкатывания $R_z = 100$ мк; *б* – после обкатывания при установке роликового узла на подшипниках качения ($R_a = 0,08 - 0,16$ мкм); *в* – после обкатывания при установке роликового узла на опорах скольжения

На кривой (рис. 9. *в*) видна волнистость на обкатанной поверхности с шагом $S_w = 3,9$ мм, что соответствует значению S_w , рассчитанному по формуле (12).

Эффективность обкатывания может быть повышена также за счет применения роликов малого диаметра (бочкообразных и цилиндрических), что полностью исключает появление волнистости и при трении скольжения роликового узла в устройстве в следствии малости угла φ_a .

Разработан и исследован способ стабилизации усилия обкатывания при установлении роликового узла на опорах качения, что позволяет устранить появление волнистости обкатыванием торообразными роликами

при больших средних углах вдавливания роликов ($\varphi \leq 5^\circ$) и совместить упрочняющее и чистовое обкатывание.

Литература

1. Браславский В. М. 1975. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. 2-е изд. – М.: Машиностроение, – 160.
2. Азаревич Г. М. 1963. Чистовая обработка цилиндрических поверхностей пластическим деформированием / Г. М. Азаревич Г. Ш. Берштейн - М.: ОНТИ НИИ Тракторсельхозмаша, - 43.
3. Браславский В. М. 1975. Технология обкатки крупных деталей роликами / Браславский В. М. - М.: Машиностроение, - 160.
4. Одинцов Л. Г. 1987. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием / Л. Г. Одинцов – М.: Машиностроение, – 160.
5. Рыжов Э. В. 1971. Повышение износостойкости соединений технологическими методами обработки / Рыжов Э. В., Браславский В. М., Топычканов В. В. Науч. – тех. сб. Брян. ин – та транспорт. Машиностроения. – №2. — С. 47 — 51.
6. Рыжов Э. В. 1972. Влияние усилия обкатывания на геометрию неровностей / Рыжов Э. В., Браславский В. М., Топычканов В. В. Науч. – тех. сб. Брян. ин – та транспорт. Машиностроения. – №2. — С. 47 — 51
7. Рыжов Э. В. 1979. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Рыжов Э. В., Суслов А. Г., Федоров В. П. – Л.: Машиностроение, – 176с.
8. Шнейдер Ю. Г. 1982. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Шнейдер Ю. Г. – Л.: Машиностроение, – 248с.
9. Коновалов Е. Г. 1968. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Коновалов Е. Г., Сидоренко В. А. – Минск: Высшейш. шк., – 364с.

10. Кудрявцев И. В. 1984. Новые способы поверхностного пластического деформирования / И. В. Кудрявцев, Р. Е. Грудская. Машиностроитель, № 7, 28-29.
11. Фридман Я. Б. 1987. Механические свойства металлов / Я. Б. Фридман — М.: Машиностроение, — 556.
12. Пат. 71119 Україна, МПК В24В 39/00. Пристрій для зміцнюючого та чистового обкатування поверхонь тіл обертання зі стабілізацією робочого зусилля / Б. І. Бутаков, В. О. Артюх; заявник і власник Бутаков Б. І. — № u201112463; заявл. 24.10.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. №13.

Причини появи і усунення хвилястості на поверхні тіл обертання. В.О. Артюх, О.В. Аззана

Сформульована та експериментально обґрунтована причина появи хвилястості на поверхні при обкатуванні тороподібними роликами – коливання зусилля обкатування через наявність великих сил тертя ковзання в механізмі навантаження ролика.

Causes of the appearance and elimination of waviness on the surface of bodies of revolution. V.A. Artyukh, O.V. Azzana

The reason for the appearance of waviness on the surface during the rolling by toroid-shaped rollers is formulated and experimentally substantiated - the oscillations of the running-in force due to the presence of large sliding friction forces in the roller load mechanism.

УДК 629.5.081.22

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРПУСНЫХ
ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМЕ SAPS**

Н.В. Кьен, соискатель высшего образования группы М6/1

Южно-китайский технологический университет

Н.В Цыкало, кандидат технических наук, доцент

***Национальный университет кораблестроения им. Адмирала
Макарова***

Приведены методы аналитической детализации в системе SAPS, показаны их преимущества и инструменты реализации моделирования деталей корпуса судна в приведенной автоматизированной системе.

Ключевые слова: метод, детализация, модель, деталь

Аналитическая детализация корпусных конструкций состоит в определении формы и размеров деталей корпуса судна и записи данных в базу данных. В судостроении используют в основном четыре метода аналитической детализации:

- развертка листов наружной обшивки на плоскость;
- автоматическое определение размеров и формы деталей с использованием модели конструкции;
- геометрические построения в интерактивном режиме по чертежам и эскизам;
- детализация с использованием библиотеки типовых деталей.

Приведенные методы используются в зависимости от информационного наполнения процессов технологической подготовки производства, а также в зависимости от положения детали в составе конструкции корпуса судна [1].

Детали наружной обшивки с учетом сложных обводов корпусов судов различных типов и назначения определяются с помощью

специальных программных средств, которые выполняют развертку заданного участка поверхности на плоскость. Для деталей цилиндрической и конической формы расчеты сводятся к определению длины опорных линий и их взаимного расположения на плоскости. Для деталей сложной формы, таких как, например, парусовидной или седлообразной форм, используются специальные алгоритмы, которые дают приближенную развертку с учетом деформаций текучести [2]. В системе SAPS развертку листов с кривизной выполняют в разделе «3 D геометрия», который создан для работы с поверхностями и моделями деталей различной кривизны. Здесь же есть возможность автоматического построения моделей гибочной оснастки для проверки погиби готовых деталей.

Автоматическая детализовка на основе модели конструкции осуществляется при полном насыщении модели технологической информацией. Для реализации этого метода детализовки необходимо в «3D геометрии» создать трехмерную модель конструкции, которая является исходной информативной базой данных для реализации этого метода создания моделей деталей. В интерактивном режиме реализована возможность сохранения деталей, входящих в состав модели конструкции в базе данных деталей.

В базе данных системы предусмотрена библиотека типовых деталей, которая представляет собой множество процедур параметрического описания деталей, наиболее часто используемых в составе конструкций корпуса судна. К таким деталям относятся кницы, бракетты, полосы, а также другие детали, по форме схожей с типовой. Для формирования модели детали таким способом достаточно выбрать соответствующую форму из библиотеки деталей и задать значения ее геометрических и технологических параметров.

Метод графических построений используют в том случае, когда деталь невозможно описать с помощью вышеперечисленных методов. Для этого в автоматизированной системе предусмотрены графические

элементы, к которым относятся точки, прямые, отрезки, окружности, дуги, сплайны. Формирование основных контуров и вырезов деталей осуществляется с помощью разбиения детали на графические элементы и задания ее в автоматизированной системе. Этот метод моделирования основан на графическом построении отдельных элементов контура детали и ее вырезов, если таковые имеются, после чего они объединяются в единый замкнутый контур, к которому привязывается реквизитная информация. Только тогда модель детали сохраняется в базе данных системы.

Реализация вышеперечисленных методов детализации корпусных конструкций дает возможность автоматизировать работы технологической подготовки судостроительного производства, что отражается на снижении себестоимости постройки всего судна, делая его более конкурентоспособным.

Литература

1. Основы технологии судостроения/ В.Л.Александров, Г.В.Бавыкин, А.С.Рашковский, В.Ф.Соколов и др. Под общ.ред. В.Ф.Соколова. – СПб.: Судостроение, 1995. – 400 с.
2. Цикало Н. В., Рашковський О. С., Перов В. М. Основи автоматизованого проектування технологічних процесів : навчальний посібник / Н. В. Цикало, О. С. Рашковський, В. М Перов. – Миколаїв : НУК, 2012. – 69 с.

Реалізація методів моделювання корпусних деталей в системі SAPS.
Н.В. Кен, Н.В. Цикало

Наведені методи аналітичного деталювання в системі SAPS, показані їх переваги та інструменти реалізації моделювання деталей корпусу судна в наведеній автоматизованій системі.

Implementation of modeling methods for hull details in SAPS system.

N.V. Ken, N.V. Tsykalo

Methods of the analytical detailing are used in SAPS software, their advantages and instruments of realization of vessel details modeling in the software are shown.

УДК 621.787.4

**ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБКАТУВАННЯ
ГОЛЧАСТИМИ РОЛИКАМИ УПОРНИХ РІЗЬБ**

О.В. Зубєхіна-Хайят, асистент

В.В. Телещак, здобувач вищої освіти групи М2/2

Миколаївський національний аграрний університет

В статті описані результати дослідження процесу обкатування роликками упорних різьб. Запропоновано спосіб обкатування упорних різьб за допомогою гнучких голчастих роликів. Дана технологія дозволяє підвищити на 18 - 20% твердість металу в поверхневому шарі різьби, що має сорбітну структуру. Це дозволило зняти загартування з нарізної ділянки гвинтів струмами високої частоти, в результаті якої гвинти згиналися, що додатково посилювало знос гайок під час експлуатації.

Ключові слова: упорні різьби, обкатування, голчасті ролики, шорсткість

В процесі експлуатації різьб їхні робочі поверхні зношуються через процеси тертя та силові навантаження, втрачаються якісні показники різьб та їх надійність, тому обладнання виходить з ладу. Поверхня різьб зношується, проте не відновлюється. Способи зміцнення конічних поверхонь різьб досить дорогі та складні, тому пропонується ефективний, в той же час економічно вигідний метод зміцнення різьб обкатуванням їх

голчастими роликами, що буде сприяти підвищенню зносостійкості пар тертя, контактної і втомної міцності деталей.

Ефективне використання ППД у промисловості стало можливим завдяки роботам таких учених, як П.Г. Алексєєв, М.А. Балтер, В.А. Белов, В.М. Браславський, Б.І. Бутаков, Є.Г. Коновалов, І.В. Кудрявцев, А.А. Маталін, Д.Д. Папшев, Ю.Г. Проскурняков, Е.В. Рижов, Ю.Г. Шнейдер, Д.Л. Юдін, Ю.І. Бабей, Л.М. Школьник, М.В. Азаревич, Г.М. Огневець та ін., які дали наукове підґрунтя цьому методу обробки [1-8]. Проаналізувавши попередні методи поверхневого пластичного деформування, з'ясовано, що низка питань не була вирішена. Однак потребує теоретичних досліджень технологія обкатування голчастими роликами деталей сільськогосподарських машин з урахуванням жорсткості технологічної системи.

Для чистової обробки стандартних упорних різьб, що мають ширину впадини, рівну товщині витка різьби, але при цьому і значну глибину профілю $H_1 = 1,5$ В, а також упорних різьб з кроком профілю $P_m = 20 \dots 32$ мм, коли вищі вимоги до шорсткості поверхні пред'являються в основному до упорної сторони профілю різьби, розроблено пристрій для обкатування самовстановлюючим голчастим роликом [1].

Робочий ролик 10 встановлений в прорізи сепаратора 2 і стикається з конічною поверхнею опорного ролика 3, вільно обертається на підшипниках 4 - 6 в голівці 7 (рис. 1, а). Головка має цапфи, центр кривизни яких проходить всередині впадини обкатуваної різьби. Цими цапфами головка спирається на корпус 8 пристрою, який має пружну частину і індикатор 9 для вимірювання прогину пружини. Закріплене в різцетримачі токарного верстата пристрій підводять до деталі і вводять своїми роликами у впадину різьби. При цьому переміщенням верхніх салазок супорта повертають голівку 7 на цапфах, домагаючись паралельності ролика 10, утворюючої обкатуваної робочої поверхні різьби деталі. Підтягуючи голівку до деталі, стискають пружну частину корпусу 8

і створюють необхідне зусилля обкатування. Робочий 10 і опорний 3 ролики обертаються назустріч один одному від контакту з деталлю, що обертається. При цьому зусилля обкатування замкнено всередині впадини різьби і частково сприймається упорним підшипником 5 опорного ролика. Внаслідок різниці діаметрів робочого і опорного роликів упорна сторона обкатування різьби деформується більш інтенсивно, що відповідає вимогам до шорсткості поверхні упорних різьб. Обробка різьби завершується за 2 - 3 проходи супорта. При обкатуванні різьб з великими кутами підйому таким пристроєм площину, в якій розташовані осі робочого і опорного роликів (в подальшому будемо називати її площиною роликів), повертають навколо осі опорного ролика на кут λ_{δ} (рис. 1, в), в загальному випадку відрізняється від кута підйому лінії витка різьби λ . Крім того, площину роликів доводиться зміщувати відносно осьового перерізу деталі на деяку величину h , достатню для утворення складової сили, що підтискає ролик до корпусу пристосування, інакше ролик буде зміщуватися в напрямку дна впадини обкатуваної різьби, порушуючи процес обкатування [2-6]. При цьому між площиною роликів і утворюючою різьби на середньому діаметрі нарізки повинен бути створений кут $\beta \geq 6^\circ$. Зсув h , а також і розворот площини роликів на кут λ_{δ} призводять до зміни ширини впадини, спотворення кутів і до появи кривизни профілю в площині роликів. Запишемо рівняння гвинтової поверхні різьби в системі координат $x y z$ (рис. 1, в): $x = \rho \cos \varphi; y = \rho \sin \varphi; z = (\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p \varphi$, де ρ та φ - криволінійні координати, m' - відрізок, що відсікається утворюючою гвинтової поверхні на осі x ; p - параметр гвинтового руху (при шазі різьби, рівному P_a), $P = P_a / 2\pi$.



В системі координат $x_2y_2z_2$, пов'язаній з площиною роликів, рівняння гвинтової поверхні запишеться у вигляді:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = M_{20} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Тут M_{20} - матриця переходу від системи координат xyz до $x_2y_2z_2$, $M_{20} = M_{21}M_{10}$

$$M_{21} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{h \cos(\lambda' + \lambda_p)}{\cos \lambda'} \\ 0 & \cos \lambda_p & \sin \lambda_p & \frac{h \sin(\lambda' + \lambda_p)}{\cos \lambda'} \\ 0 & -\sin \lambda_p & \cos \lambda_p & \frac{h \sin(\lambda' - \lambda_p)}{\cos \lambda'} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

де кут λ' визначається співвідношенням $\operatorname{tg} \lambda' = \operatorname{tg} \lambda \cos \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right)$,

α_1 та α_2 -кути профілю відповідно для левої та правої сторін впадини профілю,

$$M_{10} = \begin{pmatrix} \cos \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) & 0 & -\sin \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) & -q' \cos \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) & 0 & \cos \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) & -q' \sin \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(q' - відрізок, який відсікає вісь x_2 на осі x). Тоді

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \rho \cos \varphi \cos \gamma - [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p \varphi] \sin \gamma - q' \cos \gamma; \\ y_2 &= \rho \cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \rho \sin \varphi \cos \lambda_p + [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p \varphi] \times \\ &\times \cos \gamma \sin \lambda_p - q' \sin \gamma \sin \lambda_p + \frac{h \cos(\lambda' - \lambda_p)}{\cos \lambda'}; \\ z_2 &= \rho \cos \varphi \sin \gamma \cos \lambda_p - \rho \sin \varphi \sin \lambda_p + [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p \varphi] \times \\ &\times \cos \gamma \cos \lambda_p - q' \sin \gamma \cos \lambda_p + h \frac{\sin(\lambda' - \lambda_p)}{\cos \lambda'}. \end{aligned} \right\} (1)$$

У площині роликів $y_2 = 0$, тому рівняння перетину гвинтової поверхні в криволінійних координатах на площині роликів запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} \psi(\rho, \varphi) = & \rho \cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \rho \sin \varphi \cos \lambda_p + \\ & + [(\rho - m') \operatorname{tg} \alpha + p \varphi] \cos \gamma \sin \lambda_p - q' \sin \gamma \sin \lambda_p + h \frac{\cos(\lambda' - \lambda_p)}{\cos \lambda'} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Значення кута φ в рівнянні (2) для лівого боку впадини різьби визначається в залежності від β між площиною роликів і утворюючою різьби. Кут β через напрямні коефіцієнти площини роликів і утворюючої різьби виразиться

$$\sin \beta = \frac{Al + Bm + Cn}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}}, \quad (3)$$

де A, B, C - коефіцієнти направляючого вектора площини роликів; l, m, n - напрямні коефіцієнти утворюючої різьби.

В системі координат $x_2 y_2 z_2$ рівняння гвинтової поверхні (1) при $\varphi = \text{const}$ є рівняннями її утворюючої. Напрямні коефіцієнти утворюючої різьби (l, m, n) знайдемо з рівнянь (1) як різниця координат двох точок утворюючої при ρ , рівному 0 і 1:

$$\begin{aligned} l &= \cos \varphi \cos \gamma - \operatorname{tg} \alpha \sin \gamma; \\ m &= \cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \sin \varphi \cos \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \sin \lambda_p; \\ n &= \cos \varphi \sin \gamma \cos \lambda_p - \sin \varphi \sin \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \cos \lambda_p. \end{aligned}$$

Коефіцієнти направляючого вектора площини роликів $A = 0$; $B = 1$; $C = 0$. Кут β між площиною роликів та утворюючою різьби визначається із виразу:

$$\sin \beta = \cos \alpha (\cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \sin \varphi \cos \lambda_p) \sin \alpha \cos \gamma \sin \lambda_p. \quad (4)$$

Після перетворення рівняння (4) відносно кута φ маємо:

$$\sin = \frac{\cos \lambda_p (\sin \beta - \sin \alpha \sin \lambda_p \cos \gamma) - \sin \lambda_p \sin \gamma \times \sqrt{\cos^2 \alpha (\sin^2 \lambda_p \sin^2 \gamma - \cos^2 \lambda_p) - (\sin \beta - \lambda_p \sin \alpha \cos \gamma)^2}}{\cos \alpha (\cos^2 \lambda_p + \sin^2 \gamma \sin^2 \lambda_p)} . \quad (5)$$

Прирівнюючи $\beta = -6^\circ$, $\alpha = \alpha_1$, знайдемо значення φ_1 із рівняння (5) для лівої сторони впадини. Підставимо значення $\varphi = \varphi_1$ в рівняння (2) при $m' = m_1$, $\alpha = \alpha_1$ та $\rho = D_{\bar{n}\delta} / 2$, визначимо необхідне зміщення h

$$h = \frac{-\cos \lambda' \left\{ \frac{D_{\bar{n}\delta}}{2} \tilde{n} \cos \varphi_1 \sin \gamma \sin \lambda_p + \frac{D_{\bar{n}\delta}}{2} \sin \varphi_1 \cos \lambda_p + \left[\left(\frac{D_{\bar{n}\delta}}{2} - m_1 \right) \operatorname{tg} \alpha_1 + p \varphi_1 \right] \cos \gamma \sin \lambda_p - q' \sin \gamma \sin \lambda_p \right\}}{\cos(\lambda' - \lambda_p)} . \quad (6)$$

Кут φ_2 для правого боку впадини на середньому діаметрі різьби ($\rho = D_{\bar{n}\delta} / 2$) знаходиться з (2) при $m' = m_2$, $\alpha = -\alpha_2$. Коефіцієнти m_1, m_2, q' рівнянь (1), що визначають положення системи координат щодо впадини різьби, можна висловити через геометричні параметри обкатування різьби (рис. 1, в).

Вважаючи, $m_1 = D_i / 2$ записуємо вирази для m_2 і q' :

$$m_2 = \frac{D_{\hat{a}}}{2} r (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2 - \operatorname{ctg} \alpha_2) \times \left[\left(\frac{D_i}{2} - \frac{D_{\hat{a}}}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha_1 + r (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \right],$$

де $D_{\hat{a}}$ і D_i - внутрішній і зовнішній діаметри обкатування різьби; r - радіус впадини різьби,

$$q' = \frac{D_{\hat{a}}}{2} + \frac{D_p}{2} \sin \alpha_1 + \frac{r}{2} \left[\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2 - \operatorname{ctg} \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \right) \right] \times \left[\left(\frac{D_i}{2} - \frac{D_{\hat{a}}}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha_1 + \frac{D_p}{2} \cos \alpha_1 + \frac{r}{2} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \right].$$

Підставивши значення кутів φ_1, φ_2 у вираз z_2 системи рівнянь (1) і підсумувавши отримані значення, знайдемо ширину впадини різьби в площині роликів [7-9]:

$$B' = B \cos \gamma \cos \lambda_p - \frac{D_{cp}}{2} \sin \lambda_p (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) + \frac{D_{cp}}{2} \sin \gamma \cos \lambda_p (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2) + \frac{P_{\hat{a}}}{2\pi} \tilde{n} \cos \gamma \cos \lambda_p (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (7)$$

Кути профілю різьби в площині роликів α' , складені дотичними до профілю на середньому діаметрі і віссю x_2 , визначаються з рівнянь (1) при $y_2 = 0$:

$$\tilde{n} \operatorname{tg} \alpha' = \left[-\rho \sin \varphi \cos \gamma + \rho' (\cos \varphi \cos \gamma - \operatorname{tg} \alpha \sin \gamma) - p \sin \gamma \right] / \left[-\rho (\sin \varphi \sin \gamma \cos \lambda_p + \cos \varphi \sin \lambda_p) + \rho' (\cos \varphi \sin \gamma \cos \lambda_p - \sin \varphi \sin \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \cos \lambda_p) + p \cos \gamma \cos \lambda_p \right] \quad (8)$$

де

$$\rho = \frac{q' \sin \gamma \sin \lambda_p - h \frac{\cos(\lambda' - \lambda_p)}{\cos \lambda} + (m' \operatorname{tg} \alpha - p \varphi) \cos \gamma \sin \lambda_p}{\cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \sin \varphi \cos \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \sin \lambda_p};$$

$$\rho' = \left\{ -p \cos \gamma \sin \lambda_p (\cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \sin \varphi \cos \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \sin \lambda_p) - (\cos \varphi \cos \lambda_p - \sin \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p) \times \left[q' \sin \gamma \sin \lambda_p - h \frac{\cos(\lambda' - \lambda_p)}{\cos \lambda'} + \cos \gamma \sin \lambda_p (m' \operatorname{tg} \alpha - p \varphi) \right] \right\} / (\cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \sin \lambda_p)^2.$$

Значення α'_1 і α'_2 знаходяться при підстановці в формулу (8) величин $\alpha_1, m_1, -\alpha_2, m_2$. Кривизна гвинтової поверхні в площині роликів відповідно до [2] має вигляд

$$K_i = \frac{L\left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2 + 2M\frac{d\rho}{d\varphi} + N}{E\left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2 + 2F\frac{d\rho}{d\varphi} + G}. \quad (9)$$

Коефіцієнти першої E, F, G та другої L, M, N квадратичних форм для архімедової гвинтової поверхні визначені в [3]:

$$E = \sec^2 \alpha; F = \operatorname{tg} \alpha p; G = \rho^2 + p^2; L = 0;$$

$$\dot{I} = \frac{p}{\sqrt{p^2 + \rho^2 \sec^2 \alpha}}; N = \frac{\rho^2 \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{p^2 + \rho^2 \sec^2 \alpha}}.$$

Визначивши їх значення в (9), отримаємо

$$K_i = \frac{-2p\frac{d\rho}{d\varphi} + \rho^2 \operatorname{tg} \alpha}{\left[\sec^2 \alpha \left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2 + 2p \operatorname{tg} \alpha \frac{d\rho}{d\varphi} + p^2 + \rho^2 \right] \sqrt{p^2 + \rho^2 \sec^2 \alpha}}. \quad (10)$$

Відношення диференціалів характеризує напрямок дотичної до кривої перетину гвинтової поверхні площиною роликів і визначається рівнянням

$$\frac{\partial \psi}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} d\varphi = 0. \quad (11)$$

Визначивши $\partial \psi / \partial \rho$ та $\partial \psi / \partial \varphi$ із рівняння (2), отримаємо

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = - \frac{\rho(\cos \varphi \cos \lambda_p - \sin \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p) + p \cos \gamma \sin \lambda_p}{\sin \varphi \cos \lambda_p + \cos \varphi \sin \gamma \sin \lambda_p + \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma \sin \lambda_p}. \quad (12)$$

Значення φ визначаються з (2) і (5).

У прийнятій системі координат знак кривизни, розрахованої по (10) при $\alpha = \alpha_1$ відповідає лівій стороні впадини. Для правого боку впадини при підстановці знак $\alpha = -\alpha_2$, отриманий з (10), змінюється на зворотний.

