

УДК 621.91.01

<sup>1</sup>Клочко А.А., <sup>2</sup>Мироненко Е.В., <sup>2</sup>Гузенко В.С., <sup>2</sup>Гаков С.А., <sup>3</sup>Кравцов А.Н.<sup>1</sup>НТУ ХПИ, г. Харьков, Украина;<sup>2</sup>ДГМА, г. Краматорск, Украина;<sup>3</sup>ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого президента России Б.Н.Ельцина»,  
г. Екатеринбург, Россия

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИХ СОСТОЯНИЯ**

Рассмотрен один из методов решения задачи многокритериальной оптимизации технологического воздействия на обеспечение эксплуатационных свойств (ЭС) поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес в машиностроении. Приведена система комплексных параметров, обоснование их выбора, элементы функционально-стоимостного анализа при обеспечении эксплуатационных свойств поверхности закаленных крупномодульных зубчатых колес и вероятностной оценки методов ее зубообработки.

В настоящее время качество поверхности регламентируется параметрами в соответствии с ГОСТ 2.308-79 и 2789-73. В тоже время, как показывают научные исследования [1], технологическое обеспечение наиболее эффективно осуществлять с помощью комплексных параметров состояния поверхности. Их выбор, обеспечение при изготовлении, раскрывает новые резервы снижения себестоимости и повышения качества зубчатых колес.

Двухступенчатая схема технологического воздействия на обеспечение ЭС (эксплуатационных свойств) основывается на разделении задач технолога и конструктора с регламентацией комплексных параметров на каждой из этих стадий. А затем с последующим решением задачи выбора оптимального значения ЭС.

Предложена структура модели, на базе которой осуществляется выбор метода и режимов обработки поверхности закаленных крупномодульных зубчатых колес при обеспечении нескольких ЭС, с сохранением традиционных подходов к регламентации поверхности.

Она включает в себя следующие этапы:

1. Определение структуры ЭС, которые предъявляются к закаленным крупномодульным зубчатым колесам и установления формальных численных и граничных значений;
2. Выбор комплексных параметров рабочих эвольвентных поверхностей, их теоретическое обоснование, расчет их численных значений на стадии конструкторской или технологической разработки и их регламентация;
3. Назначение возможных методов обеспечения комплексных параметров на стадии выбора технологического метода зубообработки;
4. Функционально-стоимостной анализ (ФСА) методов обработки с позиции совместного обеспечения необходимых значений ЭС;
5. Расчет режимов и выбор оптимальной технологии зубообработки.
6. Прогнозирование гарантии качества характеристик поверхностей и как следствие закаленных крупномодульных зубчатых колес при выборе данного технологического обеспечения;

При конструировании важной задачей является установление ЭС предъявляемых к закаленным крупномодульным зубчатым колесам. В работе [1] отмечено, что нужно установить лимитирующие ЭС, которые определяют надежность и точность зубчатых колес.

Эти и другие вопросы рассматриваются при решении задачи в блоках 1 – 4 (рис. 1), при этом следует обратить внимание на их численные значения и рациональность назначения.

На этапе конструкторской подготовки производства выбор комплексных параметров, характеризующих ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес можно производить, используя табл. 1.

В табл. 1,  $H_p$  – высота сглаживания макроотклонения;  $W_p$  – высота сглаживания профиля волнистости;  $R_p$  – расстояние от линии выступов до средней линии;  $S_m$  – средний шаг неровностей;  $K^l$  – коэффициент упрочнения поверхностного слоя;  $H_{max}$  – максимальная высота макроотклонения;  $t_m$  – относительная опорная площадь неровностей на уровне средней линии;  $\sigma_T$  – предел текучести;  $E$  – модуль Юнга;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $J_{пл}$  – деформационная составляющая;  $\lambda$  – коэффициент, учитывающий влияние поверхностных остаточных напряжений на число циклов нагружения;  $\chi$  – коэффициент;  $P$  – удельное давление на поверхность;  $\gamma$  – безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения  $\sigma_T/\sigma_B$ ;  $\sigma_{-1д}$  – предел выносливости детали;  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости не упрочненного образца;  $C$  – коэффициент жесткости;  $f$  – коэффициент трения;  $M$ ,  $d$  и  $l$  – параметры соединения: крутящий момент, приложенный к сопряжению, диаметр и длина сопряжения соответственно.

На этом этапе комплексный параметр принимается равным значению параметра в период нормального износа и определяется только физико-механическими свойствами и условиями эксплуатации. Данная задача решается в блоке 5 (рис. 1).

Построение области регламентируемых значений ЭС (ОРЭС) можно проводить с использованием прикладной математики [2]. При обеспечении нескольких ЭС нужно построить для каждого из них свою область ОРЭС и пересечением этих областей друг с другом определить целесообразную область регламентируемых значений ЭС (ЦОРЭС). Эта область будет включать все ЭС, достижение которых, поставил конструктор перед технологом.

По сути дела, это выходная информация конструктора, необходимая технологам, как исходные данные для технологического обеспечения ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес (блок 6, рис. 1).

Для решения задачи оптимизации технологического обеспечения ЭС необходимо определить параметры области ОРЭС (ЦОРЕС):

$$S_{Pij} = (X_{iPij \max} - X_{iPij \min}) \cdot (Y_{jPij \max} - Y_{jPij \min}) \quad (1)$$

$$S_{P\Sigma ij} = (X_{iP\Sigma ij \max} - X_{iP\Sigma ij \min}) \cdot (Y_{jP\Sigma ij \max} - Y_{jP\Sigma ij \min}) \quad (2)$$

Где  $X_{iP\Sigma ij \max}$ ,  $X_{iP\Sigma ij \min}$  – минимальные и максимальные значения параметров качества поверхности, являющихся ограничительными функциями области  $P_{\Sigma ij}$  (ОРЭС, ЦОРЭС);

$Y_{jP\Sigma ij \max}$ ,  $Y_{jP\Sigma ij \min}$  – минимальные и максимальные значения комплексных параметров состояния поверхности, отражающих ее ЭС.

Задачей технолога, на первом этапе, является предварительное установление финишного этапа зубообработки поверхностей при помощи графовой модели технологического процесса, с использованием вместо среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$  и качества точности  $IT$ , комплексного параметра и качества точности  $IT$ .

