$$\begin{cases} I_1 = \int\limits_{\alpha_2}^{\alpha_1} \dfrac{d\alpha}{\varepsilon - \cos\alpha} = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon^2 - 1}} \left[\arcsin \dfrac{1-\cos\alpha_1}{\cos\alpha_1} - \arcsin \dfrac{1-\varepsilon\cdot\cos\alpha_2}{\varepsilon - \cos\alpha_2} \right] \\ I_2 = \int\limits_{\alpha_2}^{\alpha_1} \dfrac{d\alpha}{(\varepsilon-\cos\alpha)^2} = \dfrac{1}{\varepsilon^2 - 1} \left[\dfrac{\sin\alpha_1}{\varepsilon-\cos\alpha_1} - \dfrac{\sin\alpha_2}{\varepsilon - \cos\alpha_2} + \varepsilon\cdot I_1 \right] \\ I_3 = \int\limits_{\alpha_2}^{\alpha_1} \dfrac{d\alpha}{(\varepsilon-\cos\alpha)^3} = \dfrac{1}{2(\varepsilon^2 - 1)} \left[\dfrac{\sin\alpha_1}{(\varepsilon-\cos\alpha_1)} - \dfrac{\sin\alpha_2}{(\varepsilon - \cos\alpha_2)^2} + 3\varepsilon\cdot I_2 - I_1 \right]. \end{cases} \quad (10)$$

Исключая путем подстановки постоянную интегрирования C ($w_e = 0$ при $\alpha = \alpha_1$ и $\alpha = \alpha_2$), находим положение наивысшего давления p_m, т.е. угол α_m как отношение двух интегралов:

$$\varepsilon - \cos\alpha_m = I_2 / I_3 \quad (11)$$

или

$$\alpha_m = \arccos(\varepsilon - I_2 / I_3). \quad (12)$$

Выводы. Таким образом, получены соотношения, которые позволяют приближенно определять для подшипников скольжения распределение давления и положение наивысшего давления.

Список литературы: **1.** *Крагельский И.В.* Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с. **2.** *Сухов С.И.* Исследование закономерностей сухого и граничного трения шероховатых поверхностей металлов. Трение и износ в машинах. Сборник VI. – 1950. – 105 с. **3.** *Michel A.* Die Schmirung Ebener Flächen // Zeitschrift Math u Phys. – 52. – 1905. **4.** *Reynolds O.* On the Theory of Lubrication // Phil. Trans. Roy. Soc. (1886).

Поступила в редколлегию 12.05.2011

УДК 519.8

Вісс. Гр. КЛИМЕНКО, канд. фіз.-мат. наук. НТУ "ХПІ"

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ЗАДАЧА МІНІМІЗАЦІЇ НА ОРГРАФАХ

В даній роботі розглядається багатокритеріальна задача мінімізації на орграфах, яка моделює ситуацію по розміщенню точкових об'єктів з нечітко визначеними преференціями. Наряду із постановочними питаннями в роботі встановлюються умови існування і єдиності розв'язку поставленої задачі, пропонується метод по відшукуванню його.

В данной работе рассматривается многокритериальная задача минимизации на орграфах, которая моделирует ситуацию по размещению точечных объектов с нечетко определенными преференциями. Наряду с постановочными вопросами в работе устанавливаются условия существования и единственности решения поставленной задачи, предлагается метод по его отысканию.

The multicriterial task of minimization on digraphs, which models a situation on point objects placing with unexpressly determined preferences, is examined in this work. The conditions of existence and uniqueness of this task solution are determined and a method of its searching is offered.