Вирішуючи на ПК рівняння (2), з необхідною точністю розраховуємо розміри впадини і кути профілю різьби в площині роликів, а також радіуси кривизни гвинтової поверхні в зоні деформації. При обкатуванні різьб з малим кутом підйому пристрій можна не розвертати.

Вважаючи, $\lambda_p = 0; q' = 0; \gamma = 0; \lambda' = \lambda$ із (1) отримаємо рівняння

$$\begin{aligned}x_2 &= \rho \cos \varphi; y_2 = \rho \sin \varphi + h; \\z_2 &= (\rho = m') \operatorname{tg} \alpha + p \varphi + h \operatorname{tg} \lambda.\end{aligned}$$

Прирівнюючи $y_2 = 0$ і $\rho = D_{cp}/2$, отримаємо на середньому діаметрі згідно (5) наступне співвідношення:

$$\sin \varphi = \sin \beta / \cos \alpha = -2h / D_{cp}.$$

Ширина впадини при паралельному перенесенні системи координат не зміниться, тобто кут профілю із виразу (8) з врахуванням (13) розраховується за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{1}{D_{cp}} \left(\operatorname{tg} \alpha \sqrt{D_{cp}^2 - 4h^2} + \frac{0,637hP_s}{D_{cp}} \right). \quad (14)$$

Відношення $d\rho/d\varphi$ в співвідношенні с (12) при $\lambda_p = 0, \gamma = 0$ буде

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = \frac{D_{cp}}{4h} \sqrt{D_{cp}^2 - 4h^2}.$$

Підставивши це значення в (11), отримаємо

$$K_n = \frac{2\operatorname{tg} \alpha - \frac{2P_a}{h\pi D_{\bar{n}\delta}} \sqrt{D_{\bar{n}\delta}^2 - 4h^2}}{\left(\frac{D_{\bar{n}\delta}^2 - 4h^2}{4h^2 \cos^2 \alpha} + \frac{P_a \operatorname{tg} \alpha \sqrt{D_{\bar{n}\delta}^2 - 4h^2}}{h\pi D_{\bar{n}\delta}} + \frac{P_a^2}{\pi^2 D_{\bar{n}\delta}^2} + 1 \right)} \times \sqrt{\frac{P_a^2}{\pi^2} + \frac{D_{\bar{n}\delta}^2}{\cos^2 \alpha}}. \quad (15)$$

Розраховані значення кутів профілю і розміри впадини різьби в площині роликів враховують при проектуванні пристроїв, а за величиною

кривизни гвинтової поверхні в зоні деформації визначають можливість обкатування різьби. Обкатування упорного боку профілю різьби проведено для гвинтів з кроками 24, 32 і 40 мм голчастими роликами діаметром відповідно 3; 3,5 і 4 мм. Осьова площина роликів розташована для гвинтів з кроками 24, 32 і 40 мм вище осьової площини гвинта відповідно на 6, 12 і 30 мм. Це дозволяє запобігти рух голчастого ролика під час обкатування в напрямку дна впадини різьби. Головка з роликами на кут підйому різьби не повертається. Кут опорного ролика можна розраховувати по (14-15).

Гвинт електропушки з кроком різьби 40 мм, виготовлений зі сталі 40Х, піддавався термообробці до твердості 217 - 255 НВ. Нажимні гвинти з кроками 24 і 32 мм виготовлялися з поліпшеної сталі 34ХН1М твердістю 286 - 321 НВ. Різьба перед обкатуванням нарізалася твердосплавними різцями. Шорсткість поверхні різьби перед обкатуванням відповідала $R_z = 20 \dots 40$ мкм. Обкатування замість полірування шкірками проводилося з погонним зусиллям на голчастому ролику 1,40; 1,68; 1,59 кН / мм відповідно для різьби з кроками 24, 32, 40 мм при швидкості 3 м / хв за три проходи. В результаті обкатування отримана інтенсивна деформація поверхні упорного боку витка по всій глибині профілю різьби. Шорсткість обкатаної поверхні $R_a = 0,32$ мкм. Твердість металу в поверхневому шарі різьби, що має сорбітну структуру, підвищилася на 18 - 20%. Це дозволило зняти загартування з нарізної ділянки гвинтів струмами високої частоти, в результаті якої гвинти згиналися, що додатково посилювало знос гайок під час експлуатації. Загальний вигляд пристрою для обкатування гвинта електропушки показаний на рис. 1, б.

Література

1. Бейлард П. П. Напряжения от локальных нагрузок в цилиндрических сосудах давления / П. П. Бейлард. – М. : Оборонгиз, 1960. – С. 43 – 65. – (Сб. Вопросы прочности цилиндрических оболочек)

2. Бутаков Б.И. Жесткость системы станок – инструмент – деталь при обкатывании деталей роликами / Б.И. Бутаков, А.В. Зубехина. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – С. 193 – 205. – 13 с. : ил., табл. – (Вісник аграрної науки Причорномор'я (випуск 4 (47)).
3. Шнейдер Ю.Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением / Ю.Г. Шнейдер. – Л : Машиностроение, 1971. – 248 с.
4. Азаревич Г.М. Размерно-чистовая обработка деталей машин пластическим деформированием взамен обработки резанием / Г.М. Азаревич, Г.Ш. Берштейн. – НииМаш : Технология обработки давлением, 1965. – С. 134 – 159.
5. Коновалов Е.Г. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко. – Минск : Вышэйша школа, 1968. – 364 с.
6. Пшибыльский В.П. Технология поверхностной пластической обработки / В.П. Пшибыльский – М. : Металлургия, 1991. – 479 с.
7. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев. - К. : Наукова думка, 1995. – 256 с.
8. Бутаков Б.И. Исследование и разработка способа обкатывания роликами стальных деталей с целью повышения их контактной прочности / Б.И. Бутаков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2007. – Вип. 37. – С. 63 – 74.
9. Бронштейн И.Н. Справочник по математике. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М., Техиздат, 1956. – 280 с.

Исследование и разработка технологии обкатывания игольчатыми роликами упорных резьб. О.В. Зубехіна-Хайят, В.В. Телешак

В статье описаны результаты исследования процесса обкатывания роликами упорных резьб. Предложен способ обкатывания упорных резьб с помощью гибких игольчатых роликов. Данная технология позволяет

повысить на 18 - 20% твердость металла в поверхностном слое резьбы, имеющей сорбитную структуру. Это позволило снять закалку из нарезного участка винтов токами высокой частоты, в результате которой винты сгибались, что дополнительно усиливало износ гаек во время эксплуатации.

Research and development of rolling-in technology with needle rollers of resistant threads. O.V. Zubehina-Hayat, V.V. Teleshak

The article describes the results of the study of the process of rolling with rollers of the thrust threads. The method of rope of thrust threads with the help of flexible needle rollers is offered. This technology makes it possible to increase the hardness of a metal in the surface layer of a thread having a sorbitan structure by 18-20%. This allowed the hardening of the screws from the high frequency currents to be removed, as a result of which the screws were bent, which further increased the wear of the nuts during operation.

УДК 624.078.43

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ
КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ
СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

С.И. Корягин, доктор технических наук, профессор

С.В. Буйлов, кандидат физико-математических наук, доцент

Е.С. Минкова, кандидат технических наук, доцент

С.И. Пелевин, кандидат технических наук, доцент

***Балтийский Федеральный университет им. И.Канта, Россия,
г. Калининград***

В статье приведены исследования трещиностойкости клеевых соединений на образце «пузырь под давлением». Получена диаграмма

объем-давление и определен размер зоны отслаивания покрытия от подложки.

Ключевые слова: трещиностойкость, статическое нагружение, клеевой соединение, армированное полимерное покрытие, прочность

Исследование трещиностойкости клеевых соединений выполнялось на образце «пузырь под давлением» [1].

Образец (рис.1) содержит подложку 1 с отверстием 2, установленное на подложке 1 перекрывающее отверстие 2, разделительную прокладку 4 и нанесенное на подложку 1 со стороны разделительной прокладки 3 армированное полимерное покрытие 4. Разделительная прокладка 3 выполнена из антиадгезионного, по отношению к армированному полимерному покрытию 4, материала, например, целлофана.

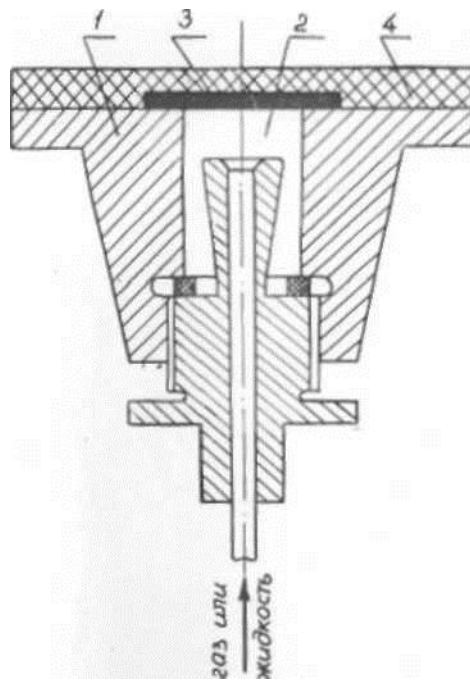


Рис. 1. Конструктивная схема образца для определения прочности сцепления полимерных покрытий с подложкой

Образец позволяет повысить точность определения прочности сцепления армированного полимерного покрытия с подложкой путем учета напряженного состояния покрытия при его отслаивании за счет

выполнения разделительной прокладки из антиадгезионного, по отношению к покрытию материала. Нагружение осуществляется жидкостью.

В этом случае объем поступившей жидкости определяли по зависимости:

$$V = P \cdot C, \quad (1)$$

где P - давление жидкости; C - величина, характеризующая податливость образца. Затем увеличивали давление жидкости до частичного отслаивания армированного полимерного покрытия и находили величину удельной энергии, затраченной на разрушение:

$$G = \frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{dC}{dA}, \quad (2)$$

где A - площадь трещины.

С учетом выражения (1), получаем:

$$G = \frac{1}{2} \left(P \frac{dV}{dA} - V \frac{dP}{dA} \right), \quad (3)$$

а с учетом конечности величин имеем:

$$G = \frac{1}{2} \left(P \frac{\Delta V}{\Delta A} - V \frac{\Delta P}{\Delta A} \right), \quad (4)$$

где ΔV , ΔP - изменение объема и давления жидкости при увеличении площади трещины (A) на величину ΔA ; V , P - объем и давление жидкости в момент отслаивания покрытия от подложки.

В случае скачкообразного продвижения межслойной трещины величиной ΔV можно пренебречь и, следовательно имеем:

$$G = -\frac{1}{2} \cdot V \frac{\Delta P}{\Delta A}. \quad (5)$$

Данный подход позволяет определить по диаграмме разрушения упругую энергию образца и произведенную работу за определенный промежуток отслаивания покрытия от подложки.

В случае стабильного продвижения межслойной трещины величину G определяли из выражения (3).

Величины G_c и G_a определяли, согласно выражениям, приведенным в работе [2]:

$$G_c = \frac{4P^2 R}{[P^2 + (P + \Delta P)^2](2R + \Delta R)} G ; \quad (6)$$

$$G_A = \frac{4(P + \Delta P)^2 (R + \Delta R)}{[P^2 + (P + \Delta P)^2](2R + \Delta R)} G , \quad (7)$$

где R-радиус зоны отслаивания; G- определяли по выражению (3).

Объем поданной в образец жидкости определяли из выражения:

$$v = \alpha * h * d^2 / 8, \quad (8)$$

где α - угол поворота штока поршня; h- шаг резьбы штока поршня; d-диаметр поршня.

В процессе испытаний получали диаграмму объем-давление и определяли размер зоны отслаивания покрытия от подложки. Характер роста межслойных трещин аналогичен характеру роста трещин при нормальном отрыве, то есть клеевой композиции «Спрут-5М-3»- устойчивый, а для композиции «Спрут-Плюс»- скачкообразный *. Для образцов «пузырь под давлением» трещина отслеживала рельеф армирующего материала (стеклоткани) и проходила вблизи поверхности раздела фаз.

Достоверность полученных результатов испытания трещиностойкости клеевых соединений на образце проверяли на консольных балках по методике приведенной в работе [3]. Там же показано, что для консольных образцов при $\tau < 0$ трещина отклоняется к армирующему материалу, а при $\tau > 0$ - к поверхности подложки. На рис. 2 и 3 приведены результаты испытаний клеевых соединений при кратковременном статическом нагружении. Из рис. 2 и 3 видно, что величина G_I примерно в шесть раз меньше величины G_{II} . Механизм вязкости разрушения клеевого соединения можно объяснить тем, что трещина распространяется в том случае, когда плотность энергии деформации в области вершины трещины становится слишком большой.

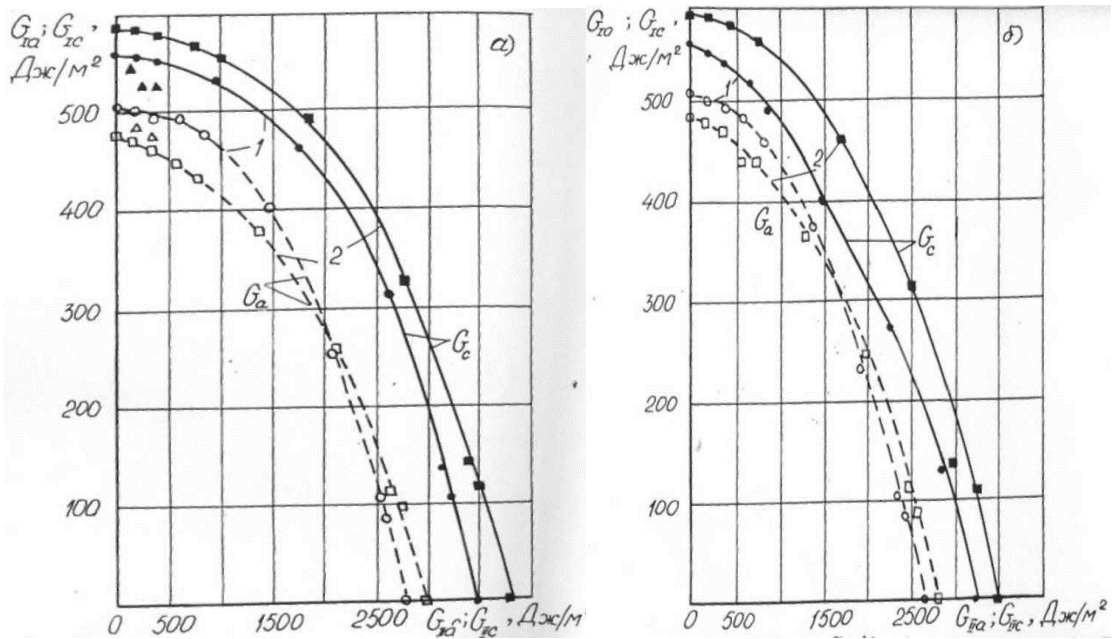


Рис. 2. Диаграммы предельного состояния при $\tau < 0$ (а), при $\tau > 0$ (б). Клеевая композиция Спрут-Плюс. Армирующий материал:

1 – стеклоткань Т-11-ГВС-9; 2 – стекловолокно; Δ – образец «пузырь под давлением»; $\blacktriangle$ – консольный образец

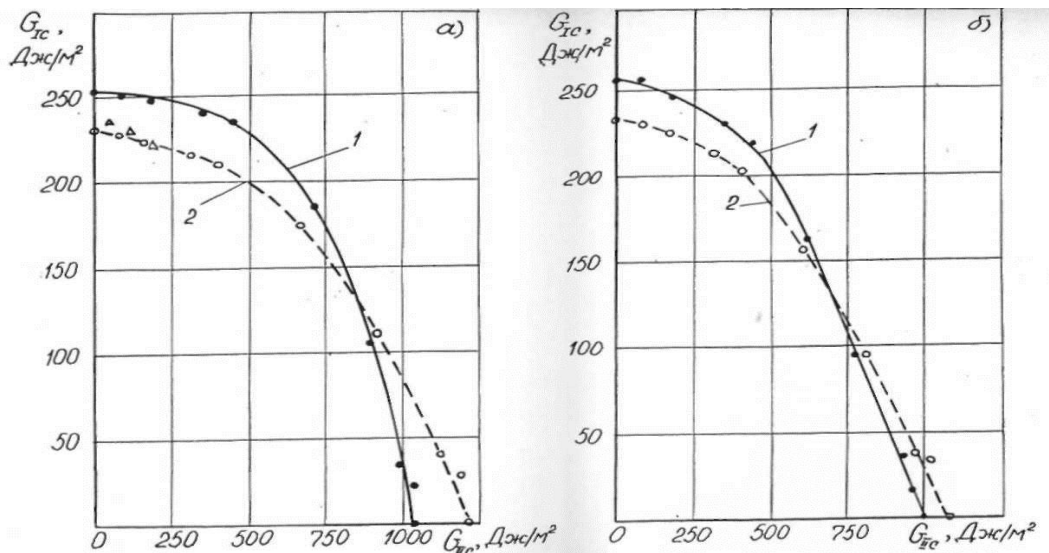


Рис. 3. Диаграммы предельного состояния при $\tau < 0$ (а), при $\tau > 0$ (б). Клеевая композиция Спрут-5М-3. Армирующий материал:

1 – стеклоткань Т-11-ГВС-9; 2 – стекловолокно; Δ – образец «пузырь под давлением»; $\blacktriangle$ – консольный образец

При исследовании поведения трещин, расположенных по границе раздела, клеевая композиция-подложка, наблюдалось распространение трещины на границе раздела при низкой скорости, а при ускорении трещины ее траектория отклонялась в клеевую композицию.

Объясняется это тем, что при низких скоростях трещины энергия адгезии меньше энергии когезии и трещина следует вдоль границы раздела, то есть по пути минимального сопротивления, а при высоких скоростях трещины энергия адгезии больше энергии когезии и поэтому трещина распространяется в клеевую композицию. Аналогичное наблюдение скоростной зависимости разрушения клеевых соединений по границе фаз полимер-металл сделано в работе [2]. Необходимо также отметить, что нами в качестве рабочей гипотезы предложены приемлемые экспериментальные методики для количественной оценки адгезионной и когезионной энергии диссипации в клеевых соединениях. Таким образом, величины G_{Ic} и G_{Ia} являются важными прочностными характеристиками и их следует учитывать наряду с показателями стандартных испытаний клеевых соединений в конструкторских расчетах.

Литература

1. А.с. №974226 СССР. Образец для определения прочности сцепления полимерных покрытий с подложкой / С.В.Буйлов, С.И.Корягин//Б.и.-1982-№42
2. Корягин С.И. Несущая способность композиционных материалов.- Калининград:ГИПП «Янтарный сказ», 1996.-901 с.
3. Корягин С.И., Буйлов С.В. Оценка трещиностойкости армированного полимерного покрытия, нанесенного на металлический элемент/Заводская лаборатория.-2006.-№10.

Дослідження тріщиностійкості клейового з'єднання при короткочасному статичному навантаженні. С.І. Корягін, С.В. Белов, Е.С. Мінкова, С.І. Пелевін

У статті наведено дослідження тріщиностійкості клейових з'єднань на зразку "міхур під тиском». Отримано діаграма обсяг-тиск і визначений розмір зони відшаровування покриття від підкладки.

Research crack adhesive bond at short-term static load. S.I. Koryagin, S.V. Belov, E.S. Minkova, S.I. Pelevin

The paper presents the study of fracture toughness of adhesive joints on the "bubble pressure" sample. We obtain a pressure-volume diagram and determined the amount of peeling of the coating from the substrate zone

УДК 669.15.26.74

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ
МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

А.И. Гарост, кандидат технических наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск*

Разработан ресурсосберегающий метод прямого (из оксидов) поверхностного легирования и модифицирования металлическими элементами (ванадием, титаном, вольфрамом, лантаном и др.) деталей машин, при котором в качестве легирующих и модифицирующих добавок используются промышленные отходы и полупродукты смежных производств. Восстановление металлов производится атомарным водородом и углеродом из специальных покрытий литейной формы и стержней, содержащих высокополимерные соединения.

Ключевые слова: поверхностное легирование, детали, микроскопия, износостойкость

Несмотря на высокую эффективность процессов объемного легирования и модифицирования при повышении комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств чугуна, они имеют и ряд существенных недостатков. Как правило, при реализации таких технологий повышение одних показателей влечет за собой снижение других, то есть не всегда решается комплексно проблема повышения качества чугуна. В этом отношении определенными преимуществами обладают процессы поверхностного легирования и модифицирования, позволяющие получать двухслойные отливки, сочетающие положительные свойства двух материалов (основы и поверхностного слоя). Это открывает широкие возможности для комплексного решения вопроса повышения качества чугунных изделий и увеличения срока их службы.

Для упрочнения поверхности стальных и чугунных деталей с целью повышения износостойкости или придания необходимых физико-механических характеристик при эксплуатации в специфических условиях применяются различные способы. Однако одни из них (например, наплавка) достаточно трудоемки и не обеспечивают точность геометрии и чистоту поверхности детали, для применения других (например, плазменной или ионно-лучевой обработки и др.) требуется сложная дорогостоящая техника, к тому же толщина слоя ограничена и возникают сложности по обеспечению надежной адгезии покрытия. Отдельные детали должны иметь эффективный износостойкий слой толщиной несколько миллиметров и выше (например, зубья ковшей экскаваторов, молотки дробилок и др.).

Целью настоящей работы является повышение износостойкости и долговечности литых изделий из железоуглеродистых сплавов за счет увеличения в структуре легированного слоя карбидной фазы и

измельчения первичной дендритной структуры матричного металла легированного слоя. Ресурсосберегающая технология предусматривает создание эффективных составов композиций, состоящих из промышленных отходов и полупродуктов смежных производств, для покрытий форм и стержней, обеспечивающих формирование наиболее глубокого и качественного легированного слоя.

Технологические подходы при реализации поставленных целей не предусматривают использование в составе легирующих и модифицирующих композиций дорогих и дефицитных химических соединений (нитридов, карбидов и др.), последние должны формироваться путем химического взаимодействия составляющих обмазки с основными компонентами сплава на определенных стадиях процесса кристаллизации.

Разработан ресурсосберегающий метод прямого (из оксидов) поверхностного легирования и модифицирования металлическими элементами (ванадием, титаном, вольфрамом, лантаном и др.) деталей машин [1-3], при котором в качестве легирующих и модифицирующих добавок используются промышленные отходы и полупродукты смежных производств. Восстановление металлов производится атомарным водородом и углеродом из специальных покрытий литейной формы и стержней, содержащих высокополимерные соединения.

Изучение возможностей метода проверяли на серых чугунах при заливке в сухие песчаные формы, при этом поверхность формы покрывается обмазкой, содержащей оксиды ванадия, для прямого поверхностного легирования отливок. В процессе пиролиза полимерных материалов образуются атомарные водород и углерод, которые обеспечивают восстановление металлов из оксидов.

Обеспечивается получение отбеленного поверхностного слоя (рис. 1). Результаты исследований структуры чугуна методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе JSM-5610LV с использованием электронно – зондового EDX анализа на детекторе IED 2201 позволили

определить форму, размеры и микросостав образующихся включений как в поверхностном слое, так и в сердцевине отливки (табл. 1).