Также, его задачей является установление диапазона регламентации качества поверхностей на окончательном этапе зубообработки и выявление корреляционных связей между этими параметрами. Все эти задачи решаются в блоке 7 (рис. 1).

$$R_a = f(R_z); R_{max} = \varphi(R_z); t_m = \psi(S_m); t_{mw} = \xi(S_{mw}); W_p = \chi(W_z); \quad (3)$$

$$W_z = F(S_{mw}); W_z = \zeta(W_{max}); H_p = r(H_{max}); \sigma = g(h_\sigma) \quad (4)$$

где  $f$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\xi$ ,  $\chi$ ,  $F$ ,  $\zeta$ ,  $r$ ,  $g$  – функции корреляции параметров поверхностного слоя,  $\sigma$  – величина остаточных напряжений на поверхности,  $h_\sigma$  – глубина залегания остаточных напряжений поверхности, остальные параметры – см. табл. 1.

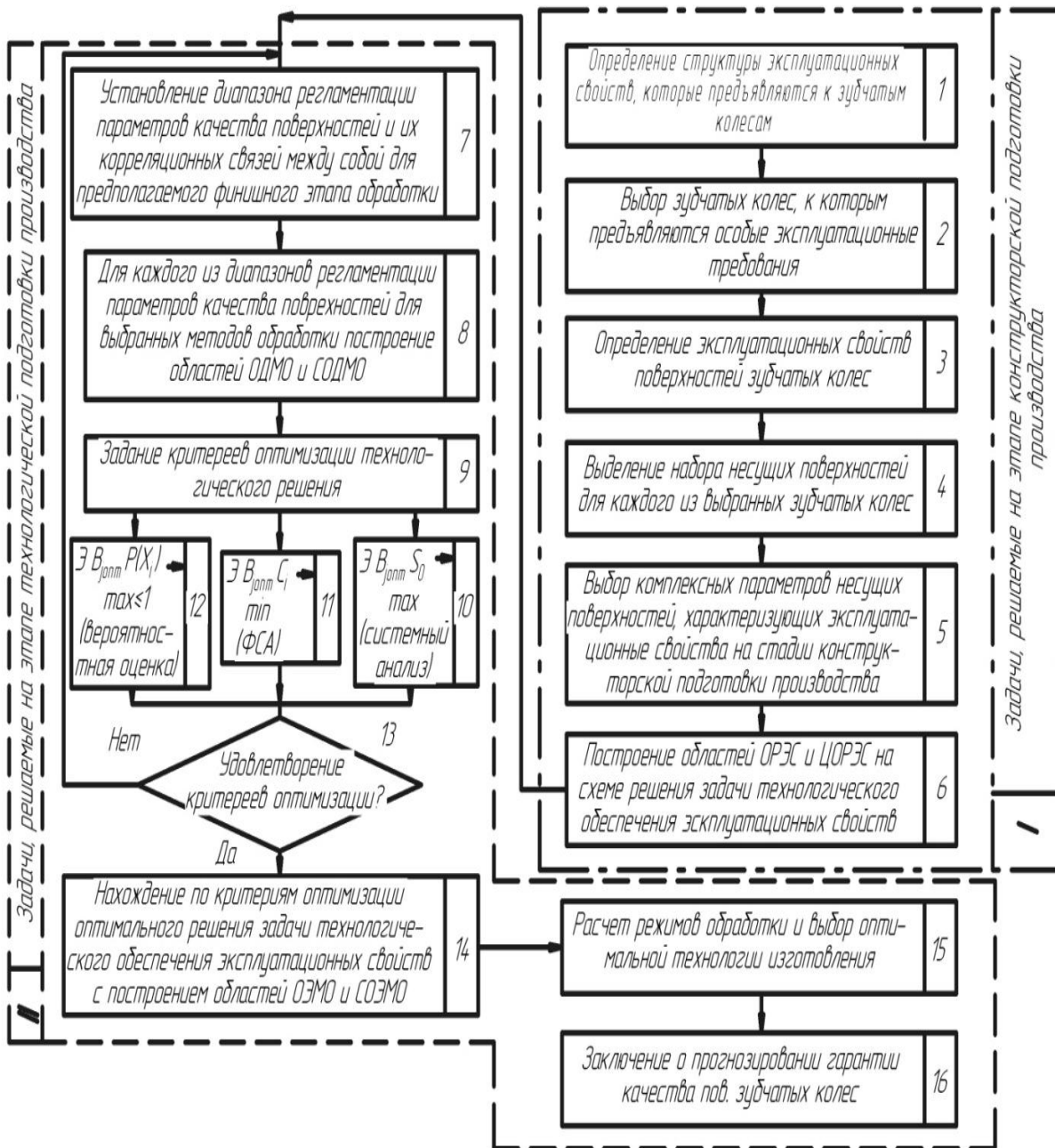


Рисунок 1 – Структура моделирования технологического обеспечения ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес

Далее следует построить схему системной оптимизации (блок 8, рис. 1) технологического обеспечения ЭС (рис. 2) с определением площадей областей ОРЭС, ЦОРЭС, области достижимых значений ЭС метода обработки (ОДМО), совместной области ОДМО (СОДМО), области эффективных значений метода обработки (ОЭМО), совместной области ОЭМО (СОЭМО).

Таблица 1

Комплексные параметры (КП), применяемые при технологическом обеспечении ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес в период нормального износа

Наименование поверхности	КП	Технологическое значение параметров	Расчетно-конструкторское значение параметров
Работающие в условиях выкрашивания активных поверхностей	$C_x$	$\frac{H_p \cdot W_p \cdot (R_p)^4}{(S_m)^6 \cdot (K^l)^{12}}$	$3375 \cdot \left[ \frac{\sigma_T \cdot E}{\pi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^3 \cdot \left( \frac{10 \cdot J_{II} \cdot \lambda}{\chi \cdot P} \right)^6$
Работающие в условиях отслаивания поверхностных слоев зубьев	$\Pi$	$\left[ \frac{R_p \cdot W_p \cdot H_p}{(K^l)^{0,5}} \right]^{\frac{1}{3}}$	$\left[ \frac{\sigma_T \cdot J_{III}^6}{1.7 \cdot P} \right]^{\frac{1}{6}}$
Работающие в условиях поломки зубьев	$H$	$\frac{R_a^2 \cdot K^l}{W_z \cdot H_{\max}}$	$\frac{P}{A \cdot \sigma_T}$
Работающие в условиях абразивного износа зубьев	$И$	$\frac{R_a}{S_m \cdot K^l}$	$\frac{2 \cdot \pi \cdot \sigma_T \cdot (1 - \mu^2)}{E}$
Работающие в условиях пластических деформаций зубьев	$Д$	$\frac{K^l \cdot S_{mw}^{0,4} \cdot R_a}{W_a^{0,2} \cdot S_m \cdot t_m}$	$\frac{\gamma^{0,2}}{13.5} \cdot \left[ \frac{\sigma_{-1d}}{\sigma_{-1}} - 1 \right]$
Работающие в условиях заедание	$C_M$	$R_p + W_p + H_p$	$\Delta - 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{M}{\pi d l f} \cdot \frac{C}{E}$