1. Постановка задачі мінімізації по максимуму при векторних зіставленнях. Єдиність розв'язку

Нехай $H = \left\{ H_i \mid \overline{i,m} \right\}$ є сім'я неперетинних, компактних і строго опуклих множин в евклідовому точково-векторному просторі R^n, який умовимось називати для сім'ї H опорним. Зауважуємо, що розмірність афінної оболонки $\dim(\operatorname{aff} H) = n$. Кожній множині H_i зіставляємо свій евклідів простір $R^n(i)$, тотожний опорному простору R^n. Позначаємо через B_0 декартовий добуток множин H_i, а через R^{nm} — декартовий добуток просторів $R^n(i)$:

$$B_0 = H_1 \times H_2 \times \ldots \times H_m = \mathop{X}_{i=1}^{i=m} H_i, \quad R^{nm} = \mathop{X}_{i=1}^{i=m} R^n. \quad (1)$$

Візьмемо плинну точку $X = (X_1, \ldots, X_i, \ldots, X_m) \in B_0$, тут $X_i = (X_1^i, X_2^i, \ldots, X_n^i) \in R^n(i)$, і розглянемо зв'язний, змінний граф $G(X) \equiv G(X_1, \ldots, X_i, \ldots X_m)$, ребрам якого, упорядкованим парам (X_i, X_j), ставимо у відповідність вектор $\lambda_{ij}(X_i - X_j)$, де $\lambda_{ij} \geq 0$.

Отже, орієнтований граф $G(X_1, \ldots, X_i, \ldots X_m)$ визначається матрицею суміжності

$$M(G(X)) = \begin{pmatrix} 0 & \lambda_{12}(X_1 - X_2) & \ldots & \lambda_{1m}(X_1 - X_m) \\ \lambda_{21}(X_2 - X_1) & 0 & \ldots & \lambda_{2m}(X_2 - X_m) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \lambda_{m1}(X_m - X_1) & \lambda_{m2}(X_m - X_2) & \ldots & 0 \end{pmatrix}.$$

Кожній вершині $X_i \in R^n(i)$ змінного графа $G(X_1, \ldots, X_i, \ldots X_m)$, в якості міри, ставимо у відповідність значення функції

$$P_i(X) \equiv f_i\left(\left| \sum_{j=1}^{j=m} \lambda_{ij}(X_i - X_j) \right| \right) = f_i\left(\left| \left(\sum_{j=1}^{j=m} \lambda_{ij} \right) X_i - \sum_{j=1}^{j=m} \lambda_{ij} X_j \right| \right) =$$
$$= f_i\left(\left| X_i - \sum_{j=1}^{j=m} \lambda_{ij} X_j \right| \right) \quad : R^{nm} \to R_+, \text{ де } f_i(d) \in F \text{ і } \sum_{j=1}^{j=m} \lambda_{ij} = 1. \quad (1)$$

Зрозуміло, що функція $P_i(X)$ неперервна, опукла і строго явно квазіопукла на опуклому компакті H_i. Таким чином, в просторі R^{nm} визначається вектор-функція

$$\overrightarrow{q(X)} = \left(P_1(X),\ldots,P_i(X),\ldots,P_m(X)\right) \;:\; R^{nm} \to \overset{\vee}{R^{m}},$$

значення якої розглядаємо в просторі R^m, упорядкованому по максимуму. Поставимо для вектор-функції $\overrightarrow{q(X)}$ задачу:

$$\overrightarrow{q(X)} \xrightarrow[\substack{\le \\ \max}]{X\in B_0 = H_1\times\ldots\times H_m} \min. \tag{2}$$

Функції $P_i(X)$ задовольняють умовам теорем 2.1.1, 2.1.2 із [1], тож функція $\overrightarrow{q(X)}$ набуває свого мінімального по максимуму значення на опуклому компакті

$$B^0_{\min} = \operatorname{Arg}\min\{\overrightarrow{q(X)}; X\in B_0; \underset{\max}{\le}\} \ne \varnothing.$$

Наведемо умови, за яких задача (2) має єдиний розв’язок.

Позначаємо через $C(i)$ множину номерів компактів H_j суміжних вершині H_i; $C(i)=\left\{j \mid j=\overline{1,m}\,;\lambda_{ij}\ne 0\right\}$.