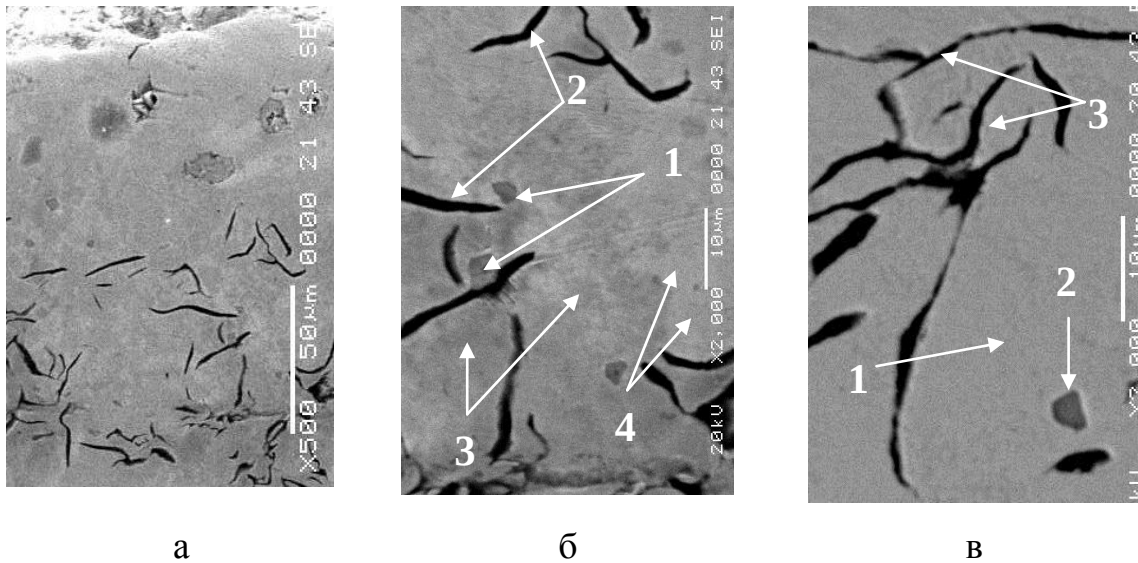


Рис. 1. Микроструктура чугуна подвергнутого прямому поверхностному легированию ванадием из оксидов:

а – металлографические исследования; б, в – исследования методом сканирующей электронной микроскопии

Проведенные исследования указывают на практическую возможность упрочнения отливок путем прямого поверхностного легирования и модифицирования железоуглеродистых сплавов из оксидов при использовании в качестве восстановителя не подлежащих регенерации изделий из высокомолекулярных соединений; составлены исходные данные для разработки технологии поверхностного легирования и модифицирования.

Определен состав композиции, обеспечивающей формирование наиболее глубокого и качественного легированного слоя, исключающего присутствие не расплавившихся включений и не прореагировавших между собой частиц легирующего наполнителя, а в объеме отливок – внутренних раковин.

Разработаны тип и состава связующего для легирующей композиции и разработана технология выплавки высококачественных отливок с износостойким поверхностным слоем из железоуглеродистых сплавов.

Таблица 1

Химический состав неметаллических включений чугуна после прямого поверхностного легирования

Вариант легирования	Расстояние от поверхности	Позиция включ.	Химический состав, % масс.						
			C	Si	Mn	Al	S	V	Fe
ванадием в сухой песчаной форме	на поверхности	1 рисунок 1б	22,46	-	49,18	-	23,78	0,43	4,15
		2 рисунок 1б	75,02	0,74	0,56	0,08	-	0,02	23,58
		3 рисунок 1б	18,04	1,89	2,36	1,09	-	0,02	76,60
		4 рисунок 1б	8,23	2,45	2,80	1,26	0,10	-	85,15
	более 5 мм от поверхности	1 рисунок 1в	-	3,02	2,91	-	0,06	0,24	93,77
		2 рисунок 1в	-	0,21	52,63	0,18	29,47	-	17,51
		3 рисунок 1в	69,78	0,18	1,12	-	-	-	28,93

Технология прямого поверхностного легирования металлическими элементами деталей машин из промышленных отходов и полупродуктов смежных производств позволяет обеспечить упрочнение отливок за счет увеличения в структуре легированного слоя карбидной фазы, а также за счет измельчения первичной дендритной структуры матричного металла

легированного слоя. Отработана технология нанесения композиций, состоящих из промышленных отходов и полупродуктов смежных производств, на поверхность форм и стержней для формирования наиболее глубокого и качественного легированного слоя.

Созданы композиции для покрытия поверхности форм и стержней, включающие недорогие металлосодержащие промышленные отходы, сверхсильные восстановители (атомарные водород и углерод), генерируемые при пиролизе составляющих покрытия, и связующие компоненты.

Литература

1. Гарост, А.И. Железоуглеродистые сплавы: структурообразование и свойства / А. И. Гарост. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 252 с.
2. Гарост, А. И. Разработка технологии получения высококачественных серых чугунов путем графитизирующего модифицирования отходами высокополимерных соединений / А. И. Гарост // Литье и металлургия. – 2005. – № 2, ч. 1. – С. 93–38.
3. Гарост А.И. Способ выплавки чугуна и способ выплавки стали. Патент Республики Беларусь на изобретение №11641 от 26.11.2008 г. по заявке а20050280 от 24.03.2005 г. (МПК(2006) C21C1/00, C21C5/00, F23G5/027)).

Підвищення зносостійкості литих деталей методом прямого поверхневого легування. А.И. Гарост

Розроблено ресурсозберігаючий метод прямого (з оксидів) поверхневого легування і модифікування металевими елементами (ванадієм, титаном, вольфрамом, лантаном і ін.) Деталей машин, при якому в якості легуючих і модифікуючих добавок використовуються промислові відходи і напівпродукти суміжних виробництв. Відновлення металів здійснюється атомарним воднем і вуглецем зі спеціальних

покривів ливарної форми і стрижнів, що містять високополімерні з'єднання.

Improving the durability of cast parts by direct surface alloying. A.I. Harost

A resource-saving method of direct (from oxides) surface alloying and modification of metallic elements (vanadium, titanium, tungsten, lanthanum and others.) Machine parts, in which as doping and modifying additives used industrial waste and products related industries. Recovery of metals with atomic hydrogen produced from the carbon and specialty coatings mold and cores containing high polymer compound.

УДК 621.793.71

**МАТЕРИАЛ И ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА
РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОСТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ИЛИ
НАПЫЛЕНИЕМ**

В.А. Лойко, кандидат технических наук, доцент

В.С. Ивашко, кандидат технических наук, доцент

Беларусский национальный технический университет, г. Минск

В статье приведены результаты исследований эксплуатации режущего инструмента, необходимости в согласовании свойств материалов покрытия и инструмента, технологических особенностей методов нанесения к покрытиям, наносимым на режущий инструмент.

Ключевые слова: режущий инструмент, восстановление, наплавка, лезвийная обработка, износостойкость

Для большинства деталей, которые восстановлены наплавкой и напылением, требуется дальнейшая обработка для получения

необходимых точности размеров и качества поверхности. Однако обработка наплавленных и напыленных материалов значительно отличается от обработки традиционных материалов. Материалы, используемые при восстановлении, имеют ряд специфических свойств [1, 2], затрудняющих их обработку, такие, как значительные микронеровности поверхности, неоднородный по сечению химический состав наплавленного слоя, повышенная пористость и высокая концентрация трещин, различная твердость наплавленного слоя по площади поверхности и по глубине наплавленного слоя, присутствие в материале наплавленного слоя шлаков и твердых включений, окисление поверхности и внутренних фрагментов структуры.

Поэтому механическая обработка наплавленных и напыленных материалов сопровождается значительными колебаниями величины сил резания и контактных нагрузок на поверхностях инструмента, нестабильностью процесса резания, более высокой температурой в зоне резания по сравнению с обработкой материалов того же химического состава в другом состоянии.

Высокие механические свойства материалов покрытий, применяемых для восстановления деталей машин, обеспечивают их функциональные свойства и требуемый ресурс в эксплуатации, однако плохо обрабатываются резанием, что создает значительные проблемы получения требуемых размеров и качества поверхностного слоя изделий. Для решения данной проблемы современном производстве целесообразно применять инструмент, упрочненный нанесением покрытий.

В зависимости от материала и условий эксплуатации режущего инструмента, необходимости в согласовании свойств материалов покрытия и инструмента, технологических особенностей методов нанесения к покрытиям, наносимым на режущий инструмент, предъявляется ряд требований, которые могут быть разделены на четыре категории [1].

1. Требования, учитывающие условия работы инструмента, то есть его

служебное назначение. Покрытия должны обладать высокой твердостью, превышающей твердость материала инструмента (и сохранять ее при температуре резания); стойкостью к адгезии с обрабатываемым материалом во всем диапазоне температур резания; устойчивостью к высокотемпературной коррозии; стабильностью механических свойств вплоть до температуры теплостойкости инструментального материала; инертностью к растворению в обрабатываемом материале при высоких температурах; сопротивляемостью к разрушению при значительных колебаниях температур и напряжений.

2. Специфические требования к инструментальному материалу с покрытием включают совместимость свойств материалов покрытия и инструмента. Материалы покрытия и инструмента должны обладать сродством кристаллохимического строения, определяющем высокую адгезионную прочность; оптимальным соотношением основных физико-механических и теплофизических характеристик (модуль упругости, коэффициент Пуассона и коэффициент линейного расширения, теплопроводности); малой склонностью материалов основы и покрытия к твердофазным диффузионным реакциям во всем диапазоне температур и напряжений в условиях процесса резания, и не быть склонными к образованию хрупких вторичных соединений.

3. Требования к технологическим особенностям метода нанесения покрытия такие, как формирование покрытия при температурах, исключая кристаллизационные явления и фазовые переходы в материале инструмента; возможность воспроизводства свойств покрытия заданного состава при требуемом соотношении технологических параметров.

4. Общие требования, такие, как высокая равная плотность и беспористость покрытия по поверхности и сечению, обеспечивающие защиту материала инструмента от взаимодействия с обрабатываемым материалом и газовой средой; стабильность свойств покрытия во времени; малые отклонения толщины покрытия в пределах рабочих поверхностей,

что позволяет сохранить геометрическую точность инструмента; возможность получения покрытий предельно простым и экономичным способом.

Наиболее широко в качестве материалов для покрытий на режущих инструментах используют карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды и силициды тугоплавких металлов IV – VI групп Периодической системы элементов (IV – титан, цирконий, гафний; V – ванадий, ниобий, тантал; VI – хром, молибден, вольфрам). Это связано с особенностями их кристаллохимического строения [2, 4].

Например, наличие у этих металлов дефекта на внутренних *s*-, *p*- и *d*-орбиталях делает их весьма восприимчивыми к приобретению электрона из любого источника, которым могут служить междоузельные атомы углерода, азота и кислорода [2, 4].

Большинство переходных металлов имеет широкие области гомогенности, что позволяет в зависимости от содержания кислорода, азота и углерода достаточно сильно изменять физико-механические свойства их карбидов, нитридов или оксидов. К тому же переходные металлы и некоторые их соединения, особенно с простой кубической структурой (*ZrC*, *HfC*, *ZrN*, *TiN*, *HfN*, *VC*, *NbC*, *TaC*), отличаются высокой твердостью и температурой плавления [2, 4, 5].

Выбор покрытия осуществляется в зависимости от типа обрабатываемого материала и области его применения. Любое покрытие должно обладать максимальной инертностью к обрабатываемому материалу. Поэтому необходимо учитывать тип химической связи материала покрытия.

Ранее установлено, что чем заметнее проявляется металлический тип связи покрытия, тем сильнее оно схватывается с обрабатываемым материалом. Карбиды переходных металлов проявляют более высокую адгезионную активность по отношению к различным металлам и сплавам, чем нитриды [2, 4]. На основании этого можно предположить, что

покрытия из Al_2O_3 , обладающего ионным типом химической связи, будут проявлять высокую инертность к обрабатываемым материалам.

Таблица 1

Свойства соединений тугоплавких металлов, перспективных в качестве упрочняющих покрытий [2]

Соединение	ρ , кг/м ³	$T_{пл}$, °C	H_{μ} , ГПа	E , ГПа	α , град ⁻¹	λ , Вт/м·К
TiC	4930	≈ 3250	31,7	460	8,3	6,8
TiN	5440	2950	20,5	256	9,4	12,6
$\alpha-Al_2O_3$	3980	2050	—	—	8,0	30,2
NbC	7500	3500	21,7	345	7,8	-
NbN	8470	2300	14,61	493	10,1	3,8
ZrC	6900	3330-3530	29,5	355	7,01	11,6
ZrN	7350	2980	15	400	7,24	28,3
HfC	12200	≈ 3890	28,3	359	6,9	6,3
HfN	1339	3310	16	—	6,9	19,1
Mo_2C	9180	2230	17,64	544	7,8	31,9
MoC	8400	2530	15	-	0,6	-
Mo_2N	9440	895	6,3	-	-	-
$Cr_{23}C_6$	6890	1520—1550	16,63	-	10,1	19,7
Cr_7C_3	6970	1530—1895	18,82	380	9,4	15,3
Cr_3C_2	6683	1827—1895	12,74	380	11,7	19,2
Cr_2N	6510	-	15,41	310	9,41	21,8
CrN	6140	1500	10,93	330	2,3	11,9

Примечание: ρ — плотность, $T_{пл}$ — температура плавления, H_{μ} — микротвердость, E — модуль упругости, α — коэффициент термического расширения, λ — коэффициент теплопроводности.

Нитридные и карбидные покрытия широко применяются в различных отраслях промышленности, что связано с их предельными физико-механическими свойствами и устойчивостью во многих агрессивных средах.

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных свойств изделий является их обработка в вакууме. К преимуществам вакуумных ионно-плазменных технологий относят возможность нанесения плотных покрытий с твердостью более 2 ГПа с высокой адгезией к поверхности различных материалов, в том числе и неметаллических. Процесс позволяет создавать многокомпонентные покрытия с различными стехиометрическими композициями: нитридные, карбонитридные, оксикарбонитридные, интерметаллидные, на основе различных металлов. Кроме этого, вакуумная ионно-плазменная технология, Состав композиционного покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации, материала основы и характера предварительной термической и механической обработки оснастки или упрочняемого инструмента. Для упрочнения режущего инструмента предлагается трехслойное покрытие (рис. 1). Первый слой толщиной 0,5 – 1,5 мкм предназначен для снижения трения по обработанной поверхности и стружке в процессе лезвийной обработки, представляет собой тонкий и высокоплотный слой химически индифферентного к металлам группы железа нитрид металла с достаточно высокими физико-механическими характеристиками (табл. 1). Ближайший к поверхности основы инструмента слой 3-й слой, толщиной 2-5 мкм представляет собой твердый карбид того же металла обеспечивает защиту рабочих поверхностей инструмента. Промежуточный многофункциональный слой 2 (рис. 1) толщиной 1-3 мкм из карбид-нитрида переменного состава [3] обеспечивает надежную связь 1-го и 3-го слоев и выполняет барьерную, теплоотражающую функцию. Такие покрытия можно наносить в одном технологическом цикле на установке «Булат-6».

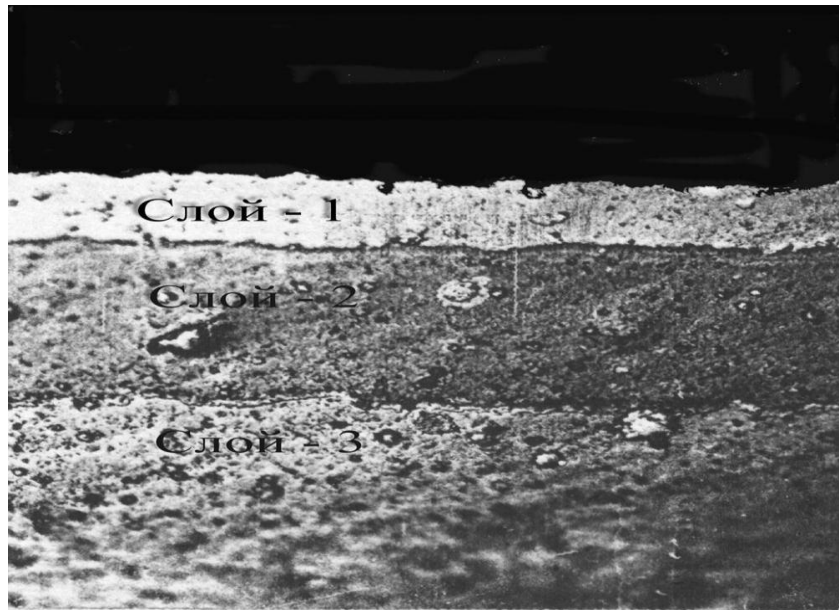


Рис. 1. Предлагаемое расположение слоев многослойного покрытия лезвийного режущего инструмента для наплавленных или восстановленных газотермическим напылением поверхностей

Вакуумные ионно-плазменные технологии позволяют проводить химико-термическую обработку поверхности (например, ионное азотирование) [1, 4, 6]. Этот процесс заключается в низкоэнергетическом насыщении обрабатываемой поверхности легируемым веществом.

Высокие механические характеристики плазменно-вакуумных покрытий, такие как микротвердость, износостойкость, прочность сцепления с материалом детали или инструмента, а также низкий коэффициент трения и слабая склонность к свариванию с обрабатываемой деталью, обусловленные их слабым сродством с металлами заготовки, их высокая термическая стабильность защищают материал инструмента, а незначительная толщина обеспечивает высокую упругость при ударах и экстремальных нагрузках.

Наиболее характерная особенность покрытий, наносимых вакуумно-плазменным методом – отсутствие переходной зоны между покрытием и инструментальным материалом. Это обстоятельство является весьма важным, так как создается возможность придать рабочим поверхностям ин-

струмента комплекс дополнительных свойств без ухудшения его объемных свойств – прочности и вязкости разрушения. Возможность широкого варьирования температуры (200–800 °C) в зонах осаждения позволяет использовать вакуумно-плазменные технологии для нанесения покрытий на инструмент из углеродистых инструментальных быстрорежущих сталей, твердых сплавов, керамики с высокой адгезии покрытия к основе.

Метод вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой универсален благодаря возможности нанесения многокомпонентных однослойных (типа карбид-нитридов, композиций карбидов (нитридов) 2-х или даже 3-х металлов, а также, многослойных и композиционных покрытий в одном технологическом цикле. Следует также отметить относительно высокую скорость формирования покрытий и безопасность для окружающей среды, так как процесс осуществляется в вакуумной камере, а исходные вещества и продукты плазмо-химических реакций не представляют опасности для человека и окружающей среды.

Метод конденсации с ионной бомбардировкой может быть успешно применен для нанесения покрытий из переходных металлов *IV–VIa* групп Периодической системы (*Ti, Cr, Mo и др.*) и их тугоплавких соединений (карбидов, нитридов, оксидов и комплексных соединений типа карбид-нитридов) на металлические детали машин и режущий инструмент для обработки восстановленных поверхностей.

В качестве подложки могут быть использованы быстрорежущие и низколегированные углеродистые инструментальные стали, твердые сплавы, керметы, спеченный Al_2O_3 или Si_3N_4 .

Технологически возможно совмещение ионно-плазменных технологии, которые реализуются в последовательном (либо совмещенном) воздействии на обрабатываемую поверхность в одном вакуумном объеме за один технологический цикл. Например, проведение ионного азотирования либо ионной нитроцементации с последующим

вакуумно-плазменным осаждением упрочняющего слоя либо многослойной композиции.

Особенностями метода является низкая температура детали или инструмента в процессе (200–500 °C) нанесения слоя, незначительное изменение параметров микрорельефа поверхностей инструмента и малая толщина слоя покрытия (3-10 мкм), что позволяет исключить последующие механическую и термическую обработки.

По традиционной технологии на стадии ионной очистки, к обрабатываемому инструменту прикладывается высокий отрицательный потенциал 1-1,5 кВ, что приводит к ускорению ионов металла вблизи подложки в так называемом двойном слое до энергии 1...2,0 кэВ и способствует интенсивной бомбардировке тяжелыми ионами металла с высокой энергией, распылению загрязнения и дефектов, травлению и активации поверхности детали нагреву его до температуры конденсации 650–800 °C, что вполне приемлемо для инструмента из металлокерамических твердых сплавов, но приведет к отпуску на низкую твердость легированных углеродистых инструментальных и даже быстрорежущих сталей. Эта проблема усугубляется особенностями экранизации плазменного потока выступающими элементами инструмента (лезвийными частями) и плохими условиями теплоотвода от острых кромок, что приводит к преимущественному их разогреву и возможному отпуску, в то время, как температура «тела» инструмента значительно (на 100-200⁰C) ниже температуры отпуска на низкую твердость для данного инструментального материала.

Поэтому развитием метода вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой является метод низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой. По сравнению с известным ранее методом, способ метод низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой позволяет [1, 4, 6] наносить качественные покрытия при температуре не более 150-200⁰C без

отпуска на низкую твердость, следовательно, без последующей термической обработки инструмента (в том числе из термообработанных углеродистых и низколегированных инструментальных сталей), возможность наносить покрытия на детали с повышенными требованиями к размерной точности; возможность одновременного нанесения покрытий на детали, различные по материалам и массе; снижение оптимальной толщины покрытий до 3-10 мкм, достижение адгезии покрытий, соизмеримой с прочностью соединяемых материалов, исключение брака.

Предлагаемый низкотемпературный процесс включает предварительную обработку поверхности детали, режущего инструмента или оснастки потоком ионов нейтрального газа аргона, ускоренных в скрещенных магнитном и электрическом полях ионного источника типа «Аида-2» или «Радикал», «Риф» и последующую конденсацию с ионной бомбардировкой потоков плазмы переходного металла в строго контролируемом «химически активном вакууме» - среде реакционного газа. Для реализации метода низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой могут использоваться модернизированные установки серии «Булат», которые оснащают газовыми ионными источниками различных конструкций, обеспечивают «мягкую» и эффективную предварительную очистку поверхности инструмента ионами нейтрального газа без сколько-нибудь существенного нагрева, а на этапе осаждения покрытия - «ионное ассистирование» путем подачи ионизированного реакционного газа в зону формирования упрочняющего слоя [1, 4].

Перед нанесением покрытия инструмент устанавливается на технологической оснастке в вакуумной камере установки «Булат». Откачивающая система установки обеспечивает рабочий вакуум в камере 0,1 Па. После откачки в нее с помощью вентиля тонкого натекаания напускался аргон до давления 0,5 – 1 Па, и проводится очистка поверхности потоком ионов аргона, ускоренных до энергии 0,1 - 4 КэВ,

для чего между электродами и устанавливалась разность потенциалов 0,1 - 4 кВ. Далее камера снова откачивалась до давления 10^{-3} Па, и подается реакционный газ или смесь газов до давления $(8 \times 10^{-2}) - (3 \times 10^{-1})$ Па. При этом ионизированные атомы металла основы покрытия и заряженные конгломераты частиц с высокой скоростью устремляются к поверхности инструмента, где в результате плазмо-химических реакций происходит прямой синтез упрочняющего слоя. Одной из ключевых проблем плазменно-вакуумной технологии упрочнения режущего инструмента является присутствие в плазменном потоке расплавленных частиц, которые при осаждении на поверхность образуют мягкие и химически активные включения чистого металла, снижающие триботехнические характеристики и интегральную твердость упрочняющего слоя. Разработанные учеными Харьковского ФТИ устройства плазмосепарации [5] нашли применение для нанесения углеродсодержащих покрытий, но при нанесении покрытий из тяжелых элементов, каковыми являются металлы $IYa - VIIa$ групп Периодической системы требуют создания значительных стационарных магнитных полей, поэтому потребляют много электроэнергии, не отличаются надежностью и снижают выход образующего покрытие металла до 20-50% за счет потерь наиболее ценной ионной компоненты плазменного потока. электростатических экранов (подготовлена заявка на патент, имеем «Ноу хау») [6], что обеспечивает увеличение выхода ионной компоненты образующих покрытие материалов не ниже 70%. Использование таких устройств позволяет не только свести к минимуму количество включений металла в слое и на поверхности упрочняющего покрытия, но и снизить до минимума выделение энергии кристаллизации расплавленных частиц, следовательно способствуют снижения температуры инструмента в процессе нанесения покрытия и термических напряжений.