На рис. 3 показана схема задачи функционально-стоимостного анализа (ФСА) и методов обработки с позиции совместного обеспечения необходимых значений ЭС

$$S_{Dij} = (K_{ij \max} - K_{ij \min}) \cdot \int_{X_{ij \min}}^{X_{ij \max}} f(X_i) dX_i \quad (5)$$

$$S_{D\Sigma ij} = \sum_{\psi=1}^e [K_{BD\Sigma ij} \cdot f_{BD\Sigma ij}(X_i) - K_{HD\Sigma ij} \cdot f_{HD\Sigma ij}(X_i)] \quad (6)$$

$$S_{A\Sigma ij} = \sum_{\psi=1}^t [K_{BA\Sigma ij} \cdot f_{BA\Sigma ij}(X_i) - K_{HA\Sigma ij} \cdot f_{HA\Sigma ij}(X_i)] \quad (7)$$

Где  $\psi$  - количество пересеченных множеств;  $X_i$  - значения  $i$ -го параметра, значения которого регламентируются и откладываются на оси абсцисс (параметр качества поверхности);  $K_{ij}$  - коэффициент, отражающий влияние не рассматриваемых  $j$  комплексных параметров при  $i$  регламентируемом параметре качества поверхности [2].  $f_{HD\Sigma ij}(X_i)$ ,  $f_{BD\Sigma ij}(X_i)$  - приведенная к  $j$  показателю функция нижней и верхней кривой, ограничивающая область  $D_{\Sigma ij}$ ;  $f_{HA\Sigma ij}(X_i)$ ,  $f_{BA\Sigma ij}(X_i)$  - приведенная функция нижней и верхней кривой, ограничивающая область  $A_{\Sigma ij}$  по регламентируемому параметру;  $K_{BD\Sigma ij}$ ,  $K_{HD\Sigma ij}$  - приведенные значения коэффициентов отражающих влияние прочих параметров при верхней и нижней функциях, ограничивающих область  $D_{\Sigma ij}$ ;  $K_{BA\Sigma ij}$ ,  $K_{HA\Sigma ij}$  - приведенные значения коэффициентов, учитывающих влияние прочих параметров при верхней и нижней функциях, ограничивающих область  $A_{\Sigma ij}$ ;  $e$  - количество образованных множеств СОДМО;  $t$  - количество образованных множеств СОЭМО.

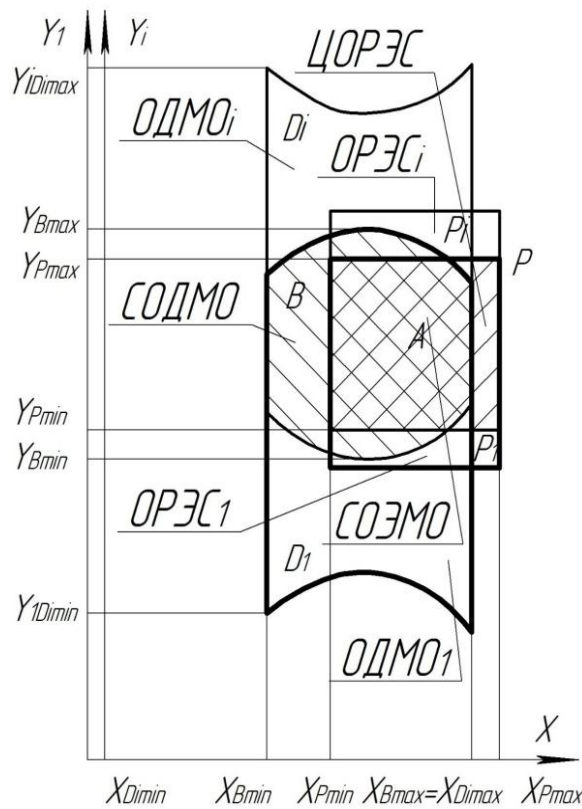


Рисунок 2 – Схема системной оптимизации обеспечения нескольких ЭС

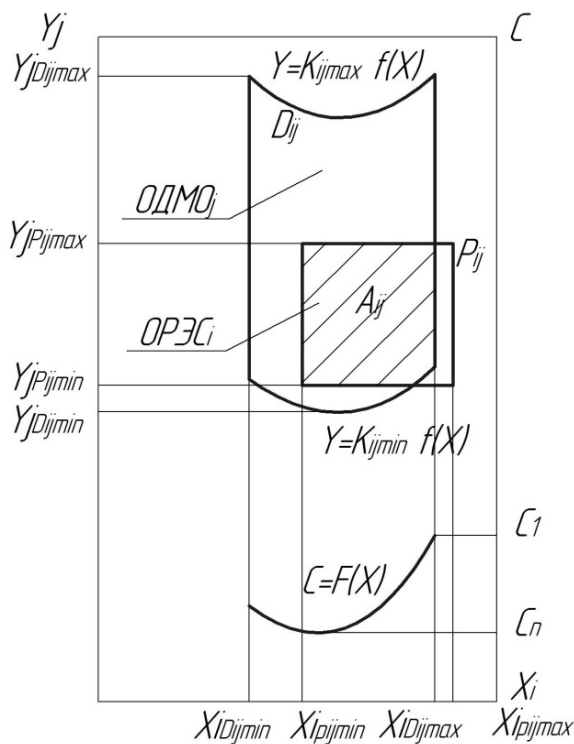


Рисунок 3 – Схема задачи ФСА

Для оптимизации технологического обеспечения ЭС, при регламентации одновременно двух параметров качества поверхности, учитываются корреляционные связи между ними (3) и (4). Эту задачу стоит решать не в двумерной системе координат, а используя пространственное моделирование. В качестве примера выбрано обеспечение ЭС с

использованием комплексного параметра для поверхностей, работающих в условиях линейного износа (табл. 1). Графически область *ОДМО* можно построить при помощи математического пакета *MathCAD* (рис. 4 и рис. 5).