Означення 12.1. Вершину H_i графа $G(H_1,\ldots,H_i,\ldots H_m)$, ізоморфного графу $G(X)\equiv G(X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m)$, назвемо **портальною**, якщо в опорному просторі R^n існує гіперплощина, яка строго відокремлює вершину H_i від суміжних їй вершин H_j, тобто

$$H_i \cap \operatorname{Conv}\left\{H_j \mid j\in C(i)\right\} = \varnothing. \tag{3}$$

Граф $G(H_1,\ldots,H_i,\ldots H_m)$, у якого всі вершини портальні, будемо називати **портальним**.

Теорема 1. *Якщо граф $G(H_1,\ldots,H_i,\ldots H_m)$ є портальним, то задача*

(2) має єдиний розв’язок, тобто множина $B^0_{\min}$ є одноточкова.

Доведення. Нехай $D_i = \Pi\rho_{H_i} B^0_{\min}$ (проекція $B^0_{\min}$ на H_i), а отже, $B^0_{\min} \subseteq D_1\times\ldots\times D_i\times\ldots\times D_m$, і нехай $X=(X_1,...,X_i,...,X_m)\in B^0_{\min}$.

Спершу упевнимось, що X_i, при $\forall\, i=\overline{1,m}$, належить межі строго опуклого компакта H_i, тобто при $\forall\, i=\overline{1,m}$ $D_i \subset \operatorname{Fr} H_i$. Дійсно, функція $P_i(X_1,\ldots,X_{i-1},Y_i,X_{i+1},\ldots,X_m) : H_i \to R_+$ строго явно квазіопукла на компакті H_i і при допущенні, що $X_i\in \operatorname{Int} H_i$ маємо, що X_i є точка глобального мінімуму функції $P_i(X_1,\ldots,X_{i-1},Y_i,X_{i+1},\ldots,X_m) : H_i \to R_+$ в просторі $R^n(i)$.

Тобто $X_i = \sum\limits_{j\in C(i)} \lambda_{ij}X_j$, тож $X_i \in \operatorname{Conv}\left\{H_j \mid j\in C_i\right\}$, а це суперечить умові (3). Отже, при $\forall\, i=\overline{1,m}$, $D_i \subset \operatorname{Fr} H_i$.

Припустимо тепер, що не всі проекції $D_i = \Pi\rho_{H_i} B^0_{\min}$ є одноточкові; нехай $Y=(Y_1,...,Y_i,...,Y_m)$ і $Z=(Z_1,...,Z_i,...,Z_m)$ два різних розв’язки задачі (2), наприклад, $Y_i \ne Z_i$. Але тоді, в силу теореми 2.1.2 із, точки $U=\lambda Y+(1-\lambda)Z$ при $\lambda\in \left]0,1\right[$ також є розв’язками задачі (2). В силу ж строгої опуклості множини H_i, маємо: $U_i=\lambda Y_i+(1-\lambda)Z_i\in \operatorname{Int} H_i$, що суперечить встановленому вище.

Отже, множина $B^0_{\min}$ є одноточкова.

2. Змішана задача на орграфах

Нехай $H=\{S,T\}=\{H_1,\ldots,H_r,H_{r+1},\ldots,H_m\}$ є сім’я неперетинних, опуклих компактів опорного простору R^n, причому $S=\{H_1,\ldots,H_r\}$ є система *строго опуклих* компактів, а $T=\{H_{r+1},\ldots,H_m\}$ є регулярна система компактів. Зауважуємо, що $\dim(\operatorname{aff} H)=n$ і кожному компакту H_i зіставляється свій евклідів простір $R^n(i)$, тотожний опорному простору R^n. Нехай $G(H_1,\ldots,H_r,H_{r+1},\ldots H_m)$ є простий граф, вершинами якого є компакти сім'ї H. Візьмемо плинну точку