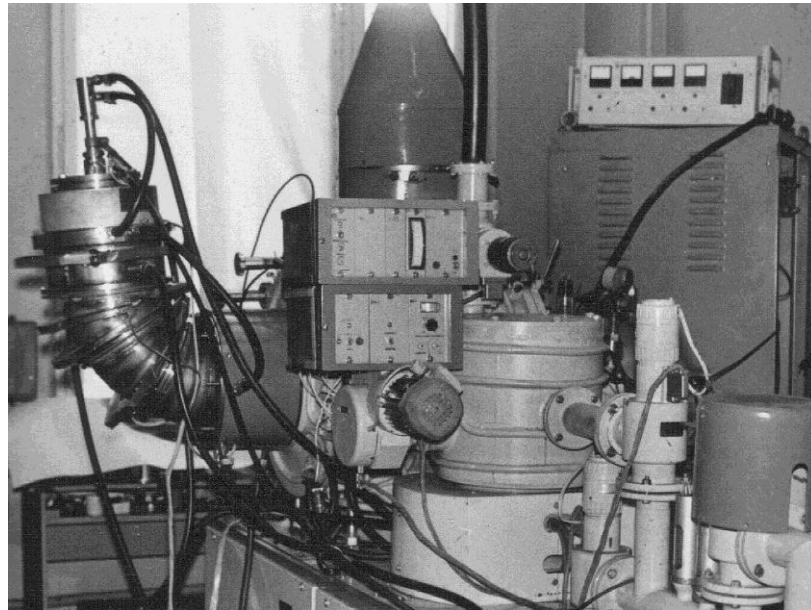


Рис. 2. Установки «Булат-6», оснащенная системой плазмосепарации с электростатическими экранами

Заключение. Плазменно – вакуумная технология нанесения тонких износостойких слоев высокопрочных химических соединений металлов *IVa – VIa* групп Периодической системы элементов (карбидов, нитридов, оксидов и их композиций) на поверхности инструмента из известных инструментальных материалов (твердые сплавы, быстрорежущих и низколегированных углеродистых сталей) является перспективным направлением упрочнения инструмента для обработки резания восстановленных поверхностей. Однако для более широкого промышленного применения требуются углубленная проработка как новых материалов покрытий, совершенствование технологии, так и создание более современных устройств для их нанесения.

Литература

1. Лойко, В.А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве / В.А. Лойко и [др.]. - Минск: Издательство УО «БГАТУ», 2007. 192 с.
2. Косолапова, Т.Я. Свойства, получение и применение тугоплавких

соединений. Справочное издание / Т.Я. Косолапова [и др.]; под общ. ред. Т.Я. Косолаповой. - Москва: Металлургия, 1986. - 928 с.

3. Лойко, В.А. Способ нанесения карбонитридных покрытий. /В.А. Лойко и [др.] - Патент РБ №2433 от 01.06.1998 г.

4. Кадыржанов, К.К. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов [и др.] – Москва: МГУ, 2005. – 640 с.

5. Аксенов, И.И. Покрытия, полученные конденсацией плазменных потоков в вакууме (способ конденсации с ионной бомбардировкой) / И.И. Аксенов [и др.] // Украинский физический журнал - 1979. - Т.24, № 4. - С. 515-525.

6. Ивашко В.С., Лойко В.А. Улучшение характеристик плунжерных пар топливных насосов нанесением вакуумно-плазменных покрытий В сборнике материалов международной научно – технической конференции «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні», Вып. 46, 47, г. Харьков, 2006.

Матеріал і технологія нанесення покриттів на ріжучий інструмент для лезової обробки поверхонь, востановлених наплавленням або напиленням.

В.А. Лойко, В.С. Івашко

У статті наведені результати досліджень експлуатації ріжучого інструменту, необхідності в узгодженні властивостей матеріалів покриття та інструменту, технологічних особливостей методів нанесення до покриттів, що наносяться на ріжучий інструмент.

Material i tehnologiya Damage pokrittiv on rizhuchy instrument for lezovoï obrobki poverhon, Data Recovery Tools weld abo napilennyam. V.A. Loikaw, V.S. Ivashko

The results of research stae operation of the cutting tool, the need to harmonize the properties of the coating materials and tools, technological features methods of application to the coating applied to the cutting tool.

УДК 621:62-182.8

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕСУВАННЯ НА РЕЙКОВОМУ ХОДУ

Г.О. Іванов, кандидат технічних наук, доцент

П.М. Полянський, кандидат економічних наук, доцент

О.М. Дюльгер, здобувач вищої освіти групи М4/2

В.Ю. Красносьолов, здобувач вищої освіти групи М4/1

Миколаївський національний аграрний університет

Наведені відповідні залежності для розрахунку механізмів пересування на рейковому ході. Приведена перевірка рейкових механізмів на сталість руху. Даний розрахунок гальмівного моменту та вибір гальма.

Ключові слова: механізми пересування, опір пересуванню, опір перекочуванню колеса, загальне зусилля, потужність двигуна, сталість руху

Механізми пересування на рейковому ході в основному використовуються для пересування мостових, козлових і баштових кранів, а також для руху вантажних візків мостових і козлових кранів.

Усі механізми пересування можна розділити на дві основні групи (рис. 1); з роздільним приводом, коли крутний момент від електродвигуна передається на одне (а) або групу ходових коліс (б), що рухаються по одній з рейок, і з центральним приводом, коли від одного електродвигуна приводяться в обертання пари коліс, що рухаються по двох рейках. Механізми пересування, що мають центральний привід, поділяються на системи з тихохідним (в) і швидкохідним (г) валами.

Роздільний привід, як правило, використовується в механізмах пересування бруківок баштових і двобалочних мостових кранах; центральний привід застосовується для пересування вантажних візків і бруківок однобалочних кранів.

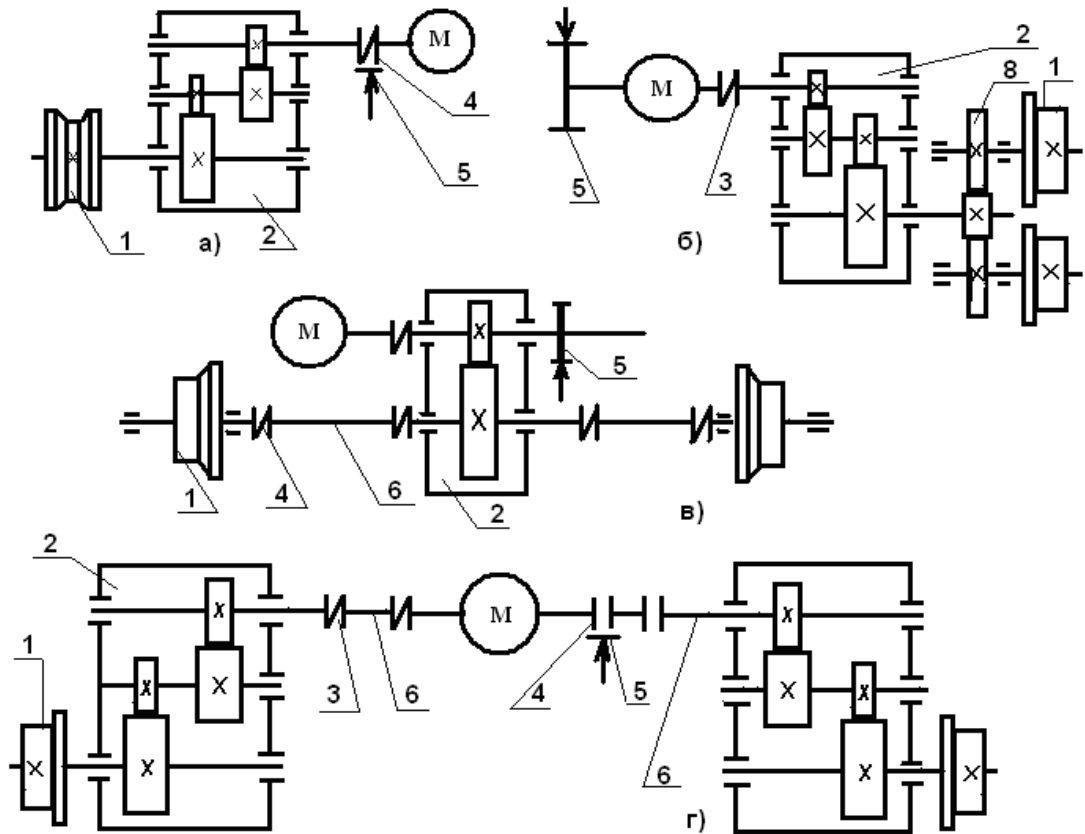


Рис. 1. Кінематичні схеми механізмів пересування:

1 – ходове колесо; 2 – редуктор; 3 – двигун; 4, 5 – пружна муфта;
6 – гальмо; 7 – трансмісійний вал; 8 – відкрита зубчаста передача

Механізми пересування (див. рис. 1) містять: ходові колеса 1, редуктор 2, двигун 3, пружні компенсуючі муфти 4, 5, що можуть бути об'єднані з гальмовим шківом, гальма 6 і трансмісійні вали 7. Для передачі крутного моменту від редуктора до ходового колеса можуть прийматися відкриті зубчасті передачі 8.

Опір пересуванню рейкових механізмів. Опір пересуванню при сталому русі рейкового механізму залежить від сполучення таких факторів: ваги вантажу G , ваги самого крана G_K або візка G_B ; уклону рейок α_y , по яких рухається кран; вітрового навантаження F_B , геометричних розмірів ходової частини; типу підшипників; якості монтажу підкранових балок і рейок. Опір ходових коліс крана (візка) визначається тертям у підшипниках F_T ,

тертям кочення F_k коліс по рейках, тертям маточин коліс, тертям поперечного ковзання коліс по рейках і реборд по рейках F_p .

Опір перекочуванню колеса залежить від пружних якостей контакту колеса з рейкою, кривини їхніх поверхонь, пружних мікро переміщень у зоні контакту і тиску. Загалом на подолання опорів при перекочуванні тіл витрачається певна робота. Згідно з останніми дослідженнями, опір коченню є результатом деформаційних втрат у шарах металу, що контактують (відбуваються різноспрямовані зміщення волокон колеса і рейки). Плече опору кочення можна

При перекочуванні ходового колеса під дією зовнішньої сили W у зоні контакту виникає сила тертя ковзання F_0 , що дорівнює силі W за модулем і протилежна за напрямом:

$$F_0 = N \cdot f_{\text{зч}}, \quad (1)$$

де N – нормальна сила, що прикладена до колеса; $f_{\text{зч}}$ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою.

Розрахункову модель механізму пересування показано на рис. (див. рис. 1, а). Сили визначаються так:

$$W = F_{\delta} + F_{\varepsilon} + F_{\delta}; F_{\delta} = (G + G_{\varepsilon})fd / D; F_{\varepsilon} = (G + G_{\varepsilon})2k / D. \quad (2)$$

де F_m – сила тертя в опорах; F_k – сила тертя кочення колеса по рейках; F_p – додаткова сила тертя в ребордах коліс; D – діаметр ходового колеса по колу кочення; d – діаметр цапфи; f – коефіцієнт тертя в підшипниках (для підшипників кочення $f = 0,015 - 0,020$); k – коефіцієнт кочення коліс по рейках, який залежить від діаметра і матеріалу коліс і типу рейок, $k = (3 - 12) 10^{-4}$.

Теоретично опір F_p знайти не можна внаслідок невизначеності всіх факторів, які впливають на тертя в ребордах, маточині та ін. Через те додатковий опір ураховують за допомогою коефіцієнта k_p .

Загальний опір пересуванню крана з додатковими силами F_y для подолання уклону шляху і сили вітру:

$$W = (G + G_{\hat{e}}) \left(\frac{fd + 2k}{D} \right) k_p + 0,7F_{\hat{a}} + F_y. \quad (3)$$

Коефіцієнт k_p залежить від типу крана, довжини прольоту, привода механізму (центральний, індивідуальний), конструкції колеса і типу підшипників: для кранів на конічних колесах $k_p = 1,2$; на циліндричних $k_p = 1,5$; для кранових візків

$k_p = 2...2,5$; для кранів на циліндричних безребордних колесах з напрямними боковими роликами (рис. 2, б) умовно беруть $k_p = 1,1$.

Зусилля від уклону підкранової колії

$$F_{\hat{o}} = (G + G_{\hat{e}}) \sin \alpha_{\hat{o}} \approx (G + G_{\hat{e}}) \alpha_{\hat{o}}, \quad (4)$$

де α_y – уклон підкранової колії залежно від типу крана.

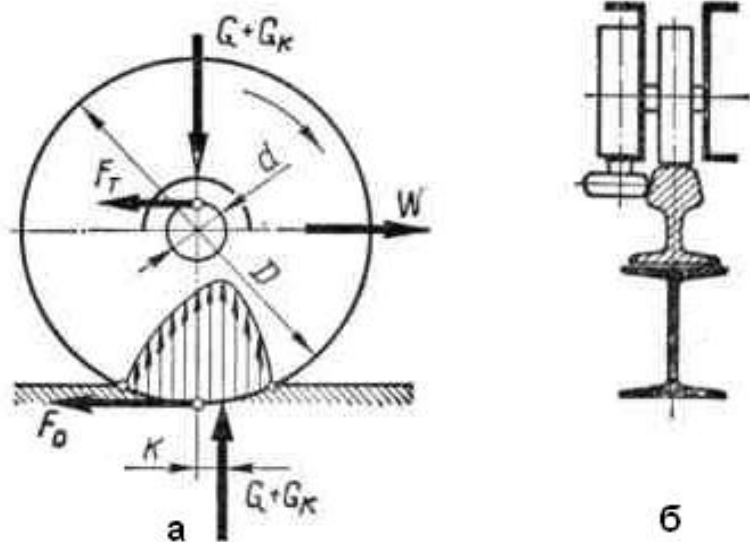


Рис. 2. Розрахункова схема механізму пересування (а) і схема безребордного колеса з напрямним роликом (б)

Загальний опір пересуван-ню можна визначити, якщо ввести поняття коефіцієнта опору або коефіцієнта тяги, що дорівнює відношенню сили опору пересу-ванню крана до ваги завантаженого крана:

$$\omega_0 = W / (G + G_k) = (f + 2k) k_p / D = (7 - 10) \text{ Н/кН}. \quad (5)$$

Для механізмів пересування електроталей опір визначають за формулою:

$$W = (G + G_{\varepsilon}) \left[\left(\frac{fd + 2k}{D} \right) + \alpha_y \right].$$

У розрахунках беруть такі значення коефіцієнтів: $k = 4 \cdot 10^{-4}$; $f = 0,02$, $\alpha_y = 0,001$.

Тип крана	α_y
Мостові крани	0,0015
Електроталі	0,001
Візки, козлові крани	0,002
Баштові крани	0,010

З урахуванням можливого дефекту підкранової колії, опору від тертя в ребордах та інших опорів розрахункове значення сили збільшують до $W_p = (2,5 - 3) W$.

Потужність приводу та вибір електродвигуна. Основними навантаженнями, які визначають потужність двигуна і міцність механізму, є динамічні моменти, що виникають у періоди пуску і гальмування приводу.

Для попереднього вибору двигуна визначають загальне зусилля $W_{заг}$ (кН) пересування навантаженого крана з урахуванням сил інерції мас F_i у пусковий період:

$$W_{заг} = W + F_i = W + (1,1 \dots 1,3)(m_{\varepsilon} + m_{\kappa})a, \quad (6)$$

де m_{ε} , m_{κ} – маси вантажу і крана, що поступально рухаються; a – середнє прискорення крана при пуску, м/с^2 ; допустиме прискорення залежить від призначення крана і перебуває в межах $a = (0,05 - 0,25) \text{ м/с}^2$ (менші значення для монтажних кранів і кранів, які переміщують рідкий і розпечений метал); $1,1 \dots 1,3$ – коефіцієнт, що враховує обертові маси приводу.

Потужність P , кВт, електродвигуна:

$$P = \frac{(W + F_i)v}{\psi_{i.н.ед.} \cdot \eta_i} \quad (7)$$

Тут $\psi_{n.cер}$ – середня кратність пускового моменту двигуна (залежно від типу становить $\psi_{n.cер} = (0,8 - 2)$).

Потужність двигуна можна визначити інакше – через коефіцієнт тяги:

$$P = \frac{(G + G_{\hat{e}})v}{\psi_{i.\hat{n}\hat{\delta}} \cdot \eta_i} \left(\omega_0 + \frac{\alpha\delta}{g} \right), \quad (8)$$

де ω_0 – коефіцієнт опору, або коефіцієнт тяги; δ – коефіцієнт, що враховує обертові маси, $\delta = 1,1 - 1,3$.

Передаточне число редуктора: $u_p = \omega/\omega_{\kappa}$.

Кутова швидкість колеса: $\omega_{\kappa} = 2v/D$.

За каталогом вибирають тип редуктора і його параметри. При встановленні роздільних приводів потужність одного двигуна: $P_1 = (0,5 - 0,7) P$.

Розгойдування вантажу, що піднімається на канатах, впливає на потужність двигунів механізму пересування.

У загальному випадку потужність двигуна з урахуванням сил інерції при пуску і розгойдуванні вантажу можна знайти за формулою:

$$P = \frac{(G + G_{\hat{e}})v}{\psi_{i.\hat{n}\hat{\delta}} \cdot \eta_i} + \left[\omega_0 + \frac{a}{g} (\delta + \beta) \right]. \quad (9)$$

де β – коефіцієнт, що враховує вплив розгойдування вантажу на потужність, $\beta = \frac{G}{G + G_{\kappa}}$ (при жорсткому підвісі вантажу $\beta = 0$).

Для кранів, на які діють великі зовнішні навантаження (вітрові, від уклону колії та ін.), потужність двигуна треба визначати за сумарними максимальними статичними зусиллями:

$$P_{cm\ max} = W_{cm\ max} v / \eta_m. \quad (10)$$

Ця потужність може бути більшою, ніж потужність, яку знайдено за формулами з урахуванням сил інерції: $P > P_{cm\ max}$.

Вибір електродвигуна механізму пересування проводять по каталогу в відповідності зі статичною потужністю та режимом роботи:

$$P_{\text{н\o}} = \frac{W_{\text{i\ddot{a}\ddot{o}}} \cdot V_{\text{i}}}{102 \cdot \eta_0}, \text{ кВт.}$$

Вибраний електродвигун перевіряють в процесі пуску і гальмування та на нагрів.

Перевірка рейкових механізмів на сталість руху. Через це треба провести перевірку механізму на стійкість руху крана, виконавши розрахунок коефіцієнта запасу зчеплення колеса з рейкою. Оскільки ймовірність нестійкого руху більша при малому тиску на приводні колеса, то розрахунок слід робити для кранів з роздільним приводом, коли крановий візок перебуває в одному з крайніх положень моста.

Умова стійкого руху:

$$F_{\zeta\ddot{r}} \geq k_{\zeta\ddot{r}} (W_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} - F_{\ddot{o}}), \quad (11)$$

де $k_{\zeta\ddot{r}}$ – коефіцієнт запасу зчеплення колеса з рейкою.

Щоб не було буксування ходових коліс, сила зчеплення повинна бути більшою за загальне тягове зусилля $W_{\text{заг}}$ привода ненавантаженого крана при пуску без урахування опору від тертя в підшипниках коліс F_T .

Для забезпечення необхідного запасу зчеплення ($k_{\zeta\ddot{r}} \geq 1,2$) при пуску ненавантаженого крана його прискорення повинно бути не більшим ніж те, що визначено за формулою:

$$\dot{a}_{\text{i max}} = [z_{\text{i\ddot{o}}} / z_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} (\varphi_{\zeta\ddot{r}} / k_{\zeta\ddot{r}} + fd / D) - \omega_0 - F_{\ddot{a}} / G_{\ddot{e}}] g. \quad (12)$$

Тут ω_0 – коефіцієнт опору пересуванню крана; $z_{\text{пр}}$ – число приводних коліс;

$z_{\text{заг}}$ – загальне число коліс на крані; $\varphi_{\zeta\ddot{r}}$ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою.

Коефіцієнт зчеплення залежить від стану колії та умов роботи крана:

$\varphi_{\zeta\ddot{r}} = 0,12$ для кранів, що працюють на відкритому повітрі; $\varphi_{\zeta\ddot{r}} = 0,20$ для кранів, установлених у закритих приміщеннях; $\varphi_{\zeta\ddot{r}} = 0,25$ для кранів з

піскоструминним пристроєм; $\varphi_{зч} = (0,35 - 0,45)$ для коліс з гумовим ободом.

Фактичний коефіцієнт запасу зчеплення ведучих коліс з рейками в загальному вигляді з урахуванням вітрових навантажень

$$k_{\zeta\ddot{\cdot}} = \frac{\varphi_{\zeta\ddot{\cdot}}}{(\ddot{a}_i / g + F_{\hat{a}} / G_{\hat{e}} + \omega_0) z_{\zeta\hat{a}\ddot{\cdot}} / z_{i\ddot{\cdot}} - f d / D} \geq 1,2; \quad (13)$$

де a_n – фактичне прискорення при пуску, $a_n = v/t_n$; ω_0 – коефіцієнт опору пересуванню крана [формула (5)] при $k_p = 1$.

Допустиме середнє прискорення становить $(0,05 - 0,25) \text{ м/с}^2$, максимальне – $(1 - 1,2) \text{ м/с}^2$.

З урахуванням пружних коливань механізму та ударів в приводі при замкненні зазорів у з'єднаннях коефіцієнт запасу зчеплення можна визначити за формулою

$$k_{\zeta\ddot{\cdot}} = \frac{G_{\zeta\ddot{\cdot}} \varphi D / 2}{T_{i.\hat{e}} + \sqrt{T_{i.\hat{e}}^2 + 2c\theta T_{i.\hat{e}}}} \geq 1.$$

Тут D – діаметр приводного колеса; c – коефіцієнт крутильної жорсткості трансмісійних валів; θ – зведений кутовий зазор у трансмісії; $T_{n.k}$ – крутний момент на валу приводних ходових коліс: при розгоні $T_{i.\hat{e}} = T_{i.\hat{n}\hat{e}\ddot{\cdot}} \cdot u_i \cdot \eta_i$; при гальмуванні $T_{i.\hat{e}} = T_{\hat{a}} \cdot u_i \cdot \eta_i$,

де $T_{n.cер}$ – середньопусковий момент усіх приводних коліс; T_{Γ} – гальмівний момент усіх гальм; u_m , η_m – відповідно передаточне число і ККД механізму.

Механізми з індивідуальними приводами перевіряють на зчеплення коліс з рейками при роботі з одним приводом, коли крановий візок без вантажу розташований на боці привода. Коефіцієнт запасу зчеплення в цьому разі

$$k_{зч} = 1,02 - 1,1 \text{ (більше значення – при дії на кран вітрових сил).}$$

Розрахунок гальмівного моменту та вибір гальма. Призначення гальма в механізмі пересування – поглинання кінетичної енергії

поступально рухомих і обертових мас крана. За нормами Держтехнагляду всі крани і кранові візки із швидкістю руху більше ніж 0,5 м/с повинні мати гальма. Розрахунок гальмівного моменту механізму пересування виконується за умови відсутності буксування приводних коліс по рейках при максимально допустимих сповільненнях.

Гальмівний момент визначають як різницю моментів сил інерції рухомих мас і мінімального моменту сил опору пересуванню:

$$T_{\text{ã}} = M_i - M_{i \min} . \quad (14)$$

Вираз для гальмівного моменту можна записати в загальному вигляді:

$$T_{\text{ã}} = \left(\frac{mv^2}{\omega_{\text{ã}}^2} \eta_i + \Sigma J_{i\text{ã}} \right) \varepsilon - \frac{W_{0 \min} R_{\hat{e}}}{u_p} \eta_i . \quad (15)$$

Тут m – маса крана, кг; $\Sigma J_{i\text{ã}}$ – сума моментів інерції обертових деталей крана, зведених до гальмового вала, кг·м²; $\omega_{\text{ã}}$ – кутова швидкість вала, на якому встановлено гальмо, рад/с; v – швидкість руху крана, м/с; ε – кутове прискорення, рад/с², $\varepsilon = \omega_{\text{ã}}/t_{\text{ã}}$.

Мінімальна сила опору визначається без урахування тертя в ребордах ходових коліс ($k_p = 1$) та при русі крана під кутом:

$$W_{0 \min} = G(\omega_0 - \alpha_y) . \quad (16)$$

Для забезпечення необхідного коефіцієнта запасу зчеплення і запобігання пробуксовуванню приводних коліс максимальне прискорення при гальмуванні повинно бути не більшим ніж те, що визначається за формулою:

$$a_{\text{ã}} = \left[z_{i\text{ã}} / z_{\text{ãã}} (\varphi / k_{\text{ã}} - fd / D) + \omega_0 \right] g . \quad (17)$$

Мінімально допустимий час гальмування

$$t_{\text{ã}} = 2s_{\text{ã}} / v_{\hat{e}} . \quad (18)$$

Гальмівний момент у механізмі пересування кранів, які працюють на відкритому повітрі без протиугінних пристроїв:

$$T_{\tilde{a}} = k_3 \frac{D\eta_i}{2u_i} (W_{\tilde{a}} + W_{\tilde{o}} - W_{\tilde{n}\tilde{o}}),$$

де $W_{\tilde{b}}$, $W_{\tilde{y}}$ – опори відповідно від вітрових сил робочого стану та уклону рейок;

$W_{\text{ст}}$ – статичний опір пересуванню крана без вантажу і при $k_p = 1$; k_3 – коефіцієнт запасу, $k_3 = 1,15$. D – діаметр ходового колеса; u_m , η_m – відповідно передаточне число механізму (до гальмового вала) і ККД.