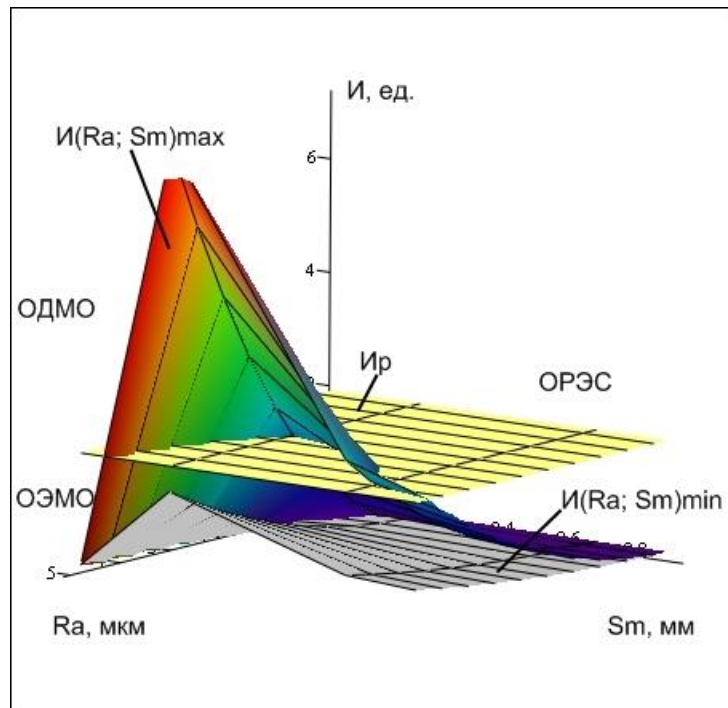


Рисунок 4 – Область *ОДМО* для зубообработки червячной модульной фрезой при регламентации  $S_m$  и  $R_a$

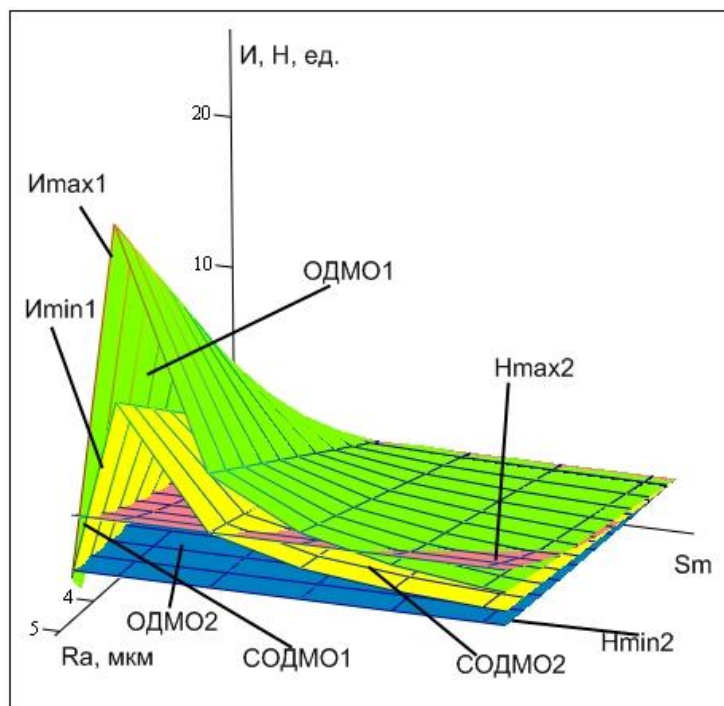


Рисунок 5 – Область *СОДМО* при регламентации параметров  $S_m$  и  $R_a$

Объем области ОДМО:

$$V_{ОДМО} = \iint_{D_1 S_m \cdot K_{\max}^l} \frac{R_a}{dR_a} dS_m - \iint_{D_1 S_m \cdot K_{\min}^l} \frac{R_a}{dR_a} dR_a =$$

$$= \int_{R_a^{\min}}^{R_a^{\max}} \left[ \frac{R_a}{K_{\max}^l} \cdot \left( \ln \frac{K_{f2} \cdot m \sqrt{R_a}}{K_{f1} \cdot n \sqrt{R_a}} \right) \right] dR_a - \int_{R_a^{\min}}^{R_a^{\max}} \left[ \frac{R_a}{K_{\min}^l} \cdot \left( \ln \frac{K_{f2} \cdot m \sqrt{R_a}}{K_{f1} \cdot n \sqrt{R_a}} \right) \right] dR_a \quad (8)$$

где  $V_{ОДМО}$  - объем области ОДМО

$K_{fi}$  – коэффициент корреляции;

$n, m$  – показатели степени;

С помощью критериев оптимизации технологического обеспечения ЭС (рис. 1) нужно определить удовлетворяет ли данный метод обработки на финишном этапе максимальности значения площади области СОЭМО из всех выбранных методов, минимальности затрат (ФСА) и максимального значения вероятности  $P(A)$  для данного метода обработки (блоки 9 – 14, рис. 1). Если нет, то следует вернуться к определению финишного этапа обработки или методу обработки на финишном этапе, а также смене регламентируемого параметра качества поверхности (блок 7, рис. 1).

Область ОРЭС обозначим как  $A$ , ОДМО –  $D$ , ОЭМО –  $B$  (Рис. 3). Используя теорию множеств, авторами сформулированы высказывания, отражающие критерии оптимизации технологического обеспечения нескольких ЭС поверхностей деталей:

1. Для каждого метода зубообработки ( $MЗ$ ) на финишном этапе существует ограниченный набор (множество) областей  $D$ , для каждого из которых существует функция затрат  $C_i$ ;
2. Из множества областей  $B$  найдется такая область ОЭМО (одна), которая будет удовлетворять трем критериям:
  - 2.1. Будет иметь максимальное значение площади пересечения ОДМО и ОРЭС ( $S_D$ );
  - 2.2. Будет иметь минимальное значение функции затрат  $C_i$ ;
  - 2.3. Будет иметь максимальную вероятность обеспечения ЭС для данного МЗ;
3. Эта область ОЭМО, удовлетворяемая критериям 2.1, 2.2 и 2.3, будет оптимальной с точки зрения технологического обеспечения ЭС.