$$X=(X_1,...,X_i,...,X_m)\in B_0=\mathop{X}_{i=1}^{i=m} H_i\,,$$

тут $X_i=(X_1^i,X_2^i,...,X_n^i)\in H_i\subset R^n(i)$, і розглянемо зв'язний, змінний орієнтований граф $G(X)\equiv G(X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m)$ (зв'язна основа – граф $G(H)$). Граф $G(X)$ опишемо за допомогою наступної таблиці суміжності його вершин:

i/j	H_1	H_2	—	H_r	H_{r+1}	—	H_m
H_1	0	$\overrightarrow{a_{12}}$	—	$\overrightarrow{a_{1r}}$	$\overrightarrow{a_{1,r+1}}$	—	$\overrightarrow{a_{1,m}}$
H_2	$\overrightarrow{a_{21}}$	0	—	$\overrightarrow{a_{2r}}$	$\overrightarrow{a_{2,r+1}}$	—	$\overrightarrow{a_{2,m}}$
—	—	—	0	—	—	—	—
H_r	$\overrightarrow{a_{r1}}$	$\overrightarrow{a_{r2}}$	—	0	$\overrightarrow{a_{r,r+1}}$	—	$\overrightarrow{a_{r,m}}$
H_{r+1}	$b_{r+1,1}$	$b_{r+1,2}$	—	$b_{r+1,r}$	0	—	$b_{r+1,m}$
—	—	—	—	—	—	0	—
H_m	$b_{m,1}$	$b_{m,2}$	—	$b_{m,r}$	$b_{m,r+1}$	—	0

Відсутність дуги (X_i,X_j) графа $G(X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m)$ позначаємо нульовим значенням відповідного цій дузі елемента таблиці.

Тут $\overrightarrow{a_{ij}}=\alpha_{ij}(X_i-X_j)$ є вектор, який ставимо у відповідність (приписуємо) при $i=\overline{1,r}$ упорядкованій парі (X_i,X_j) – дузі графа $G(X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m)$, де $\sum\limits_{j=1}^{j=m}\alpha_{ij}=1$ і $0\le\alpha_{ij}\le 1$;

b_{ij} є значення функції $g_{ij}\left(\left|X_i-X_j\right|\right)$ ($g_{ij}(d)=g_{ji}(d)\in F$), яке приписуємо упорядкованій парі (X_i,X_j) при $i=\overline{r+1,m}$. Кожній вершині $X_i\in H_i$ змінного графа $G(X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m)$, при $i=\overline{1,r}$, приписуємо значення функції:

$$P_i(X)\equiv f_i\left(\left|\sum_{j=1}^{j=m}\alpha_{ij}(X_i-X_j)\right|\right)=f_i\left(\left|\left(\sum_{j=1}^{j=m}\alpha_{ij}\right)X_i-\sum_{j=1}^{j=m}\alpha_{ij}X_j\right|\right)=$$
$$=f_i\left(\left|X_i-\sum_{j=1}^{j=m}\alpha_{ij}X_j\right|\right)\quad :R^{nm}\to R_+,\ \text{ää}\ f_i(d)\in F. \qquad (4)$$

А кожній вершині $X_i\in H_i$ змінного графа $G(X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m)$, при $i=\overline{r+1,m}$, приписуємо значення функції:

$$P_i(X)\equiv\max\left\{g_{ij}\left(\left|X_i-X_j\right|\right)\Big|\,j=\overline{1,m}\right\}.$$

Зрозуміло, що функція $P_i(X)$ неперервна, опукла і строго явно квазіопукла на опуклому компакті H_i, $i=\overline{1,m}$.