Сповільнення і відповідні до них мінімальні шляхи гальмування наведено в табл. 1.

Цей гальмівний момент не повинен перевищувати момент від юзу – при ковзанні нерухомих коліс по рейках:

$$T_{\tilde{a}} \leq \dot{I}_{\tilde{p}} = G_{\tilde{zч}} \varphi \eta_i / 2u_i ,$$

де $G_{\tilde{zч}}$ – зчеплення приводних коліс; φ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою.

Таблиця 1

Сповільнення і мінімальний шлях гальмування

$G_{\tilde{zч}}/G$	Коефіцієнт зчеплення $\varphi_{\tilde{zч}}$			
	0,12		0,20	
	$a_{\tilde{r}}$, м/с ²	$S_{\tilde{r}}$, м	$a_{\tilde{r}}$, м/с ²	$S_{\tilde{r}}$, м
1	0,90	$v^2/1,8$	1,5	$v^2/3,06$
1/2	0,45	$v^2/0,9$	0,75	$v^2/1,53$
1/4	0,25	$v^2/0,46$	0,40	$v^2/0,625$

Для роздільного привода гальмівний момент на кожному механізмі складає:

$$T_{\tilde{a},\tilde{\delta}} = T_{\tilde{a}} / n ,$$

Тут n – кількість приводів.

Література

1. Тіщенко Л. М. Проектування вантажопідійомних машин та навантажувачів / Л. М. Тіщенко, В. О. Білостоцький. – Харків, 2003. – 401 с.
2. Любін М. В. Механізація транспортуючих та вантажопідіймальних робіт. Ч. I. / за ред. П. С. Бердника ; М. В. Любін, П. С. Берник. – Київ–Вінниця : Урожай, 1996–191 с.
3. Красников В. В. Подъемно-транспортные машины в сельском хозяйстве / В. В. Красников. – М. : Колос, 1984. – 368 с.
4. Справочник по кранам : В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / под общ. ред. М. М. Гохберга ; [В. И. Брауде, М. М. Гохберг, И. Е. Звягин и др.]. – М. : Машиностроение, 1988.–536 с.
5. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / под общ. ред. М. М. Гохберга ; [М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин и др.]. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1988.–559 с.
6. Підйомно-транспортні машини. Навчально-методичний посібник. Навчально-методичний комплекс дисципліни / І. М. Бендера, О. Я. Стрельчук, Г. О. Іванов та ін. Кам'янець-Подільський, ФОП Сисин О.В., Абетка, 2014. – 368 с.

Расчет механизмов передвижения на рельсовом ходу. Г.А. Иванов, П.Н. Полянский, А.Н. Дюльгер, В.Ю. Красносьолов

Приведены соответствующие зависимости для расчета механизмов передвижения на рельсовом ходу. Приведена проверка рельсовых механизмов на устойчивость движения. Данный расчет тормозного момента и выбор тормоза.

Calculation of the mechanisms of movement on the railroad run. H.A. Ivanov, P.N. Polyansky, A.N. Dyulger, V.Y. Krasnosolov

The corresponding dependencies for calculation of mechanisms of movement on a railroad run are given. The check of rail mechanisms for stability of movement is given. This calculation of brake torque and brake selection.

УДК 678.01:621.7

**К МЕХАНИЗМУ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВАЯ МОЗАИКА НА
ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ**

В.А. Лиопо, доктор технических наук, профессор

В.А. Струк, кандидат технических наук, доцент

А.Н. Сенько, кандидат физико-математических наук, доцент

Е.В. Овчинников, кандидат технических наук, доцент

С.В. Авдейчик, ассистент

*УО «Гродненский государственный университет имени Янки
Купалы», г. Гродно, Беларусь*

В статье приведены исследования барьерной модели механизма возникновения мозаики на поверхности металлических поликристаллических подложек.

Ключевые слова: зарядовая мозаика, поликристаллы, барьерная модель

При формировании и эксплуатации статических (адгезионных) и динамических (триботехнических) металлополимерных систем важное значение имеют физико-химические процессы на границе раздела. На механизм реализации и кинетику этих процессов существенное влияние

оказывает локализованный заряд, формирующий так называемую «зарядовую мозаику». Существуют различные гипотезы формирования зарядовой мозаики, однако однозначной теории в настоящее время не существует. Нами сделана попытка в рамках барьерной модели описать механизм возникновения мозаики на поверхности металлических поликристаллических подложек.

В модели свободного независимого электрона (адиабатическое приближение) гамильтониан в уравнении Шредингера имеет вид:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + u(\vec{r}), \quad (1)$$

где $\hbar$ - постоянная Планка, m – масса электрона, $u(\vec{r})$ функция потенциала. Если гамильтониан (1) применяется для описания состояния электрона в кристалле, то есть в поле периодического потенциала, то

$$u(\vec{r}) = u(\vec{r} + \vec{R}), \quad (2)$$

где $\vec{R}$ – вектор трансляции, равный

$$\vec{R} = m\vec{a} + n\vec{b} + p\vec{c}, \quad (3)$$

где $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ – репер Бравэ, m , n , p – целые числа.

Решением уравнения Шредингера для адиабатического приближения при наличии периодического потенциала является волновая функция ψ_{nk} , определяемая теоремой Блоха.

$$\psi_{nk}(\vec{r}) = \varphi_{nk}(\vec{r}) \cdot \exp i\vec{k}\vec{r}, \quad (4)$$

где волновой вектор $\vec{k} = 2\pi\vec{s}$, $\vec{s}$ – вектор обратной решетки. Функция $\varphi_{nk}(\vec{r})$ обладает свойством периодичности:

$$\varphi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) = \varphi_{nk}(\vec{r}) \quad (5)$$

Из формул (1-5) следует

$$\psi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) = \varphi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) \cdot \exp i\vec{k}(\vec{r} + \vec{R}) = \varphi_{nk}(\vec{r}) \exp i\vec{k}\vec{r} \cdot \exp i\vec{k}\vec{R} = \psi_{nk}(\vec{r}) \cdot \exp i\vec{k}\vec{R} \quad (6)$$

Полученное уравнение

$$\psi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k}\vec{R}} \cdot \psi_{nk}(\vec{r}) \quad (7)$$

является другой формой записи теоремы Блоха [1].

Из условия (7) видно, что волновая функция электрона в поле периодического потенциала $(u(\vec{r}))$ соответствует решению уравнения Шредингера для свободного электрона $(\psi(\vec{r}))_f$

$$[\psi_k(\vec{r})]_f = \psi_0 \exp(i\vec{k}\vec{r}), \quad (8)$$

но вместо постоянного амплитудного множителя ψ_0 в решении (7) стоит волновая функция с периодом R . Волновое число (k) – называют номером зоны. При фиксированном k имеется много независимых собственных состояний с определенными значениями энергии, которые распределены по зонам, разделенных значениями энергии, которые не являются собственными значениями оператора Гамильтона, то есть, запрещены для электронных состояний.

При попытке описать состояние электрона вблизи поверхности кристалла следует учитывать, что в этих областях вещества нарушается периодичность потенциала, а на поверхности кристалла создается, так называемый, поверхностный барьер, форма которого зависит от очень многих факторов, начиная от дефектов различной природы (кстати, сама поверхность является двухмерным дефектом), а также от морфологии поверхностных слоев. Функция поверхностного потенциала (u_s) изменяет свою форму, при переходе от одной точки поверхности к другой, то есть

$$u_s = u(\vec{Q}), \quad (9)$$

где $\vec{Q}$ – радиус-вектор точек поверхности.

В работе [1] показано, что при нарушении периодичности потенциала вблизи поверхности, волновая функция приобретает вид, отличный от тех, что приведены условием (4) и (8). Пример поверхностной волновой функции приведен на рис. 1.

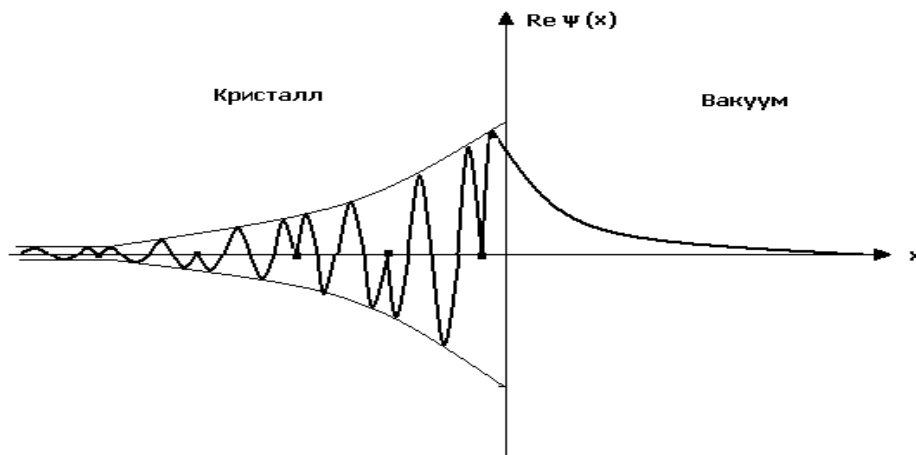


Рис. 1. Пример волновой функции одноэлектронного поверхностного уровня, изображенной в направлении x , перпендикулярном поверхности

Заметим, что функция ψ спадает по экспоненте снаружи металла и имеет экспоненциально убывающую огибающую внутри него. В этом случае наряду с действительными волновыми векторами $\vec{k}$ (см. (4,8)) внутри кристалла, существуют другие решения с комплексными волновыми векторами, которые соответствуют состояниям электронов, локализованных вблизи поверхности кристалла, отличающиеся от объемной.

Эти поверхностные состояния с определенными уровнями энергии впервые были рассмотрены И.Е. Таммом и носят его имя – таммовские уровни. При обсуждении объемных свойств кристаллов влиянием этих поверхностей уровней пренебрегают, так как отношение числа поверхностных уровней к числу блоховских уровней не превышает отношения числа поверхностных атомов к полному числу атомов в кристалле, которые для макроскопического образца не превышает 10^{-8} . В результате поверхностные уровни дают пренебрежительно малый вклад в объемные свойства; исключение составляет лишь нанобъекты, поверхностные и размерные факторы, в которых играют большую, а часто и решающую роль. Однако, и в монокристаллах таммовские уровни

довольно важны при определении структуры кристаллической поверхности. Например, они должны учитываться при всяком подлинно микроскопическом расчете структуры поверхностного слоя [1].

Для конкретных форм поверхностных потенциалов необходимо искать конкретное решение уравнения Шредингера. При этом необходимо анализировать не только действительные, но и комплексные волновые векторы (см. (4, 8)), а затем исследовать вопрос, как будут «сшиты» волновые функции поверхностного слоя с внутренними блоховскими функциями и экспоненциально убывающей по амплитуде волновой функцией во внешней для кристалла области. Самое главное, на наш взгляд, заключается в том, что, во-первых, определить форму потенциального барьера экспериментально очень трудно, если вообще это возможно, так как сам процесс его измерения внесет сильные искажения в форму барьера, а во-вторых, функционал поверхностного потенциала зависит от многих факторов и различен для различных точек поверхности.

В то же время само наличие поверхностного потенциала как следствие появления такого дефекта, каковым эта поверхность является, при любой его форме приводит к появлению поверхностных (таммовских) уровней, которых нет в объемной зонной структуре.

Рассмотрим одномерный случай. Пусть состояние электронов характеризуется дискретным спектром собственных значений оператора Гамильтона, а ось x перпендикулярна поверхности кристалла. Волновые функции в объеме $\psi^{(0)}(x)$ и на поверхности $\psi(x)$ являются решениями соответствующих уравнений Шредингера

$$\begin{aligned}\hat{H}^{(0)} \psi_n^{(0)}(x) &= E_n^{(0)} \psi_n^{(0)}(x) \\ \hat{H} \psi_k(x) &= E_k \psi_k(x).\end{aligned}\tag{10}$$

Предположим, что уравнение (10) имеют одинаковую по числу решений систему функций, т.е. $n, k = 1, 2, 3, \dots, N$. Тогда к ним применимо понятие скалярного произведения

$$\begin{aligned}(\hat{H} \psi_k, \psi_n^{(0)}) &= E_k (\psi_k, \psi_n^{(0)}), \\ (\psi_k, \hat{H}^{(0)} \psi_n^{(0)}) &= E_n^{(0)} (\psi_k, \psi_n^{(0)}).\end{aligned}\quad (11)$$

Отсюда

$$(\hat{H} \psi_k, \psi_n^{(0)}) - (\psi_k, \hat{H}^{(0)} \psi_n^{(0)}) = (E_k - E_n^{(0)}) (\psi_k, \psi_n^{(0)}). \quad (12)$$

Так как

$$\begin{aligned}\hat{H} &= -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + U, \\ \hat{H}^{(0)} &= -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V\end{aligned}\quad (13)$$

содержат независимые друг от друга функции поверхностного U и объемного V потенциалов, то левая часть уравнения (12) отлична от нуля.

Следовательно,

$$(\psi_k, \psi_n^{(0)}) \neq 0. \quad (14)$$

Это означает, что ψ_k и $\psi_n^{(0)}$ образуют независимые системы функций, причем количество собственных значений для этих двух состояний в общем случае не связаны друг с другом. Уравнения (10) с учетом (13) запишем в виде

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \psi_k(x)}{\partial x^2} + q_k^2 \psi_k(x) &= 0, \\ \frac{\partial^2 \psi_n^{(0)}(x)}{\partial x^2} + p_n^2 \psi_n^{(0)}(x) &= 0,\end{aligned}\quad (15)$$

$$\text{где } q_k^2 = \frac{2m}{\hbar^2} (U - E_k), \quad p_n^2 = \frac{2m}{\hbar^2} (V - E_n^{(0)}).$$

Решения уравнений (15) ищем в виде

$$\begin{aligned}\psi_k(x) &= A \exp(iq_k x) \\ \psi_n^{(0)}(x) &= B \exp(ip_n x),\end{aligned}\quad (16)$$

отсюда

$$\ln \frac{\psi_k}{\psi_n^{(0)}} = \ln C + ix(q_k - p_n), \quad (17)$$

$$\text{здесь } C = \frac{A}{B}.$$

так как $q_k \neq p_n$ и эти величины независимые, то

$$\ln \frac{\psi_k}{\psi_n^{(0)}} \neq const. \quad (18)$$

То есть функции $\psi_n^{(0)}(x)$ или их линейные комбинации не могут быть собственными функциями оператора $\hat{H}$, а $\psi_k(x)$ – собственными функциями оператора $\hat{H}^{(0)}$ [2].

Если уравнения (10) имеют различные количества решений, т.е. $k \neq n$, то в том случае, в котором число решений больше, можно брать линейные комбинации волновых функций, то есть с одной стороны, все решения учитываются, а с другой – будет осуществлен переход к одинаковому числу решений. Дальнейший анализ проводится по рассмотренной выше схеме (см. формулы (11 – 18)).

В кристаллах со спайностью структурные дефекты по обе стороны от плоскости расслоения при образовании ювенильной поверхности различны [2]. Это объясняет наличие электронной мозаики на поверхностях диэлектриков [3], но не позволяет, на первый взгляд, объяснить появление электрически заряженных областей на поверхности металлов, а именно эти заряды создает, по терминологии Т.И. Дистлера, подробно изучавшего это явление, своеобразный «электрический рельеф» поверхности поликристаллических металлов [4-6]. Этот «рельеф» формируется декорированием поверхности порошком антрахинона и даже осаждением на поверхности каплями воды (см. рис. 2).

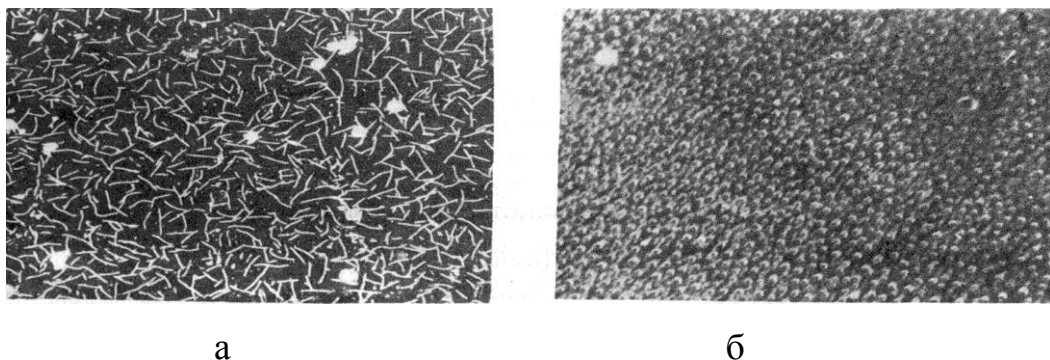


Рис. 2. Выявление электрического рельефа поверхности на стали:

а - осаждение антрахинона; б - адсорбция воды ($\times 100$) [7]

Рассмотрим две (любые) частицы (два кристалла в поликристаллической поверхности) Поверхностные потенциалы также различны. Следовательно, можно считать, что энергетическое состояние электрона в частицах 1 и 2 вблизи межзонной границы также различны. Необходимо отметить, что уже только по указанной причине следует говорить о том, что поверхностный, точнее, межзеренный, потенциальный барьер будет существовать. При этом потенциалы по обе стороны от этого барьера, относящиеся к контактирующим частицам, будут различны. Следовательно, рассмотренная модель соответствует физической ситуации, наблюдаемой рядом авторов экспериментально.

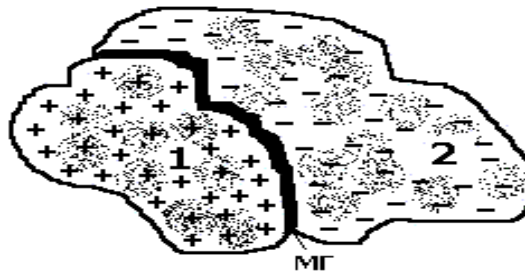


Рис. 3. Иллюстрация к использованию барьерной модели:

1, 2 – различные контактирующие частицы; МГ – межзонная граница

Это различие учитывается, если мы учтем, что и распределение дефектов в этих частицах также неодинаково, а межзонная граница является потенциальным барьером. Заметим, что кристаллохимическое строение этой границы может сильно отличаться от строения самой частицы. Например, она может представлять собой окислы, быть обогащена атомами других элементов (так называемые, примазки), иметь иной фазовый состав и др. Во всех этих случаях проводимость имеет другое, по сравнению с веществом частиц, значение. Отсюда следует, что для указанного случая можно применить барьерную модель. На рис. 4, область I и III относятся соответственно к частицам 1 и 2, значения потенциала для которых различны. Пусть $E_I < E_{III}$. Очевидно, что знак неравенства роли не играет. Область II – потенциальный барьер,

соответствующий межзонной границе. Ось x перпендикулярна границе раздела и как видно из рис. 4, $w(x)$ имеет вид

$$W(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, (I); \\ U, & 0 \leq x < a, (II); \\ V, & 1 \leq x, (III). \end{cases} \quad (19)$$

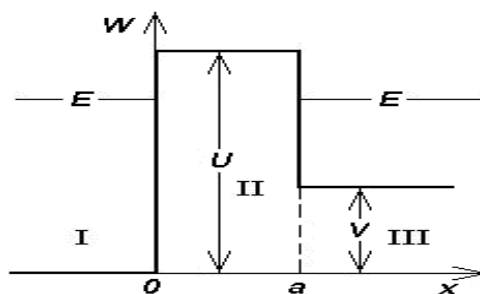


Рис. 4. Потенциальный барьер на границе между частицами

Рассмотрим движение частицы слева направо из области I в область III. Волновые уравнения для трех рассматриваемых областей имеет вид

$$\psi_j'' + k_j^2 \psi_j = 0, \quad j=1,2,3, \quad (20)$$

где :

$$\begin{aligned} k_1^2 &= \frac{2mE}{\hbar^2}, \\ k_2^2 &= \frac{2m(E-U)}{\hbar^2}, \\ k_3^2 &= \frac{2m(E-V)}{\hbar^2}. \end{aligned}$$

Решение ищем в виде

$$\psi_j = A_j \exp(ik_j x) + B_j \exp(-ik_j x), \quad j=1,2,3, \quad (21)$$

причем, не нарушая общности можно считать $A_1=1$, $B_3=0$, так как в области III нет волны, движущейся справа налево. Из условия непрерывности волновой функции и ее производной $\psi' = \frac{d\psi}{dx}$ следует

$$\begin{cases} \psi_1(0) = \psi_2(0), \\ \psi_1'(0) = \psi_2'(0), \\ \psi_2(a) = \psi_3(a), \\ \psi_2'(a) = \psi_3'(a). \end{cases} \quad (22)$$

Условия (22) с учетом (20) и (21) приводят к системе уравнений

$$\begin{cases} 1 + B_1 = A_2 + B_2 \\ k_1(1 - B_1) = k_2(A_2 - B_2) \\ A_2 \exp(ik_2 a) + B_2 \exp(-ik_2 a) = A_3 \exp(ik_3 a) \\ k_2 A_2 \exp(ik_2 a) - k_2 B_2 \exp(-ik_2 a) = k_3 A_3 \exp(ik_3 a). \end{cases} \quad (23)$$

Коэффициент прозрачности (коэффициент пропускания) барьера U для рассматриваемого случая равен

$$D_{\rightarrow} = |A_3|^2. \quad (24)$$

A_3 как один из корней системы (23), описывается формулой

$$A_3 = \frac{4k_1 k_2 \exp(-ik_3 a)}{(k_1 + k_2)(k_2 + k_3) \exp(-ik_2 a) + (k_1 - k_2)(k_2 - k_3) \exp(ik_2 a)} \quad (25)$$

При движении частицы из области III через барьер в область I при той же функции $w(x)$ (см. (19)) также справедливы уравнения (98-101). Причем в этом случае $A_1 = 0$, $B_3 = 1$. В этом случае получим систему уравнений

$$\begin{cases} B_1 = A_2 + B_2, \\ k_1 B_1 = k_2(B_2 - A_2), \\ A_2 \exp(ik_2 a) + B_2 \exp(-ik_2 a) = A_3 \exp(ik_3 a) + \exp(-ik_3 a), \\ k_2 A_2 \exp(ik_2 a) - k_2 B_2 \exp(-ik_2 a) = k_3 A_3 \exp(ik_3 a) - k_3 \exp(-ik_3 a), \end{cases} \quad (26)$$

из которой следует, что

$$B_1 = \frac{4k_2 k_3}{(k_1 + k_2)(k_2 + k_3) \exp(-ik_2 a) + (k_1 - k_2)(k_2 - k_3) \exp(ik_2 a)} \quad (27)$$

Коэффициент прозрачности барьера при движении частицы из области III влево равен

$$D_{\leftarrow} = |B_1|^2, \quad (28)$$

следовательно, отношение коэффициентов прозрачности

$$P = \frac{D_{\rightarrow}}{D_{\leftarrow}} = \frac{k_1^2}{k_2^3} = \frac{E}{E - V}. \quad (29)$$

Таким образом, различные степени дефектности по обе стороны от ювенильной поверхности и приводят к появлению на ней электрически заряженных участков с размерами много больших атомов. Следовательно, две контактирующие друг с другом частицы вследствие наличия между

ними потенциального барьера приобретают различные по знаку электрические заряды. Поверхность поликристаллического металла в целом осталась электронейтральной. Но ее адгезионные и триботехнические свойства зависят не только от кристаллохимических свойств поверхностных слоев, но и наличия поверхностной зарядовой мозаики. В пределах отдельного зерна металлического поликристалла электрические заряды расходятся друг от друга на максимальные расстояния, то есть распределяются на периферии 24×3 ден. Именно такая электростатическая структура («электрический рельеф» по Г.И. Дистлеру) проявлялся при декорировании металлических поверхностей частицами антрахинона [6].