Математически это может быть выражено так:

$$1. \forall MO \exists D \in C; \quad 2.1. \exists_B B_{jonn} S_D \rightarrow \max \quad (9)$$

$$D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_i\}; \quad 2.2. \exists_B B_{jonn} C_i \rightarrow \min \quad (10)$$

$$C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_i\}; \quad 2.3. \exists_B B_{jonn} P_i(A) \rightarrow \max \quad (11)$$

$$C_i = F(x_i); \quad A \cap D = B; \quad B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_j\}; \quad B_{onn} \in B;$$

Нужно помнить, что область СОЭМО является выходной информацией, необходимой для выполнения ФСА и вероятностной оценки (ВО) метода зубообработки. Не только ее площадь, но и положение в системе координат, играет существенное значение в обеспечении ЭС поверхности. Т.к. проецирование экстремумов из этой области на функцию затрат определит величину издержек при данном методе обработки. А положение кривой распределения параметров качества поверхности по отношению к области СОЭМО определит вероятность обеспечения ЭС поверхности выбранным методом зубообработки.

Параметры качества поверхности  $R_p, S_m, R_a$  и др. представляют собой функцию случайной величины, эти рассуждения относятся к области достижимых значений комплексного параметра при рассматриваемом методе зубообработки  $D$ , а область  $P$ , является равновероятной.

Вероятность  $P(A)$  для рассматриваемого метода обработки области *ОЭМО* может быть определена так (при независимости параметров качества поверхности, рис. 6):

$$P(A)_T = \frac{0,63-0,1}{0,8-0,1} - \frac{1}{0,8-0,1} \cdot \int_{0,385}^{0,63} \int_{\frac{0,016}{x}}^{0,416} f(K) dK = \frac{1}{0,7} \cdot \left[ 0,53 - 0,01 \int_{0,385}^{0,63} \left( \frac{x}{0,016} - \frac{1}{0,416} \right) dx \right] = 0,66$$

Двумерное нормальное распределение параметров качества поверхности  $R_a$  и  $W_a$ , для случая независимости (некоррелированности) этих параметров имеет вид [2], приведенной на рис. 7.

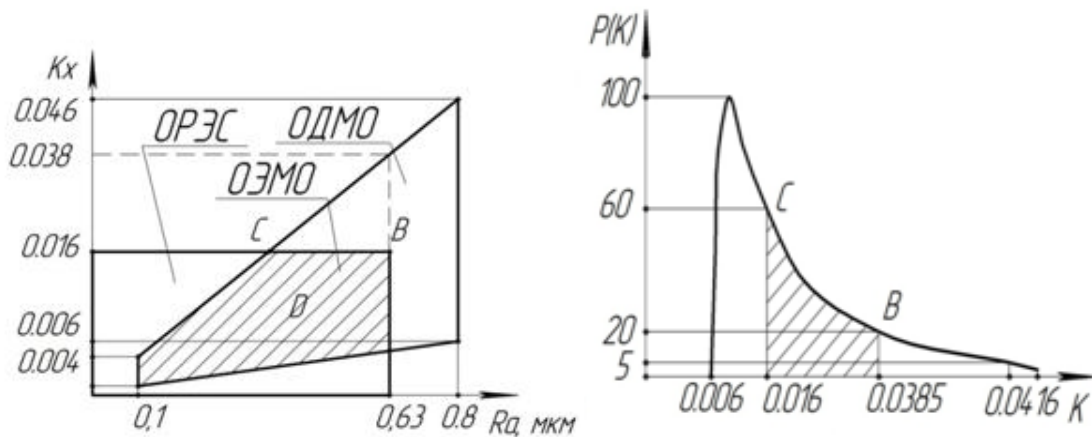


Рисунок 6 – Функция плотности вероятности F(K) для зубообработки

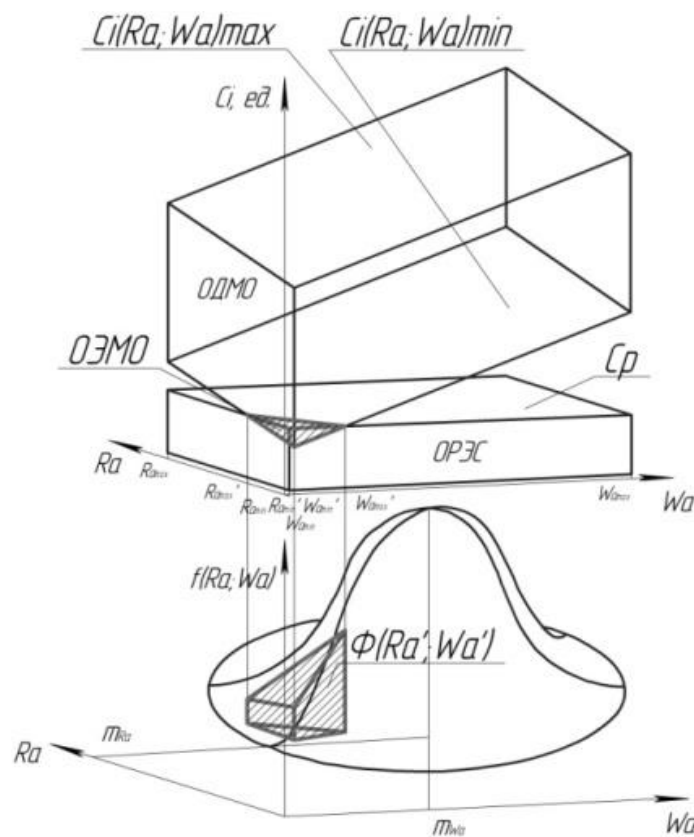


Рисунок 7 – Схема задачи выбора метода обработки при регламентации двух параметров качества поверхности