Проведенные модельные исследования позволяют развить теоретические представления о механизме контактных процессов в металлополимерных системах различной структуры и функционального назначения.

Литература

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир 1979.– т. 1.– 399 с., т. 2.– 422с.
2. Лиопо В.А., Сенько А.Н., Шелег А.У. Поверхностные процессы на свежих сколах монокристаллов полупроводников системы $TlIn(SSe)$. // Збір. наук.праць, ПолтДПУ. Полтава: 2005. – в 8(47). – сер. ф.-м.н. – С. 47 – 52.
3. В.А. Лиопо, В.А.Струк, С.В.Авдейчик. Модельные представления о механизме действия допинговых наноразмерных модификаторов в полимерной матрице // Горная механика 2006. – №1. – С.19-30.
4. Дистлер Г.И. Исследование структуры и свойств твердых тел методами декорирования // Изв. АН СССР, Сер. физ. - 1972. - Т. 36. - С.- 1846.

5. Ю.М. Герасимов, Г.И. Дистлер. Ориентированная кристаллизация золота на поверхности кристалла NaCl через аморфную углеродную пленку // Кристаллография. - 1969. - Т.
6. Г.И. Дистлер, В.П. Власов, Ю.М. Герасимов и др. Декорирование поверхности твердых тел / М.: Наука, 1976. 112 с.
7. Шерманов Л.А., Мецик М.С., Голубь Л.М. Образование локальных активных центров на поверхности металлов под действием деформации и термообработки. / Исследования в области ФТТ. (ред. Проф. М.С. Мецик). Иркутск: Изд. ИГУ. 1974. – в. 2. – С. 85-90.
8. Гольдаде В.А., Струк В.А., Песецкий С.С. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. – М.: Химия, 1993. – 240 с.

До механізму формування зарядова мозаїка на поверхні металевих полікристалів. В.А. Ліпо, В.А. Струк, А.Н. Сенько, Е.В. Овчинников, С.В. Авдейчик

У статті наведено дослідження бар'єрної моделі механізму виникнення мозаїки на поверхні металевих полікристалічних підкладок.

Before mehanizmu formuvannya charge mozaïka on poverhni metalevih polikristaliv. V.A. Liopo, V.A. Struck, A.H. Senko, E.V. Ovchinnikov, S.V. Avdeychik

The article presents the research of the barrier model mosaic occurrence mechanism on the surface of the polycrystalline metal substrates.

УДК 535.24;535.6

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

*Б.Х. Каримов, доктор физико-математических наук, профессор
Ферганский Государственный университет, Узбекистан*

В статье приведены исследования фотовольтаического эффекта в кубических кристаллах, существующего в кристаллах без центра симметрии и описываемого тензора третьего ранга. Изложены результаты исследований объемного фотовольтаического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах ZnS.

Ключевые слова: фотовольтаический эффект, кубические кристаллы, тензор

1. Фотовольтаический эффект в кубических кристаллах ZnS.

Аномальный фотовольтаический эффект, наблюдавшийся ранее для ряда сегнетоэлектриков, являются частным случаем более общего фотовольтаического эффекта, существующего в кристаллах без центра симметрии и описываемого тензора третьего ранга α_{ijk} .

$$J_i = \alpha_{ijk} E_j E_k^* \quad (1)$$

Компоненты тензора α_{ijk} отличны от нуля для 20 асимметричных групп симметрии. При наличии центра симметрии $\alpha_{ijk} = 0$.

Фотовольтаический эффект был впервые экспериментально обнаружен в сегнетоэлектриках [1,2], а также в пьезоэлектриках [3,4]. Последовательная теория этого эффекта была развита в [5], где было показано, что он связан с приобретением неравновесным электроном избыточного импульса в зоне проводимости, величина и направление которого определяются асимметрией возбуждения, рекомбинации и рассеяния носителя в нецентросимметричном кристалле.

Согласна (1) при равномерном освещении линейно поляризованным светом однородного кристалла без центра симметрии в нем возникает фотовольтаический ток J_i . Знак и величина фотовольтаического тока J_i зависит от ориентации вектора поляризации света с компонентами E_j и E_k^* . Если электроды кристалла разомкнуть, то фотовольтаический ток J_i генерирует фотонапряжения $V_i = \frac{J_i}{\sigma_T + \sigma_\phi} l$ где σ_T и σ_ϕ соответственно темновая и фотопроводимость, l расстояние между электродами. Генерируемое фотонапряжение порядка 10^3 - 10^5 В, превышающее, таким образом, величину ширины запрещенной зоны E_g на два – четыре порядка. В соответствии с (1) и симметрией точечной группы можно написать выражения для фотовольтаического тока J_i . Сравнение экспериментальной угловой зависимости с $J_i(\beta)$ позволяет определить фотовольтаический тензор α_{ijk} или фотовольтаический коэффициент $K_{ijk} = \frac{1}{\alpha^*} \alpha_{ijk}$ (α^* - коэффициент поглощения света).

Изложены результаты исследований объемного фотовольтаического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах ZnS, принадлежащих к кубической точечной группе $\bar{4}3m$. В отличие от сегнетоэлектриков [4] фотовольтаический эффект в ZnS можно наблюдать только в поляризованном свете. В соответствии (1) и симметрией точечной группы при освещении кристалла в z направлении оси 4 порядка (оси z) выражение для фотовольтаического тока в направлении z имеет вид:

$$J_z = \frac{1}{2} \alpha^* K_{14} I \sin 2\beta, \quad (2)$$

где β - угол между плоскостью поляризации света и осью x .

Измерение фотовольтаического тока J и генерируемого им поля $\tilde{E} = \frac{J}{\sigma_\phi}$ (σ_ϕ - фотопроводимость) производилось путем снятия стационарных вольт-амперных характеристик [4].

Ориентационная зависимость $J_z = J_z(\beta)$, снятая при $T = 143$ К при освещении светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм ($\alpha^* = 5$ см⁻¹) и интенсивностью $I = 2,3 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻². Сравнение экспериментальной угловой зависимости с (2) даёт $K_{14} = 5 \cdot 10^{-9}$ А·см(Вт)⁻¹.

Таким образом, значение модуля K_{14} в исследованных кристаллах ZnS существенно выше, чем у известных сегнето- и пьезоэлектриков [4].

В интервале $T = 140-300$ К модуль K_{14} обнаруживает слабую температурную зависимость. Благодаря этому, а также из-за сильной температурной зависимости фотопроводимости σ_ϕ , генерируемое в направлении оси z поле $\tilde{E} = \frac{J}{\sigma_\phi}$ изменялось в пределах от 1 В·см⁻¹ ($T = 300$ К) до 40 В·см⁻¹ ($T = 143$ К) и не зависело от интенсивности света I .

В кристаллах ZnS, выращенных гидротермальным методом фотовольтаический эффект имеет в основном примесный характер.

2. АФ эффект в кубическом пьезоэлектрике $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

В настоящей работе измерения проводились для выращенного гидротермальным методом титаната висмута. Кубический кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ принадлежит к точечной группе 23.

Как было показано, в отличие от сегнетоэлектриков фотовольтаический эффект в пьезоэлектрических кристаллах можно наблюдать только в поляризованном свете.

Образец имел форму пластинки, параллельной грани (100). Поверхность пластинки освещались линейно поляризованным светом на длине волны $\lambda = 500$ нм, которая соответствует краю полосы собственной фотопроводимости $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

Все измерения проводились для постоянной интенсивности света $I = 2,3 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻² при температуре 133 К. Фотовольтаический ток измерялся в направлении [100], для чего на поверхность пластинки наносились электроды из серебряной пасты, снабженные отверстием. Таким образом, свет распространился в направлении [100], а плоскость

поляризация света, перпендикулярная грани [100], вращалась вокруг оси [100]. Для точечной группы 23, к которой принадлежит $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ выражение фотовольтаического тока J_x имеет вид (2). Экспериментальная ориентационная зависимость фотовольтаического тока согласуется (2), для которого была измерена единственная отличная от нуля компонента фотовольтаического тензора $K_{14}=2 \cdot 10^{-10} \text{ A} \cdot \text{см}(\text{BT})^{-1}$ (при температуре 133K).

Максимум фотовольтаического тока J_x отвечало поле $\tilde{E}=10 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$. Аналогичные результаты были получены для полупрозрачных никелевых электродов, напылявшихся на грани [100].

Литература

1. V.M, Pridkin et. al., Eroelectrics, v. 8, 433 (1974).
2. A.M. Glass, von.der Linde, T.j. Negrap, Appl. Phys. Lett., v. 25, 233 (1974).
3. В.И. Белиничер, В.К. Малиновский, Б.И. Стурман, ЖЭТФ, т. 73, 692 (1977).
4. В.М. Фридкин. В.Н. Попов, УФН, т. 126, 657 (1978).
5. В.И. Белиничер, Б.И. Стурман, УФН, т. 130, 415 (1980).

Фотовольтаїчний ефект в кубічних кристалах. Б.Х. Каримов

У статті наведено дослідження фотовольтаїчного ефекту в кубічних кристалах, існуючого в кристалах без центру симетрії і описуваного тензора третього рангу. Викладено результати досліджень об'ємного фотовольтаїчного ефекту в п'єзоелектричних кристалах ZnS.

Fotovoltajchny efekt in kubichnih kristalah. B.H. Karimov

The article presents iisledovaniya photovoltaic effect in cubic crystals, existing in crystals without a center of symmetry and described tensor of the third rank. The results of studies bulk photovoltaic effect in piezoelectric crystals ZnS.

УДК 664.71

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
ЯЧМІННОГО БОРОШНА**

Є.В. Железняков, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

М.М. Палій, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто технологічний процес виробництва ячмінного борошна та обладнання для його здійснення. Застосування технологічних прийомів, таких як гідротермічна обробка (ГТО), що включає інтенсивне зволоження, відволожування і сушку зерна ячменю, підвищує ефективність його луцення і вихід ядра, підвищує харчову цінність крупи та борошна.

Ключові слова: ячмінне борошно, гідротермічна обробка, луцення, висівки, лущильно-шліфувальні машини

Ячмінь є цінною сільськогосподарською культурою, широко поширеною в нашій країні завдяки скоростиглості і невимогливості до кліматичних і ґрунтових умов. Продукти переробки зерна ячменю, в тому числі і борошно, відрізняються низьким вмістом жиру, мають збалансований за амінокислотним складом білковий комплекс, багаті розчинні і нерозчинними харчовими волокнами, макро- і мікроелементами і вітамінами.

Аналіз існуючих технологій переробки ячменю показує, що використовувані способи отримання крупи і борошна з даного злаку відрізняються недостатньою ефективністю і не дозволяють в повній мірі використовувати ресурси зерна.

Застосування технологічних прийомів, таких як гідротермічна обробка (ГТО), що включає інтенсивне зволоження, відволоження і сушку зерна ячменю, підвищує ефективність його лушення і вихід ядра, підвищує харчову цінність крупи, борошна і продуктів на її основі за рахунок збереження периферійних шарів ядра, багатих біологічно активними речовинами.

У зв'язку з цим розробка нової технології ячмінного борошна і вивчення перспектив її використання у виробництві хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів з метою розширення їх асортименту є важливою і актуальною.

Проведені дослідження дозволили оцінити можливість промислового виробництва ячмінного борошна з використанням інтенсивного зволоження зерна в процесі гідротермічної обробки. На рис.1 представлена принципова схема, яка відображає основні результати дисертаційної роботи щодо технологічних режимів підготовки зерна до лушення і подальшого подрібнення.

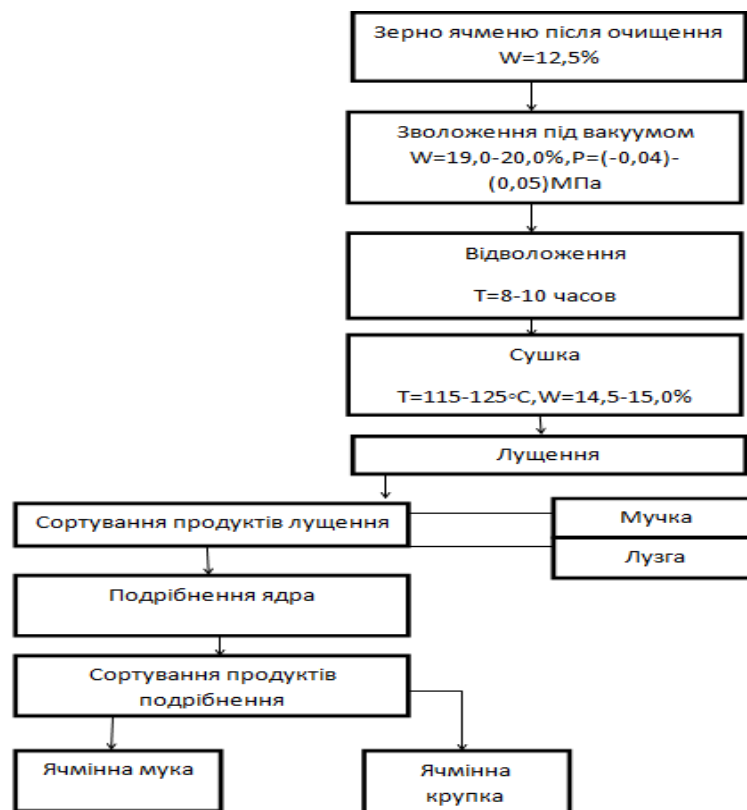


Рис. 1. Принципова технологічна схема виробництва ячмінного борошна

Встановлено, що оптимальними умовами процесу ГТО з зволоженням зерна ячменю під вакуумом є: зволоження зерна до вологості (19,0-20,0)% при ступені розрідження повітря в установці (-0,04)-(-0,05) МПа, відволожування протягом 8-10 годин, сушка зерна до вологості (14,5-15,0)% при температурі агента сушіння 115-125 °С. При даних режимах спостерігається найбільший вихід луцення ядра в поєднанні з високою ефективністю луцення зерна.

На підставі цієї важливої схеми була розроблена і запропонована до впровадження апаратно-технологічна схема переробки ячменю в борошно і крупу з використанням інтенсивного зволоження зерна стосовно до універсального цеху з використанням типового обладнання вітчизняного та імпортного виробництва (рис. 2).

Зерно ячменю, яке надходить зі зберігання, за допомогою шнекового транс-імпортера 1.1 направляється в оперативний бункер 2.1, звідки за допомогою шнека 2.2 і норії 3.1, пройшовши очищення від металоманітних домішок, направляється в ваги 5 для кількісного обліку. Далі ячмінь послідовно проходить очищення в сепараторі 6 (видаляються великі, дрібні і легкі домішки), каменевідбірнику 7 (видаляються мінеральні домішки) і трієрі-куколевідбірник 8 (видаляються короткі домішки).

Очищене зерно направляється на гідротермічну обробку, де проходить операції зволоження в розробленому пристрої 9 до вологості (19-20)% при ступені розрідження повітря (-0,04) - (-0,05) МПа, відволожування в бункері 2.2 протягом 8- 10 годин і сушку при температурі повітря в сушарці 10, рівній 115-125 ° С, до вологості (14,5-15,0)%. Підготовлене зерно ячменю проходить операції луцення і шліфування в оббивальній машині 11 і луцильно-шліфувальних машинах 13.1 і 13.2. Перед кожною установкою ударно-стираючого і подрібнюючої дії

встановлені магнітні сепаратори 4.2-4.7. Побічні продукти - лузга і мучка виділяються в аспіраторах 12.1 і 12.3.

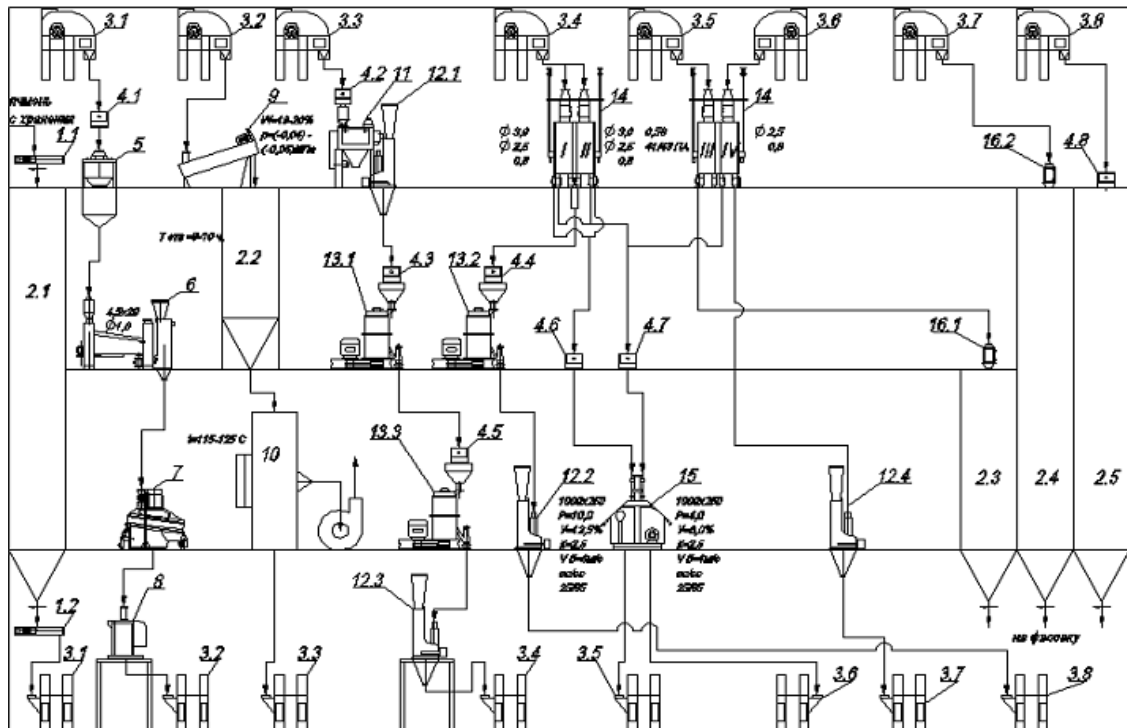


Рис. 2. Апаратурно-технологічна схема виробництва ячмінного борошна і крупи:

1.1-1.2 шнекові транспортери; 2.1-2.5-оперативні бункера; 3.1-3.8-норії;
4.1-4.8, 16.1-16.2-магнітні сепаратори; 5-ваги; 6-повітряно-решітний сепаратор; 7-каменевідбірник; 8-трієр-куколевідбірник; 9-пристрій для інтенсивного зволоження зерна; 10-зернова сушарка; 11-оббивальна машина; 12.1-12.4-аспіратори; 13.1-13.4-луцильно-шліфувальні машини; 14- розсів; 15 - вальцовий верстат

Отримане лущене ядро направляють на сортування в першу і другу секції розсіву 14, де сходом з верхніх сит $\varnothing 3,0$ отримують велику фракцію для вироблення перлової крупи, сходом з сит $\varnothing 2,5$ - середню фракцію для вироблення борошна, сход з нижніх сит № 08 направляють на отримання ячної крупи, проходом через дане сито виділяють мучку. Велика фракція, пройшовши шліфування та полірування в машині 13.3, видалення мучки в аспіратор 12.2 і контрольну очищення від металоманітних домішок в

сепараторі 4.8 надходить в бункер для перлової крупи 2.5. Середня фракція надходить в першу секцію вальцювого верстата 15. Продукти подрібнення направляються на сортування в третю секцію розсівання 14, де сходом з верхніх сит № 056 виділяють висівки, сходом з нижніх сит 41/43 - крупку, а проходом - ячмінну муку, яка, пройшовши очищення від металомагнітних домішок, надходить в бункер 2.3. Дрібна фракція ядра послідовно проходить операції дроблення в другій секції вальцювого верстата 15, сортування в четвертій секції розсіву 14, де схід з верхніх сит $\varnothing 2,5$ повертають на дроблення, проходом через нижнє сито № 08 виділяють мучку, схід з даного сита направляють на очищення від легких домішок в аспіратор 12.4, очистку від металомагнітних домішок в сепараторі 16.2 і направляють в бункер для ячної крупи. Далі готова продукція надходить на вибій, де фасується в поліпропіленові мішки, картонні коробки і паперові мішки.

Література

1. Лопатинский С. Н. Крупы повышенной питательной ценности / С. Н. Лопатинский. – М: Колос, 1978. – с.19.
2. Мельников Е. М. Исследование гидротермической обработки зерна / Е. М. Мельников, М. Е. Гинзбург, М. С. Шабakov, В. Н. Старовойтов. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1987. – с.192.
3. Мельников Е. М. Обогащение промежуточных продуктов на крупозаводах / Е. М. Мельников. – М.: Колос. 1974. – с.162.
4. Тодаренко Н. С. Применение ячменной муки в производстве мучных кондитерских изделий / Н. С. Тодаренко, Е. А. Щербакова, Л. Н. Евдохова / Сборник научных работ студентов Республики Беларусь "НИРС 2011". - Минск, 2012. - С. 268-269.

Анализ технологического процесса производства ячменной муки. Е.А. Горбенко, Е.В. Железняков, М.М. Палий

В статье рассмотрены технологический процесс производства ячменной муки и оборудования для его осуществления. Применение технологических приемов, таких как гидротермическая обработка (ГТО), включающая интенсивное увлажнение, отволаживание и сушку зерна ячменя, повышает эффективность его шелушение и выход ядра, повышает пищевую ценность крупы и муки.

Analysis of the technological process barley flour production. E.A. Gorbenko, E.V. Zheleznyakov, M.M. Paliy

In the article considered the production process of barley flour and equipment for its implementation. Application processing methods such as hydrothermal processing, which includes intense hydration, hydratizing and drying barley, increases the efficiency of its shelling and out of the nucleus and increases the nutritional value of cereals and flour.

УДК 631.171

**ВИПРОБУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН У
ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ**

Д.Д. Марченко, кандидат технічних наук, доцент

О.С. Стасів, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

В.В. Кобиляцький, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

Миколаївський національний аграрний університет

Пропонується конструкція пристрою для випробування робочих органів сільськогосподарських машин для проведення лабораторно-польових робіт, яка дозволяє зменшити витрати в порівнянні з трунтовим каналом і забезпечує прямолінійність і точність витримки глибини обробки, що значно скорочує витрати енергії.

Ключові слова: випробування, робочі органи, трактор, пристрій

Випробуванням сільськогосподарських машин займаються відповідні науково-дослідні заклади, які вивчають експлуатаційні та економічні питання.

Основними завданнями випробувань є:

а) оцінка працездатності і продуктивності тракторних агрегатів і сільськогосподарських машин в даних ґрунтово-кліматичних і рельєфних умовах;

б) дослідження можливостей більш ефективного використання існуючих сільськогосподарських машин (поліпшення регулювань, розробка режимів роботи, обкатки, агрегування та ін.);

в) розробка вимог до перспективних тракторних агрегатів і сільськогосподарських машин, що працюють в різних ґрунтово-кліматичних зонах;

г) вирішення спеціальних питань, які пов'язані з розробкою методики технічного нормування тракторних робіт, визначення строків служби деталей, виявлення і аналіз величин втрат в різних вузлах тракторів та сільськогосподарських машин, а також причин, які викликають несправності у вузлах та агрегатах;

д) визначення величини зовнішніх сил, що діють на трактор або його окремі вузли, споживаної потужності і міцності конструкції;

є) виявлення динамічних, економічних і експлуатаційних якостей тракторів та сільськогосподарських машин;

ж) обкатка нового тракторного агрегату або сільськогосподарської машини після ремонту та технічного обслуговування.

Трактори, тракторні агрегати і сільськогосподарські машини випробовують в лабораторних, лабораторно-польових і господарських умовах [1].

Лабораторні випробування здійснюються за допомогою спеціального обладнання на ґрунтовому каналі з різними за типом властивостями ґрунтами. Ці випробування дають можливість за короткий час одержати більш точні результати, ніж при польових випробуваннях в природних ґрунтових умовах.

Польові випробування часто проводяться з метою остаточної перевірки роботи і надійності трактора або агрегату в різних природно-економічних зонах на різних ґрунтах та при неоднакових погодних умовах.

Господарські випробування тракторних агрегатів являють собою заключний етап, що враховує не тільки природно-економічні і ґрунтові умови, але й вплив кваліфікації обслуговуючого персоналу на якість роботи тракторів, організацію робіт та ін.

В залежності від цілей і завдань випробувань тракторів та сільськогосподарських машин, а також виду випробувань застосовуються відповідні прилади і апаратура.

Конструкція пристрою, що пропонується, призначена для лабораторно-польових випробувань сільськогосподарської техніки, а також може бути використана на підприємствах і в господарствах, де виготовляються дослідницькі зразки робочих органів сільськогосподарської техніки.

На теперішній час відомі пристрої і установки, за допомогою яких можна провести випробування знов створюємих конструкцій робочих органів різноманітних сільськогосподарських машин, які взагалі виконують операції по підготовці ґрунту, посіву, та насадження різноманітних сільськогосподарських культур.

Одним з найбільш розповсюджених пристроїв є ґрунтовий канал, до складу якого входить вузькоколійна залізнична дорога на ґрунтовому полотні, на якому розташований візок з електричним приладом. До нього кріпляться випробувальні зразки робочих органів сільськогосподарських машин [1], застосування якого недоцільне через невисоку точність

вимірювання, низький ступінь використання, є стаціонарним засобом, займає велику площу і неможливість міняти тип ґрунту.

Також, в якості пристроїв для випробування робочих органів є ґрунтова полоса [2], на якій з обох сторін на залізничній дорозі встановлені барабани з приводною станцією. До тросу, який намотується на барабани, кріпиться опірний візочок з пристроєм для випробування, до якого кріпляться робочі органи, які випробовуються [3].

Однак, в пристрої при випробуванні робочих органів виникають поперечні і продольні зусилля, що унеможливають дотримання курсової стійкості і здійснення зворотного робочого руху.

Тому, основна задача полягала у створенні пристрою для випробування робочих органів сільськогосподарських машин на різних типах ґрунтів, робочий орган сільськогосподарської машини закріплюється до поворотної плити, яка закріплена на кінці ферми знизу, що кріпиться до рами трактора і має можливість повертатися на 180 градусів, що забезпечить достатню точність проведення випробувань робочих органів в одному і другому напрямку руху, підвищить курсову стійкість, глибину обробки і відхилення від заданої глибини, зміна більшого діапазону швидкостей для проведення випробувань, можливість випробовувати на різних типах ґрунтів.

На рис. 1 приведено схему випробування робочих органів сільськогосподарських машин за допомогою трактора.

На рис. 2 приведено конструкція пристрою для випробування робочих органів сільськогосподарських машин.

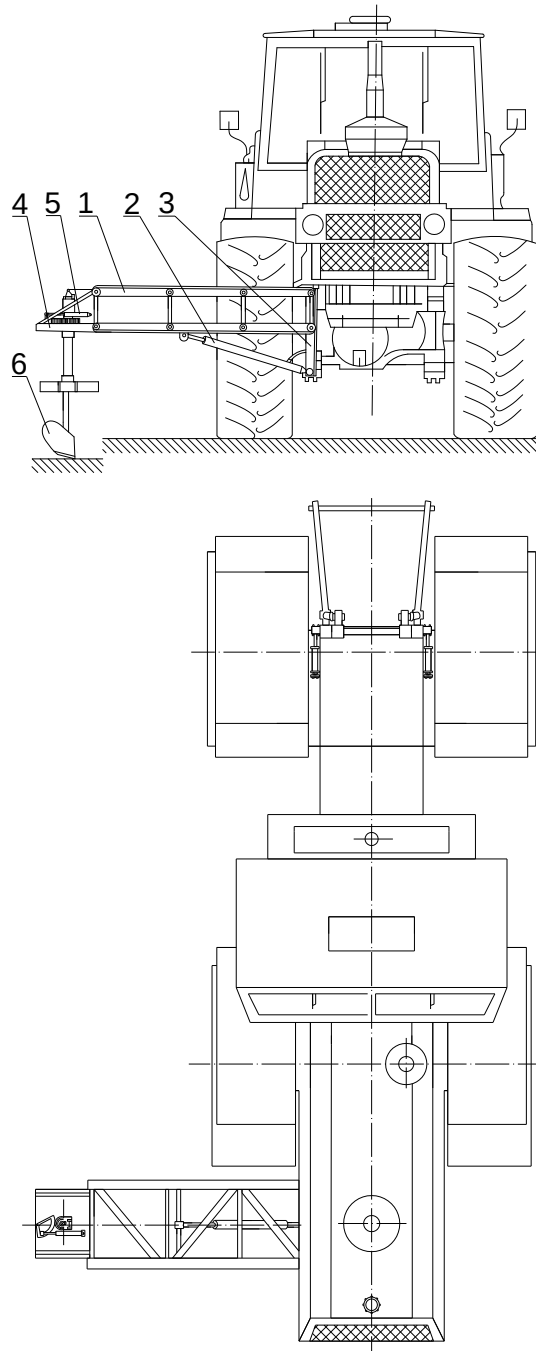


Рис. 1. Схема кріплення пристрою на тракторі при випробуванні робочих органів сільськогосподарських машин

Пристрій складається із ферми 1 кінець якої може займати будь-яке положення по висоті за допомогою гідроциліндру 2, що закріплений на передній частині рами 3 трактора і керується із кабіни трактора. На кінці ферми 1 знизу прикріплюється поворотна плита 4 з циліндричною парою 5, до якої прикріплений, випробуваний робочий орган 6

сільськогосподарської машини. Поворотна плита 4 за допомогою гідроциліндра 2 і циліндричної пари 5 може обертатися навколо вертикальної осі на 180 градусів, що дає можливість здійснення повороту робочого органу 6 для роботи при русі трактора вперед і назад.

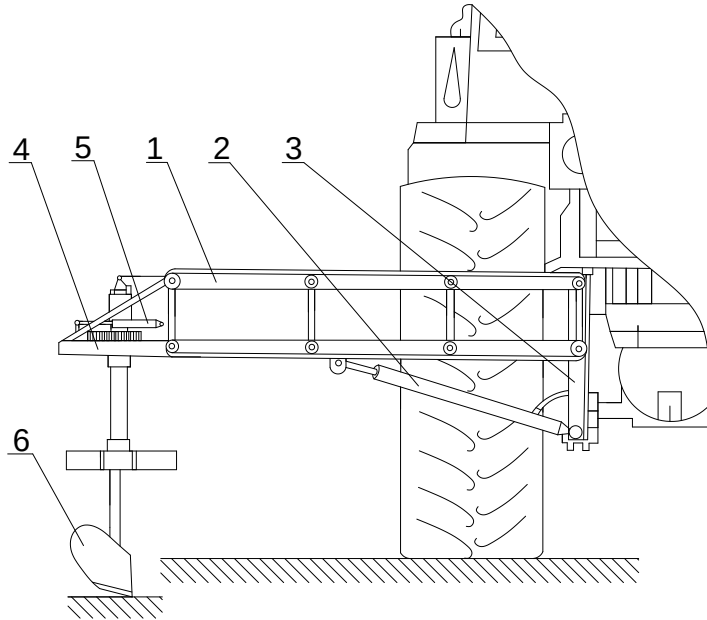


Рис. 2. Конструкція пристрою для випробувань робочих органів сільськогосподарських машин

Пристрій працює таким чином. Трактор з начепленим на рамі 3 пристроєм з фермою 1 рухається вперед по рівній полосі до кінця ділянки. Потім, за допомогою гідроциліндра 2 і поворотної плити 4, з циліндричною парою 5, робочий орган 6 сільськогосподарської машини повертається на 180 градусів і здійснюється робочий хід при русі трактора заднім ходом.

При цьому витримується задана глибина обробки завдяки можливості встановлення її величини за рахунок гідроциліндра 2, а рух трактора по рівній основі забезпечує задану глибину обробки і виключає наявність спеціальних опорних коліс для витримки глибини обробки.

Таким чином, застосування пропонованого пристрою дозволить проводити випробовування робочих органів в одному і зворотному напрямку руху, підвищить курсову стійкість, глибину обробки і

відхилення від заданої глибини, зміна більшого діапазону швидкостей для проведення випробувань, можливість випробовувати на різних типах ґрунтів і випробування робочих органів роторного типу з гідравлічним приводом, що підвищить точність проведення випробувань.

Література

1. Кальбус Г.Л. Прилади для лабораторних і польових випробувань тракторів та сільськогосподарських машин / Г.Л. Кальбус, В.І. Кірса – К.: Держ. вид. сільськогосподарської літ. Української РСР, – 1963. С. 5 – 49
2. Завалишин Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев – М.: Колос, 1982. – С. 44 – 67
3. А. с. 1605950 СССР, МКИ³ А 01 В 67/00. Устройство для определения тягового сопротивления навесных сельскохозяйственных машин / А.М. Салдаев (СССР). - № 4646185/30-15; заявл. 26.12.88; опубл. 15.11.1990, Бюл. № 42.
4. Патент України на корисну модель UA 63594 МПК A01B 71/00 (2011.01) Пристрій для випробування робочих органів сільськогосподарських машин / М.С. Гріпачевський, Д.Д. Марченко. - Опубліковано 10.10.2011, Бюл. №19.

Испытание рабочих органов сельскохозяйственных машин в производственных условиях. Д.Д. Марченко, А.С. Стасив, В.В. Кобыляцкий

Предлагается конструкция устройства для испытания рабочих органов сельскохозяйственных машин для проведения лабораторно-полевых работ, которая позволяет уменьшить расходы в сравнении с грунтовым каналом и обеспечивает прямолинейность и точность выдержки глубины обработки, которая значительно сокращает расходы энергии.

Testing of the working bodies of agricultural machinery in a production environment. D.D. Marchenko, A.S. Stasiv, V.V. Kobylyatsky

The design of the device for testing the working bodies of agricultural machines for carrying out laboratory and field work is proposed, which reduces the costs compared to the ground channel and ensures the straightness and accuracy of the treatment depth, which significantly reduces energy costs.

УДК 621.7:621.8+539.4

**ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ
ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО
РЕЖИМУ В ТРАНСМІСІЇ ТРАКТОРА**

В.І. Гавриш, доктор економічних наук, професор

В.А. Грубань, кандидат технічних наук, доцент

О.О. Нагорний, здобувач вищої освіти групи М2/3маг наук

В.А. Захаров, здобувач вищої освіти групи М2/3маг наук

Л.О. Ксенік, здобувач вищої освіти групи М2/3маг наук

Миколаївський національний аграрний університет

У статті розглядаються методи вирішення проблеми досягнення і підтримки оптимального теплового режиму в моторно-трансмисійних установках за рахунок вторинного використання теплоти, що виділяється від згоряння палива в двигуні.

Ключові слова: відпрацьовані гази, ексергія, трансмісія, оптимальний тепловий режим, теплообмінник

Аналіз процесів механізації агропромислового комплексу (АПК) показує, що значна частина роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) здійснюється в умовах низьких температур навколишнього середовища

(НС) і супроводжується значним відхиленням теплового режиму моторно-трансмійної установки (МТУ) від оптимального. Зниження теплового режиму МТУ супроводжується збільшенням втрат потужності в трансмісії трактора, збільшенням витрат палива, підвищенням зносу поверхонь тертя і, як наслідок, зниженням продуктивності праці.

Одним із способів вирішення зазначеної проблеми може бути досягнення і підтримка оптимального теплового режиму в МТУ за рахунок вторинного використання теплоти, що виділяється від згоряння палива в двигуні.

Найбільш перспективним, на наш погляд, є використання теплоти відпрацьованих газів (ВГ) двигуна, тому що з ними в атмосферу розсіюється до 40% теплоти. Термін ВГ відноситься до газів, які викидаються в атмосферу (після теплообмінника).

Аналіз існуючих способів і схем вторинного використання теплоти відпрацьованих газів (ВГ) показує, що ця теплота найчастіше використовується в когенераційних установках для нагрівання води з метою теплопостачання. Надалі термін ВГ стосується газів, які знаходяться перед теплообмінником.

Є три напрямки робіт з підвищення ефективності функціонування МТУ: застосування мастил з пологою в'язко-температурною характеристикою (ВТХ), у тому числі від вторинних ресурсів, удосконалення конструкції вузлів і агрегатів трансмісій машин.

Результатом несприятливого впливу атмосферних явищ і кліматичних факторів є погіршення властивостей конструкційних і експлуатаційних матеріалів, що в кінцевому рахунку, призводить до зниження надійності машин і ефективності їх використання в сільському господарстві.

На властивості матеріалів і надійність машин, експлуатованих на відкритому повітрі, впливає весь комплекс кліматичних факторів і атмосферних явищ. Інтенсивність їх впливу залежить від клімату району,

де експлуатуються машини, і від часу, у відповідність до змін погоди цього району. До кліматичних чинників, який впливає на роботу вузлів і агрегатів МТУ тракторів, в першу чергу можна віднести температуру повітря, його вологість і вітер, а точніше його швидкість.

Разом з тим, найбільш несприятливим фактором, що робить негативний вплив на роботу вузлів і агрегатів МТУ є, як уже зазначалося вище, низька температура ОС.

Низька температура повітря значно ускладнює експлуатацію тракторів внаслідок зміни фізичних властивостей масел, палива, охолоджувальної рідини (ОР), електроліту, погіршення роботи силової передачі і ходової системи.

При низькій температурі ОС в'язкість моторного масла збільшується і зростає момент опору обертання колінчастого вала при пуску двигуна. Наприклад, при зниженні температури ОС від плюс 20 ° С до мінус 20 ° С крутний момент, необхідний для провертання колінчастого вала, зростає більш ніж в чотири рази.

Встановлено, що при температурі охолоджуючої рідини 55°C знос поршневих кілець двигуна збільшується в чотири рази, при 40°C - в дванадцять разів, а при 30° С - в двадцять разів у порівнянні зі ступенем зносу, що відбувається при нормальному тепловому режимі двигуна (85 - 90 ° С).

Розігрів мастила в трансмісії тракторів відбувається практично тільки за рахунок енергії, що витрачається на подолання сил тертя в кінематичних парах, вузлах і агрегатах трансмісії. Виникаюча при цьому теплота може бути визначена за формулою:

$$Q_{\text{п}} = (1 - n_{\text{тр}}) \cdot N_{\text{е}} \cdot t,$$

де $n_{\text{тр}}$ – механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії;

$N_{\text{е}}$ – потужність на вході в трансмісію, кВт;

t – час роботи трактора, ч.

Частина теплоти буде відводитися в ОС (Q_{OT}) в результаті тепло обміну.

Кількість відведеної теплоти можна визначити за формулою:

$$Q_{OT} = L_k \cdot F \cdot (T_{TP} - T_{OC}) t_{OCT},$$

де L_k – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря, Дж/м²·К·год;

F – площа поверхні теплообміну, м²;

T_{TP} – температура трансмісії, К;

T_{OC} – температура навколишнього середовища, К;

t_{OCT} – час охолодження трансмісії, год.

За даними ряду джерел, оптимальний тепловий режим в трансмісії тракторів, особливо в КП, лежить в діапазоні температур від 60°C до 80°C.

Разом з тим бачимо, що трансмісії як вітчизняних, так і зарубіжних тракторів не містять систем, що підтримують оптимальний тепловий режим. Таким чином, тепловий режим в агрегатах трансмісії безпосередньо залежить від температури ОС, швидкості вітру, часу роботи і ступеня завантаження двигуна трактора. Наприклад, встановлено, що оптимальний температурний режим в КП трактора ХТЗ-243К.20 був досягнутий при найвищій розрахунковій температурі ОС (плюс 35 °С) і максимальному ступені завантаження двигуна. При цьому час стабілізації температури мастила в КП склало близько трьох годин.

В експлуатаційних умовах при оранці трактором ХТЗ-243К.20 і температурі ОС плюс 25°C температура мастила в КП не перевищує 45-50°C.

Найбільш негативний вплив на працездатність силової передачі низькі температури ОС надають в період запуску машин після тривалої зупинки. Основний ж вплив низьких температур ОС на працездатність і ефективність трансмісії проявляється через зниження її ККД внаслідок збільшення в'язкості масла.

Відповідно до загальноприйнятого становищем втрати потужності трансмісії, зокрема в КП, діляться на навантажувальні і втрати холостого

ходу. Навантажувальні втрати пропорційні діючому навантаженню, числу пар шестерень, які знаходяться в зачепленні, типу підшипників і їх кількості. У свою чергу, втрати холостого ходу є функцією швидкісного режиму і в'язкості масла. Втрати холостого ходу мають гідравлічний характер, тому розділити їх на швидкісні та в'язкісні можна тільки умовно.

Втрати потужності і ККД залежать від переданого навантаження, швидкісного і теплового режимів роботи, тому сумарні втрати потужності можна оцінити двома ККД: η_{xx} - ККД, враховує втрати на холостому ходу, и η_n - ККД, враховуючим втрати при передачі навантаження.

У загальному вигляді сумарні втрати в КП ΔN_{kp} можна виразити такою формулою:

$$\Delta N_{kp} = \Delta N_{xx} + \Delta N_n,$$

де ΔN_{xx} – втрати холостого ходу, кВт;

ΔN_n – втрати від навантаження, кВт.

При дослідженні втрат потужності в КП трактора ХТЗ-243К.20 встановлено, що мінімальні значення втрат потужності (близько 4 кВт) на всіх швидкісних режимах зафіксовані при температурі мастила від 60 до 80 ° С, чому відповідає в'язкість 150-300 м² / с (рис. 1, а). Зменшення температури нижче 60 °С, через інтенсивне підвищення його в'язкості, призводить до суттєвого приросту втрат холостого ходу. При температурі 10 ° С холості втрати досягають 14 кВт, тобто перевищують мінімальні в 3-3,5 рази

ККД КП при режимі роботи з коефіцієнтом завантаження двигуна рівним 0,85 досягає максимальної величини (0,93) при температурі мастила, відповідно мінімальним холостим витратам (рис. 1, б).

Характер зміни ККД КП від температури масла визначається в основному величиною ККД, що враховує холості втрати. При температурі масла 10 ° С ККД КП знижується до 0,875. Зниження швидкісного режиму ведучого вала з 1900 до 1700 хв-1 за рахунок зменшення холостих втрат призводить до деякого повели- ню (до 0,5%) ККД КП

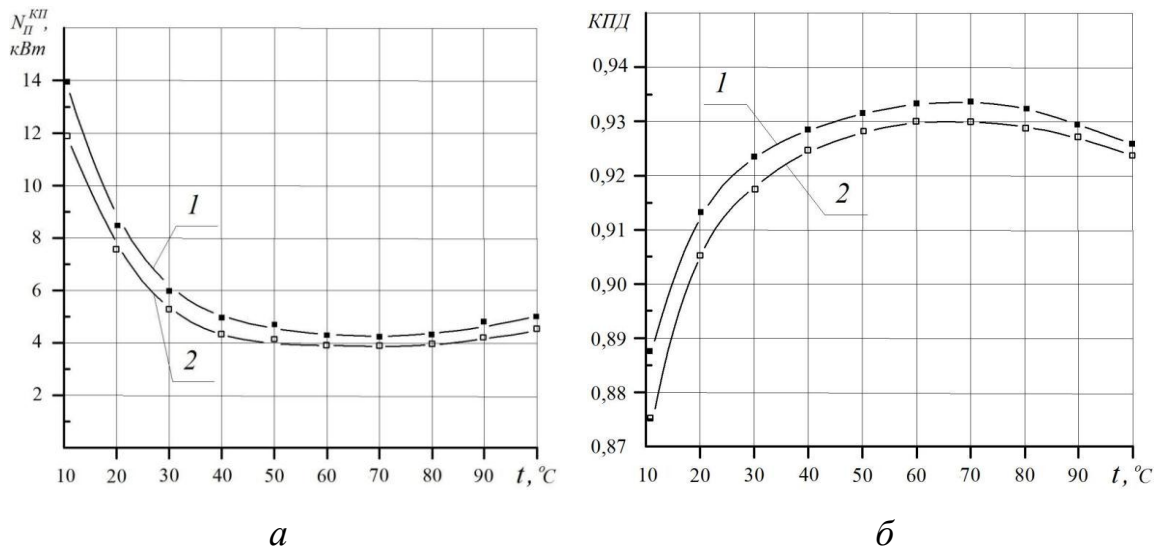


Рис. 1. Залежність втрат холостого ходу від температури мастила на 3 передачі трактора ХТЗ-243К.20 (а) и залежність ККД КП трактора ХТЗ-243К.20 від температури мастила на номінальних швидкісних режимах (б):
1 - частота обертання ведучого вала 1900 хв^{-1} ; 2 - частота обертання ведучого вала 1750 хв^{-1}

При дослідженні теплового режиму на агрегатах трансмісії трактора ХТЗ-243К.20 встановлено, що температура ОС визначає початкову температуру масла в КП і тривалість прогріву до її стабілізації. Зниження температури ОС (початкової температури масла) до мінус 30°C супроводжується відповідним збільшенням втрат потужності. Так, на другій передачі в початковий період роботи втрати становлять близько 34-35 кВт, а при підвищенні початкової температури масла до плюс 30°C втрати зменшуються на 14-15 кВт і складають близько 20 кВт.

Запропоновано варіант використання теплоти системи змащення двигуна (рис. 2). Суть пропозиції полягає в тому, що в систему змащення КП додається теплообмінний апарат. Трансмісійне мастило, циркулюючи через теплообмінник, додатково підігрівається, одночасно з цим виключається можливість попадання в систему змащення двигуна продуктів зносу з КП. Така конструкція дозволяє використовувати різні марки моторних і трансмісійних мастил.

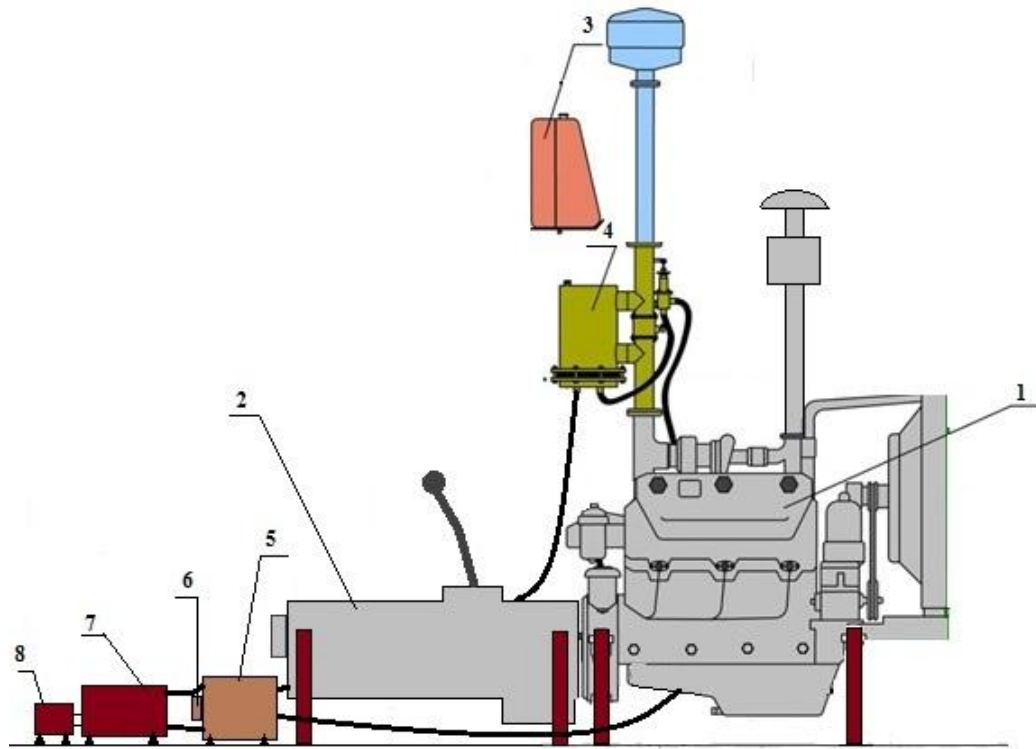


Рис. 2. Схема використання теплоти системи мащення двигуна:

- 1 – двигун; 2 – коробка передач; 3 – розширювальний бак;
 4 – рекуперативний теплообмінник; 5 – теплообмінник
 теплоспоживаючого контуру КП; 6 – циркуляційний насос; 7 – коробка
 передач; 8 – насосний вузол гідравлічної системи КП

Після модернізації трактора формула для визначення експлуатаційних витрат набуде вигляду:

$$U_2 = 3^m t_{см} + 3_{ТО}^c + 3_{ТО}^c + A_1 + A_2,$$

де U_2 - річна вартість витрат при експлуатації модернізованого трактора, грн.;

$3^m t_{см}$ - річні витрати на придбання палива і мастильних матеріалів для модернізованого трактора, грн.;

$3_{ТО}^c$ - річні витрати на планове ТО системи автоматичної підтримки оптимальної температури масла в КП, грн.;

A_2 - річні амортизаційні відрахування на відшкодування вартості модернізації трактора, грн.