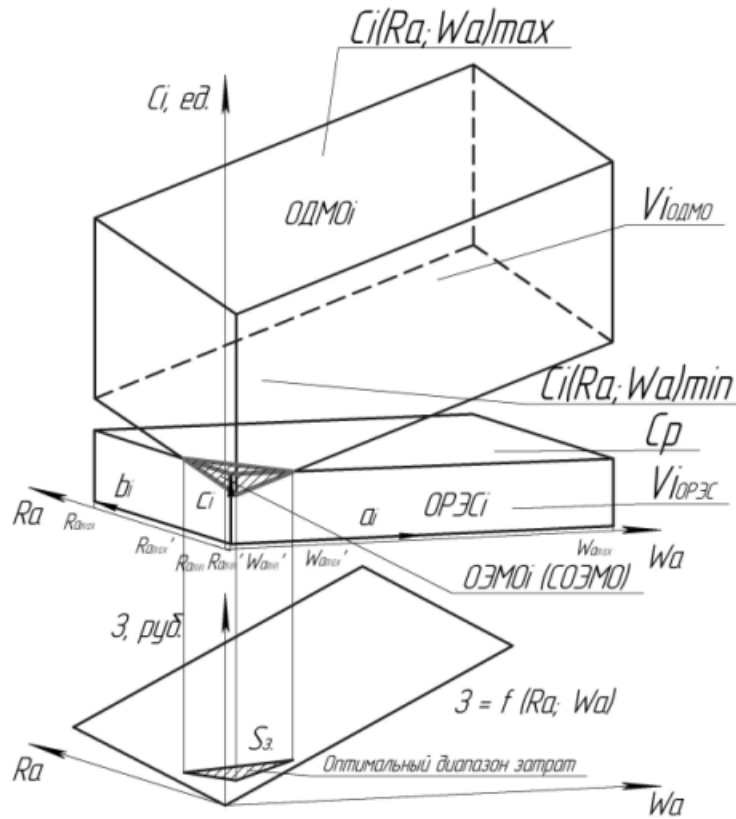


Рисунок 8 – Выбор оптимального диапазона затрат при обеспечении ЭС поверхностей зубчатых колес

При проецировании поверхности  $OЭМО_i$  на поверхность плотности распределения эта поверхность усекается и находится в интервалах  $(R_{amin} \leq R_a \leq R_{amax})$  и  $(W_{amin} \leq W_a \leq W_{amax})$ . Плотность распределения (рис. 7):

$$F(R_a; W_a) = \frac{1}{\gamma \cdot \lambda} \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{R_a}{\sigma_{R_a}}\right) - \Phi\left(\frac{R_{amin}}{\sigma_{R_a}}\right) \right\} \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{W_a}{\sigma_{W_a}}\right) - \Phi\left(\frac{W_{amin}}{\sigma_{W_a}}\right) \right\} \quad (12)$$

$$\gamma = \Phi\left(\frac{R_{amax} - m_{R_a}}{\sigma_{R_a}}\right) - \Phi\left(\frac{R_{amin} - m_{R_a}}{\sigma_{R_a}}\right) = \Phi(R_{amax}^*) - \Phi(R_{amin}^*)$$

$$\lambda = \Phi\left(\frac{W_{amax} - m_{W_a}}{\sigma_{W_a}}\right) - \Phi\left(\frac{W_{amin} - m_{W_a}}{\sigma_{W_a}}\right) = \Phi(W_{amax}^*) - \Phi(W_{amin}^*)$$

где  $(1 - \gamma)$  – степень усечения интервала  $(R_{amin} \leq R_a \leq R_{amax})$ ;

$(1 - \lambda)$  – степень усечения интервала  $(W_{amin} \leq W_a \leq W_{amax})$ ;

$\Phi$  – функция Лапласа;

$m_{R_a}$ ,  $m_{W_a}$  – математические ожидания соответственно случайных величин параметров  $R_a$  и  $W_a$ ;

$\sigma_{R_a}$ ,  $\sigma_{W_a}$  – средние квадратические отклонения соответственно случайных величин параметров  $R_a$  и  $W_a$  соответственно.

$$P\{(R_a; W_a) \in D\} = \iint_D F(R_a; W_a) dR_a dW_a, \quad (13)$$

где  $P$  – вероятность попадания случайной величины параметров качества  $R_a$  и  $W_a$  в область  $D$ .

Для обеспечения ЭС при задании ограниченного набора параметров качества поверхности вероятность для выбранного метода зубообработки определится так:

$$P(R_{ij}) = \prod_{i=1}^n P(R_i) \quad (14)$$

Где  $P(R_i)$  – вероятность обеспечения ЭС при регламентации  $i$ -го параметра состояния поверхностного слоя.

Назначение режимов зубообработки, обеспечивающей заданные ЭС (блок 15, рис. 1). Для определения режимов обработки используются эмпирические уравнения параметров состояния поверхностного слоя:

$$(R_a, R_p, S_m) = f(S; \vartheta; r; \gamma) \quad (15)$$

Где  $S$  – подача, мм/об.;  $v$  – скорость резания, м/мин.;  $r$  и  $\gamma$  – параметры режущего инструмента, радиус режущей кромки и передний угол соответственно.

Для обеспечения ЭС используются критерии оптимизации в виде неравенства (табл. 1):

$$[П] \leq П \quad (16)$$

где  $П$  – расчетно-конструкторское значение комплексного параметра  $П$ ;  $[П]$  – значение комплексного параметра  $П$ , достижимого зубообработкой поверхности.

Таким образом, выражение (16) будет иметь вид:

$$\left[ \frac{R_p \cdot W_p \cdot H_p}{(K^I)^{0.5}} \right]^{\frac{1}{3}} \leq \left[ \frac{\sigma_T \cdot (J_{ПЛ.})^6}{1.7 \cdot P} \right]^{\frac{1}{6}} \quad (17)$$

Выразив из (16) не регламентируемый параметр шероховатости  $R_p$  и подставив его в соотношение (17) находится оптимальная скорость резания  $v$  и число оборотов шпинделя  $n$ , которая обеспечит заданные конструктором ЭС:

$$n \geq \frac{60 \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \cdot \left[ K_0 \cdot W_p \cdot H_p \cdot \frac{S^{K_1}}{r^{K_2}} \cdot \left( \frac{1.7 \cdot P}{\sigma_T \cdot (J_{ПЛ.})^6 \cdot K^I} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{K_3}} \quad (18)$$