Річний економічний ефект від впровадження системи автоматичної підтримки температури масла в КП трактора ХТЗ-243К.20 визначимо за формулою:

$$\mathcal{E} = U_1 - U_2,$$

де $\mathcal{E}$ - річний економічний ефект, грн.

Термін окупності капітальних вкладень в модернізацію трактора визначимо за формулою:

$$T_{OK} = K_M / \mathcal{E},$$

де T_{OK} - термін окупності капітальних вкладень, років.

Аналіз роботи системи автоматичної підтримки оптимальної температури масла в експериментальній гідравлічній системі КП трактора ХТЗ-243К.20 свідчить, що в залежності від температури ОС і навантажувального режиму ККД дослідної системи досягає 0,35, а час досягнення маслом температури плюс 60 °С становить від 14 до 24 хвилин, що дозволяє знизити втрати потужності в КП до мінімальних значень (близько 4-5кВт).

Таким чином, розрахунки дозволяють зробити висновок, що позитивний економічний ефект від впровадження системи автоматичної підтримки оптимальної температури масла в КП трактора ХТЗ-243К.20 становить близько 429233 грн. в рік, а термін окупності капітальних вкладень складе 0,87 року або близько 10,6 місяців.

Использование отработанных газов для создания оптимального теплового режима в трансмиссии трактора. В.И. Гавриш, В.А. Грубань, А.А. Нагорный, В.А. Захаров, Л.А. Ксеник

В статье рассматриваются методы решения проблемы достижения и поддержания оптимального теплового режима в моторно-трансмиссионных установках за счет вторичного использования теплоты, выделяющейся от сгорания топлива в двигателе.

The use of exhaust gases to create the optimal thermal conditions in the transmission of the tractor. V.I. Gavrish, V.A. Gruban, A.A. Nagorniy, V.A. Zakharov, L.A. Ksenik

The article discusses methods for solving the problem of achieving and maintaining an optimal thermal regime in engine-transmission installations due to the secondary use of heat released from the combustion of fuel in an engine.

УДК 621.7:621.8+539.4

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ
ВОДНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ЦИКЛОВОГО ПОВІТРЯ
ДИЗЕЛЯ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

В.І. Гавриш, доктор економічних наук, професор

В.А. Грубань, кандидат технічних наук, доцент

П.Г. Скорбілін, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

С.Н. Кобзяк, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

С.В. Ковальов, здобувач вищої освіти групи М2/Змаг наук

Миколаївський національний аграрний університет

У статті розглядаються методи вирішення проблеми підтримки і стабілізації оптимального тепломовго режиму в дизельних мобільних енергетичних засобів за рахунок охолодження циклового повітря до оптимальнох температури.

Ключові слова: дизель, двигун, повітряний потік, теплообмін, відпрацьовані гази

Україна – признана у світі аграрна країна з неоціненними аграрними ресурсами - чорноземами, що займають 60.4 млн. га, або майже чверть світових запасів високоякісного ґрунту, а орні землі - до 56% території

країни. Одними з найважливіших енергетичних засобів у сільському господарстві є зернозбиральні комбайни. Покращення техніко-економічних показників двигунів – важливе завдання як для виробників комбайнів, так і для аграрних товаровиробників.

Поршневі двигуни внутрішнього згорання є найбільш численними серед теплових джерел енергії, що використовується людством, їх широке поширення обумовлене тим, що в результаті багаторічного розвитку вони досягли достатньо високих енергетичних і економічних показників, мають достатню надійність і добре освоєні в технологічному відношенні. Однак їх коефіцієнт корисної дії обмежено параметрами реалізованого в них термодинамічного циклу й ефективний ККД двигунів із примусовим запаленням палива не перевищує 33 %, а дизелів - 46 % . Негативно впливає на ефективність двигунів висока температура повітря. З усієї кількості енергії палива, що вводиться в двигун для згорання, частина трансформується в корисну механічну роботу, значна частина витрачається з відпрацьованими газами.

Зазначене тепло відпрацьованих газів можна використовувати для покращення техніко-економічних показників техніки. В мобільних енергетичних засобах та зернозбиральних комбайнах зокрема можна використовувати енергію відпрацьованих газів для нагрівання води. Вона в свою чергу може охолоджувати циклове повітря двигуна.

Воду, що виходить з двигунів, можна використовувати як гріючу середу в різних теплообмінних апаратах (підігрівачах води, палива і масла). Проте ефективність такого використання, незважаючи на відсутність технічних труднощів, невелика, головним чином через низьку температури підігріву, яка може бути досягнута тільки за рахунок тепла охолоджуючої ДВС води. Завдання вирішується установкою додаткового парового підігрівача. Тепло випускних газів можна застосовувати в утилізаційних котлах. Це дає можливість підвищити загальний к. П. Д. Установки на 8-10% і отримати пару низького тиску (0,3-0,7 МПа) для

побутових потреб. Корисне використання тепла випускних газів становить при 80% навантаженні 1400 дж / (кВт*год) у чотиритактних і близько 820 дж / (кВт*год) у двотактних двигунів.

При збільшенні температури оточуючого середовища до 40 С що характерно для півдня України максимальна потужність комбайна зменшується приблизно на 7% а питома витрата палива збільшується приблизно на 7%. Це негативно позначається на собівартості збирання соняшнику тому актуальним є розробка системи охолодження циклового повітря. Для досягнення цієї мети можна використовувати теплоту відпрацьованих газів. Їх теплова потужність для сучасних комбайнів дорівнює до 40% від енергії палива, що було використано. Наприклад для комбайнів з пропускною здатністю 10 кг/с (наприклад. ДОН 1500Б, КЗС 9 «Славутич») це значення може сягати 70-80 кВт теплової потужності.

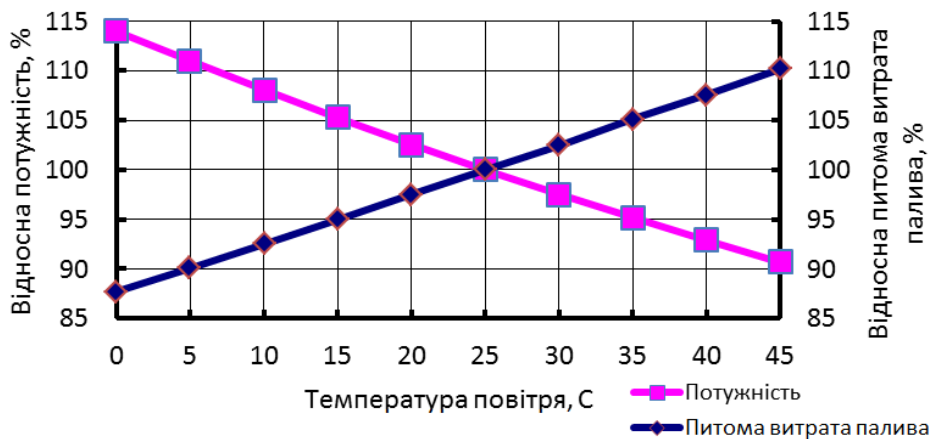


Рис. 1. Залежність відносної потужності та витрати палива від температури оточуючого повітря

Важливим показником, який впливає на продуктивність та витрату палива двигуна внутрішнього згорання сільськогосподарської техніки, являється вологість повітря. Зроблені розрахунки, вказують на те, що найбільш вигідна вологість повітря знаходиться в межах 80%. На рис. 5 зображено графік вологості повітря в Миколаївському районі, Миколаївської області.

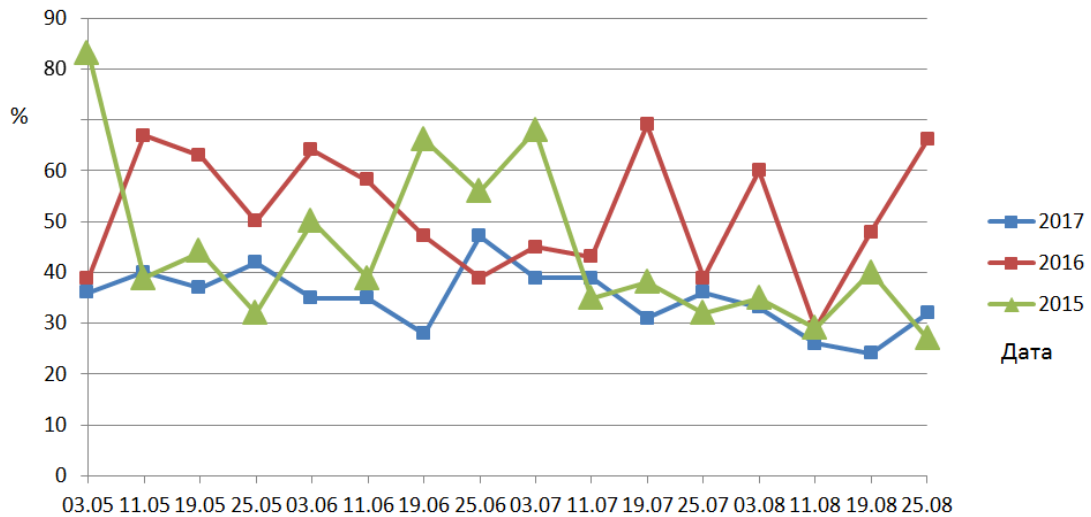


Рис. 2. Графік вологості повітря в Миколаївському районі
з 2015 до 2017 року

Як ми бачимо на вище представлених графіках – середня вологість повітря, у літній період, знаходиться в межах від 25 до 60%. Тобто, існуюча вологість повітря негативно впливає на потужність двигуна, та збільшує питомі витрати палива.

Найпростіше охолодити повітря можна за допомогою подачі води в повітряний потік. Випаровування води відбувається за рахунок відбору теплоти від повітря безпосередньо в потоці і не вимагає складного додаткового обладнання.

При цьому, для нагріву використовуваної рідини будемо використовувати тепло відпрацьованих газів

Коли суміш повітря та води проходить через компресор та стискується, вода випаровується та ефективно охолоджує повітря в перших ступенях компресора, в яких стискується не гомогенна суміш повітря та парів води, а гетерогенна суміш волого повітря та крапель води. Однак, наявність води викликає небезпеку ерозійного зношення лопаток перших ступенів компресора. В зв'язку з цим, існує необхідність розробки адекватної математичної моделі процесів тепломасообміну для визначення довжини ділянки випаровування та діаметру крапель на вході в компресор.

Більшість відомих сьогодні методів розрахунку процесів тепло та масообміну в нестационарних умовах базуються головним чином на результатах випаровування окремих краплі. Розрахунки виконуються при наступних припущеннях:

1. Форма краплі приймається сферичною;
2. Шар пари безпосередньо біля поверхні краплі знаходиться в стані насичення;
3. Процеси внутрішніх теплопередачі здійснюються лише шляхом теплопровідності, а поширення пари – лише молекулярним шляхом;
4. Полідисперсний потік замінюється монодисперсним з урахуванням середньорозрахункового діаметру краплі;
5. Краплі не деформуються, не зливаються та не зазнають повторного подрібнення;
6. Після досягнення термодинамічної рівноваги температура крапель залишається постійною і дорівнює температурі мокрого термометра.

Для умов ГТУ краплі води впорскуються в рухомий потік повітря і, в залежності від значення числа Рейнольдса, процес можна розділити на дві основні ділянки (рис. 3).

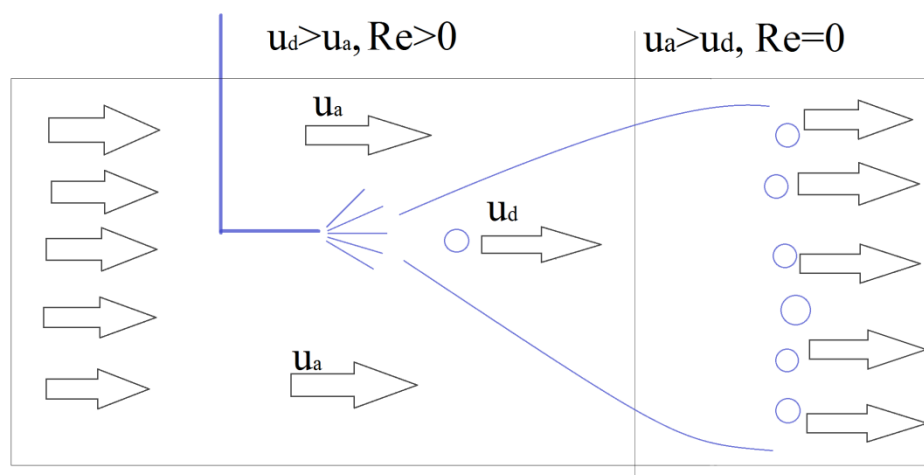


Рис. 3. Схематичне зображення процесу впорскування крапель води в потік повітря

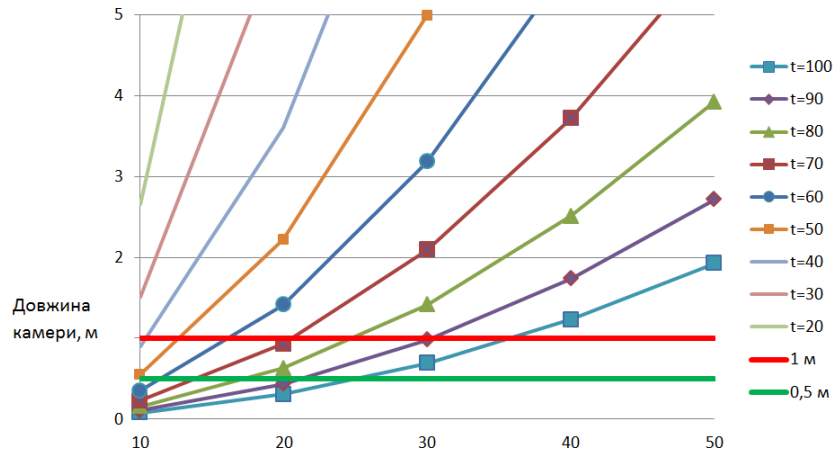


Рис. 4. Графік відношення довжини робочої камери до величини температури і краплі води (у мкм)

По результатам вимірювань, маємо такі висновки. При використанні води 70-82 градусів Цельсія, і використовуванні форсунок, які створюють краплі величиною в 15 мкм, довжина робочої камери становитиме до 1 м.

Схема розташування установки для водного охолодження циклового повітря наведена на рис. 5.

При збільшенні температури оточуючого середовища до 40 С що характерно для півдня України максимальна потужність комбайна зменшується приблизно на 7% а питома витрата палива збільшується приблизно на 7%. Це негативно позначається на собівартості збирання соняшнику тому актуальним є розробка системи охолодження циклового повітря.

Така суттєва залежність потужності від температури робіть вигідним в багатьох випадках встановлювати різноматнітні системи охолодження повітря на вході ГТД та між ступенями компресора. Найпростіше охолодити повітря можна за допомогою подачі води в повітряний потік. Випаровування води відбувається за рахунок відбору теплоти від повітря безпосередньо в потоці і не вимагає складного додаткового обладнання.

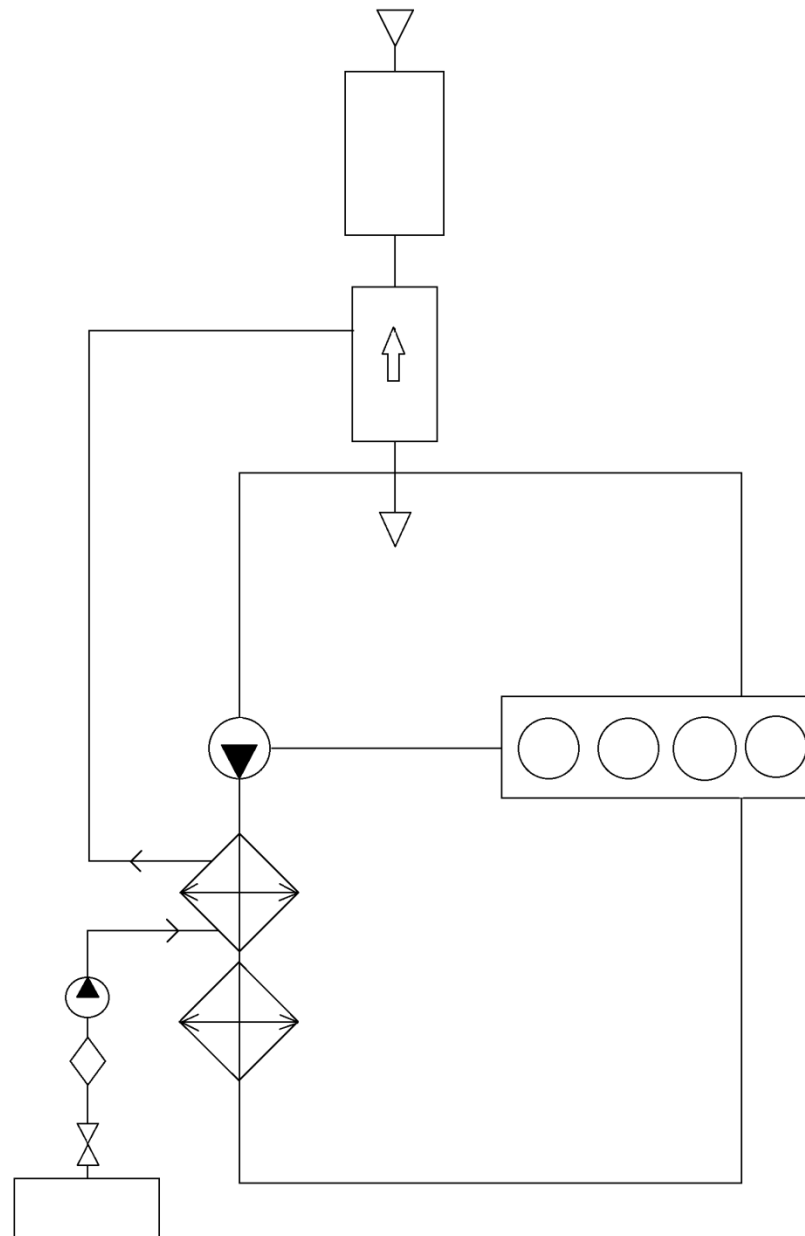


Рис. 5. Принципова схема установки для водного охолодження циклового повітря

При використанні установки для водного охолодження циклового повітря також збільшується вологість поступаючого в камеру сгорання повітря, що, при існуючих показниках в Миколаївській області, збільшує потужність двигуна.

Використання машини для водного охолодження повітря дизеля дозволяє підвищити ККД на величину до 3,5 %, залежно від навантаження.

Термін окупності даної роботи складає менше ніж рік, тим самим дана установка є економічно вигідна.

Література

1. Matt Cramer, Performance Fuel Injection Systems HP1557: How to Design, Build, Modify, and Tune EFI and ECU Systems.Covers Components, Sensors, Fuel and Ignition ... Tuning the Stock ECU, Piggyback and Stan, 2010, 121с.
2. Блиер Б.М., Вургафт А.В. Теоретические основы проектирования абсорбционных термотрансформаторов. –М.: Пищевая промышленность, 1971. -199 с.
3. Блиер Б.М., Галимова Л.В. Анализ термодинамического совершенства выпарных элементов абсорбционных холодильных машин // Труды Всесоюзной научно-технической конференции по термодинамике. Сборник докладов «Новые технические схемы и циклы.» - Л., 1969.
4. John Dixon, Modern Diesel Technology: Heating, Ventilation, Air Conditioning & Refrigeration, 2nd edition 2013.
5. Paul Dempsey, Troubleshooting and Repairing Diesel Engines, 5th Edition, 2018, 255 с.
6. Chris Mi, M. Abul Masrus. Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives (Automotive Series) 2nd Edition, 2017, 455-476с.
7. Dan Martin, How to Build Solar Hydrogen Generator (How to Kill your Debt with Free Renewable Energy, Fuels & Self-Sustainability Book 9) Kindle Edition, 2011, 14с.
8. Sean Bennett Modern Diesel Technology: Light Duty Diesels 1st Edition, 2011, 254-274с.
9. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Ali Emadi. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, Second Edition (Power Electronics and Applications Series) 2nd Edition, 2009, 343с.

Обоснование использования системы водяного охлаждения циклового воздуха дизеля мобильных энергетических средств. В.И. Гавриш, В.А. Грубань, П.Г. Скорбилин, С.Н. Кобзяк, С.В. Ковалев

В статье рассматриваются методы решения проблемы поддержки и стабилизации оптимального тепломовго режима в дизельных мобильных энергетических средств за счет охлаждения циклового воздуха до оптимальных температуры.

The rationale for the use of water cooling system for cycle air diesel mobile power tools. V.I. Gavrish, V.A. Gruban, P.G. Skorbilin, S.N. Kobzyak, S.V. Kovalev

The article discusses methods for solving the problem of maintaining and stabilizing the optimal heat and gas regime in diesel mobile power facilities by cooling the cycle air to the optimum temperature.

ЗМІСТ

I.P. Atamanyuk, Y.P. Kondratenko. Method of optimal linear extrapolation of vector random sequences with full consideration of correlation connections for each component.....	5
Л.М. Борсолюк, Л.І. Войцехівська, С.Б. Вербицький. Дослідження модельних паштетних мас для розроблення технології функціональних паштетних продуктів.....	13
Е.Ф. Кудина, Г.Г. Печерский, Н.С. Полещук. Получение и свойства гелеобразующих нанокомполитов.....	21
В.А. Артюх, О.В. Азза. Причины появления и устранение волнистости на поверхности тел вращения после обкатывания роликами.....	32
Н.В. Кьен, Н.В. Цыкало. Реализация методов моделирования корпусных деталей в системе SAPS.....	48
О.В. Зубехіна-Хайят, В.В. Телещак. Дослідження і розробка технології обкатування голчастими роликами упорних різьб.....	51
С.И. Корягин, С.В. Буйлов, Е.С. Минкова, С.И. Пелевин. Исследование трещиностойкости клеевых соединений при кратковременном статическом нагружении.....	63
А.И. Гарост. Повышение износостойкости литых деталей методом прямого поверхностного легирования.....	69
В.А. Лойко, В.С. Ивашко. Материал и технология нанесения покрытий на режущий инструмент для лезвийной обработки поверхностей, восстановленных наплавкой или напылением.....	75
Г.О. Иванов, П.М. Полянський, О.М. Дюльгер, В.Ю. Красносьолов. Розрахунок механізмів пересування на рейковому ходу.....	88
В.А. Лиопо, В.А. Струк, А. Н. Сенько, Е. В. Овчинников, С.В. Авдейчик. К механизму формирования зарядовая мозаика на поверхности металлических поликристаллов.....	99
Б.Х. Каримов. Фотовольтаический эффект в кубических кристаллах.....	111
Є.В. Железняков, М.М. Палій, О.А. Горбенко. Аналіз технологічного процесу виробництва ячмінного борошна.....	115
Д.Д. Марченко, О.С. Стасів, В.В. Кобиляцький. Випробування робочих органів сільськогосподарських машин у виробничих умовах.....	120
В.І. Гавриш, В.А. Грубань, О.О. Нагорний, В.А. Захаров, Л.О. Ксеник. Використання відпрацьованих газів для створення оптимального теплового режиму в трансмісії трактора.....	127
В.І. Гавриш, В.А. Грубань, П.Г. Скорбілін, С.Н. Кобзак, С.В. Ковальов. Обґрунтування використання системи водного охолодження циклового повітря дизеля мобільних енергетичних засобів.....	135

Наукове видання

ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ – 2018

Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції
молодих учених, аспірантів і студентів,
26-28 вересня 2018 р.
м. Миколаїв

Технічні редактори: Д.Д. Марченко

Комп'ютерна верстка: Д.Д. Марченко

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 8,42
Тираж 200 прим. Зам. №1.10/2017

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013 р.