В дополнение к трем критериям оптимизации (2.1 – 2.3), рассмотренным выше, можно добавить еще и следующие, на основании рассмотренных рассуждений:

$$\begin{aligned} PO &= \{PO_1, PO_2, PO_3, \dots, PO_n\}; & GI &= \{GI_1, GI_2, \dots, GI_m\}; & Z &= \{Z_1, Z_2, \dots, Z_r\}; \\ \exists_B B_{j.onm} PO_n &\rightarrow onm.; & \exists_B B_{j.onm} GI_m &\rightarrow onm.; & \exists_B B_{j.onm} Z_r &\rightarrow onm.; \\ TC &= \{TC_1, TC_2, TC_3, \dots, TC_t\}; & YE &= \{YE_1, YE_2, YE_3, \dots, YE_k\}; \\ \exists_B B_{j.onm} TC_t &\rightarrow onm.; & \exists_B B_{j.onm} YE_k &\rightarrow onm.; \end{aligned}$$

2.4. Множество оптимальных режимов обработки (РО) поверхности для обеспечения ЭС; 2.5. Множество оптимальных параметров геометрии инструмента (ГИ) при обработке поверхности для обеспечения ЭС рассматриваемым МО; 2.6. Множество оптимальных параметров заготовки (З) для рассматриваемой поверхности при обеспечении ЭС предложенным МО; 2.7. Множество оптимальных параметров технологической системы (ТС) при обработке поверхности для обеспечения ЭС рассматриваемым МО; 2.8. Множество оптимальных параметров условий эксплуатации (УЭ) поверхности, которые обеспечиваются заданным МО.

Не имея информации о всем технологическом процессе изготовления зубчатых колес, за функцию стоимости можно взять приведенные затраты на выполнение перехода (рис. 8):

$$Z = \left( \frac{t_{ш.-к.i} \cdot (C_{cf} + Z_{сэ})}{60} + \frac{Z_{II}}{N_T} \right) \cdot N_i \quad (19)$$

где  $C_{cf}$  – часовая тарифная ставка  $f$ -го разряда станочника, грн.;  $N_i$  – годовая программа выпуска  $i$ -го изделия;  $Z_{II}$  – затраты на эксплуатацию инструмента за период его стойкости,

грн.;  $N_T$  – количество зубчатых колес, обработанных за период стойкости инструмента, шт.;  $Z_{СЭ}$  – затраты на содержание и эксплуатацию оборудования в течении часа его работы, грн;  $t_{ш.к.}$  – штучно-калькуляционное время, мин.

В свою очередь приведенные затраты метода механической зубообработки определяются по штучно-калькуляционному времени, которое является функцией основного времени и как следствие частоты вращения шпинделя  $n$  и подачи  $S$ :  $t=f(n; S)$ . Функция затрат представляет собой зависимость двух переменных параметров качества поверхности и может рассматриваться как поверхность затрат (рис. 8) (например,  $Z = f(H_{max}; R_a)$ ). Схема решения задачи ФСА представлена на рис. 3.

По приведенным выше зависимостям можно, на основании ограничения (16), провести оптимизацию режимов резания, для выбранного метода зубообработки (рис. 9). В дополнении к ограничениям (рис. 9) подач и чисел оборотов шпинделя по мощности привода станка, прочности его механизмов подач и главного движения, максимальных и минимальных возможных их значений, добавляется ограничение по возможности обеспечения ЭС обрабатываемой поверхности (16).

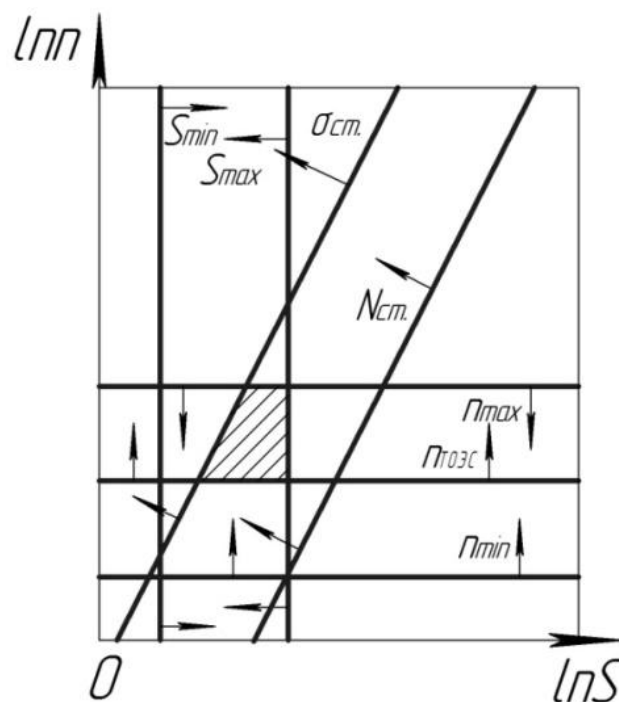


Рисунок 9 – Оптимизация режимов зубообработки

При регламентации не одного  $R_z$  параметра шероховатости поверхности необходимо использовать не плоские графические корреляционные зависимости этих параметров с режимами обработки, а объемные (рис. 10), представляющие собой поверхности в системе координат:  $PR_z W_z$ ,  $V_n R_z W_z$ ,  $S_n R_z W_z$  и др.

Следовательно, выбор оптимальной технологии (блок 15, рис. 1) изготовления является сложной многовариантной задачей. Выбор параметров, обеспечивающих ЭС поверхности, можно проводить в строгом соответствии с табл. 1, а также описанной выше схемы. Критерии оптимизации, рассмотренные в этой статье, позволяют эффективно регулировать качество ЭС изделий с применением комплексных параметров состояния поверхностного слоя.

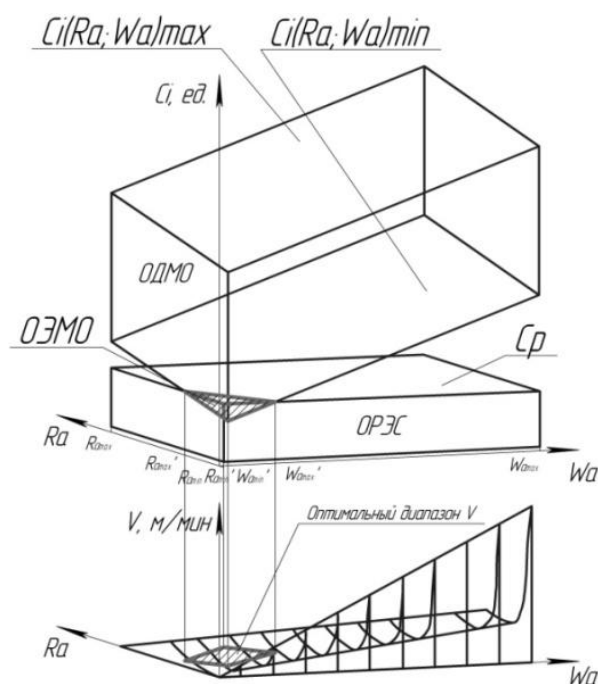


Рисунок 10 – Оптимальный диапазон скорости резания при регламентации двух параметров качества поверхности  $W_a$  и  $R_a$

### Выводы

Рассмотрены вопросы обеспечения качества закаленных крупномодульных зубчатых колес при их изготовлении за счет обеспечения ЭС их поверхностей. Приведен алгоритм двухступенчатого обеспечения ЭС поверхностей на основе применения комплексных параметров состояния поверхности и ее многокритериальной оптимизации.

Сформулированы критерии оптимизации технологического обеспечения нескольких ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес с использованием комплексных параметров их состояния, рассмотрены вопросы назначения оптимальных режимов их зубообработки, предложены графические схемы решения этих задач.

Обоснованы решения слабо изученных вопросов, решаемых при конструкторско-технологической подготовке зубообработки, оптимизация технологического обеспечения параметров состояния, характеризующих ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес.

Результаты работы опробованы при разработке технологических процессов механической зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес 6, 7 и 8 норм точности по ГОСТ1643-81.

**Перечень источников литературы:** 1. Инженерия поверхностей деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Сулова. М.: «Машиностроение», 2008. – 320 с. 2. Технологические особенности обработки крупномодульных закаленных зубчатых колес [Текст] / Н.В. Кравцов, Ю.В. Тимофеев, А.А. Ключко [и др.]; Науч. Ред. А.А. Пермяков; ВолГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 254 с., ил., табл.; - (Серия: Управление качеством технологических процессов в машиностроении / общ. ред. Ю.М. Соломенцев), ISBN 978-59903090-6-7. 3. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / Под общ. ред. В. Е. Старжинского, М. М. Кане. – С-Пб.: Профессия, 2007. – 832 с. 4. Тимофеев, Ю. В. Оптимизация технологического обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / Ю. В. Тимофеев, А. А. Ключко, А. Н. Кравцов // Восточно-европейский журнал передовых технологий: Прикладная механика. Издательство: Технологический центр (Харьков). Том 4, – № 7 (64) (2013). – С. 49–55.

Рецензент: Клименко Г.П., д.т.н., проф., ДГМА

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗАКАЛЕННЫХ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИХ СОСТОЯНИЯ

Клочко А.А., Мироненко Е.В., Гузенко В.С., Гаков С.А., Кравцов А.Н.

В статье рассмотрены вопросы обеспечения качества закаленных крупномодульных зубчатых колес при их изготовлении за счет обеспечения ЭС их поверхностей. Приведен алгоритм двухступенчатого обеспечения ЭС поверхностей на основе применения комплексных параметров состояния поверхности и ее многокритериальной оптимизации. Сформулированы критерии оптимизации технологического обеспечения нескольких ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес с использованием комплексных параметров их состояния, рассмотрены вопросы назначения оптимальных режимов их зубообработки, предложены графические схемы решения этих задач. Обоснованы решения слабо изученных вопросов, решаемых при конструкторско-технологической подготовке зубообработки, оптимизация технологического обеспечения параметров состояния, характеризующих ЭС поверхностей закаленных крупномодульных зубчатых колес.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ ЗАГАРТОВАНИХ КРУПНОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПАРАМЕТРІВ ЇХ СТАНУ

Клочко О.О., Мироненко Е.В., Гузенко В.С., Гаков С.О., Кравцов О.М.

У статті розглянуто питання забезпечення якості загартованих крупномодульних зубчастих коліс при їх виготовленні за рахунок забезпечення ЕС їх поверхонь. Наведено алгоритм двоступінчастого забезпечення ЕС поверхонь на основі застосування комплексних параметрів стану поверхні та її багатокритеріальної оптимізації. Сформульовано критерії оптимізації технологічного забезпечення декількох ЕС поверхонь загартованих крупномодульних зубчастих коліс з використанням комплексних параметрів їх стану, розглянуті питання призначення оптимальних режимів їх зубообробки, запропоновані графічні схеми вирішення цих завдань. Обґрунтовані рішення слабо вивчених питань, розв'язуваних при конструкторсько-технологічній підготовці зубообробки, оптимізація технологічного забезпечення параметрів стану, що характеризують ЕС поверхонь загартованих крупномодульних зубчастих коліс.

THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL IMPACT ON THE PROVISION OF OPERATIONAL PROPERTIES OF HARDENED COARSE-GRAINED HEAVY-DUTY GEAR WHEELS ON THE BASIS OF INTEGRATED PARAMETERS OF THEIR CONDITION

Klochko A.A., Mironenko E.V., Guzenko V.S., Gakov S.A., KRAVTSOV A. N.

In the article the questions of ensuring quality of large modular hardened gears during manufacture by providing ES of their surfaces. An algorithm for two-stage security ES surfaces through the use of complex parameters of the surface state and multi-criteria optimization. Optimization criteria are formulated technological support several hardened surfaces ES of large modular gear using complex parameters of their condition, considered the issues of assignment of optimum modes of their gears, the graphic schemes solve these problems. Justified decisions poorly described issues addressed in design-technological preparation of gears, optimization of technological security of state parameters that characterize the hardened surfaces ES of large modular gear..

Ключевые слова: двухступенчатая схема, технологическое воздействие, эксплуатационные свойства, крупномодульные зубчатые колеса

Ключові слова: двоступенева схема, технологічне вплив, експлуатаційні властивості, крупномодульні зубчасті колеса

Keywords: two-stage scheme, the impact of technological, operational properties, a coarse-grained gear wheels

Дата подання статті до редакції: 11 жовтня 2014 р.