Розглянемо для вектор-функції

$$\overrightarrow{q(X)}=\left(P_1(X),\ldots,P_i(X),\ldots,P_m(X)\right)\ :\ R^{nm}\to\overset{\vee}{R}{}^m \text{ задачу:}$$

$$\overrightarrow{q(X)}\ \xrightarrow[\substack{\le\\ \max}]{X\in B_0=H_1\times\ldots\times H_m}\ \min. \qquad (5)$$

Ясно, що умови теорем 2.1.1, 2.1.2 із [1] задовольняються, тож функція $\overrightarrow{q(X)}$ набуває свого мінімального по максимуму значення на опуклому компакті

$$B^0_{\min}=\operatorname{Arg}\min\{\overrightarrow{q(X)};X\in B_0;\underset{\max}{\le}\}\ne\varnothing.$$

Наведемо умови при яких задача (6) має єдиний розв'язок.

<u>Теорема 2</u>. *Якщо вершини графа* $G\left(\overbrace{H_1,\ldots,H_r}^{S},H_{r+1},\ldots H_m\right)$ *із системи* $S=\{H_1,\ldots,H_r\}$ *є портальними, то задача (2) має єдиний розв'язок, тобто множина* $B^0_{\min}$ *є одноточкова.*

Доведення. Згідно міркувань, наведених в доведенні теореми 1, маємо: $B^0_{\min}\subseteq X_1^*\times\ldots\times X_r^*\times D_{r+1}\ldots\times D_m$, де $X^*=(X_1^*,...,X_r^*,X_{r+1}^*...,X_m^*)\in B^0_{\min}$ і

$D_i = \Pi\rho_{H_i} B^0_{\min}$. Отже, задача

$$\overrightarrow{q(X)} \xrightarrow[\underset{\max}{\leq}]{X\in X_1^*\times\ldots\times X_r^*\times H_{r+1}\times\ldots\times H_m} \min \qquad (6)$$

є еквівалентною редукцією задачі (2). Задача ж (6), згідно теореми 2.3.1, 2.5.1 (див. [1]), має єдиний розв'язок $B^0_{\min} = \{X^*\}$.

3. Метод розв'язування задачі мінімізації по максимуму при векторних зіставленнях

Процес пошуку розв'язка задач (2) і (5) такий же, як і пошук розв'язка задачі мінімізації по максимуму, описаний в §4 (див. [1]).

Нехай $X = (X_1,\ldots,X_i,\ldots X_m) = \arg\min\left\{\overrightarrow{q(X)} \mid X\in B_0 \mid \underset{\max}{\leq}\right\}$ і є розв'язок задач (2), (6) в умовах теореми 1 і 2, а $\overrightarrow{q(X)} \underset{\max}{=} \left(b_1^1,\ldots b^1_{\mu(1)};\ldots;b_1^k,\ldots b^k_{\mu(k)}\right)$ є мінімальний по максимуму вектор на B_0; тут $\sum\limits_{i=1}^{i=k}\mu(i) = m$, $b^i_\delta > b^j_\pi$ при $i<j$, $b^i_\delta = b^i_\pi$. Припустимо, звісно ж, не обмежуючи загальності наших міркувань, що $P_i(X) = b_1^1$ при $i = \overline{1,\mu(1)}$. Назвемо підмножину $B^* = \{X_1,\ldots,X_{\mu(1)}\}$ розв'язка X його **базою**. Для пошуку розв'язку X формуємо оціночну функцію $\varphi(X) = \bigvee\limits_{i=1}^{i=m}\left\{P_i(X), i=\overline{1,m}\right\}: R^{nm}\to R_+$.

Функція $\varphi(X)$ опукла вниз в просторі R^{nm}, а отже, досягає на $B_0 = \mathop{\mathrm{X}}\limits_{i=1}^{i=m} H_i$ свого мінімального значення на опуклому компакті $\Phi_{\min} = \operatorname{Arg\,min}\{\varphi(X); X\in B_0\}$.

Ясно, що коли $X\in\Phi_{\min}$, а $Y\in B_0\setminus\Phi_{\min}$, то $\overrightarrow{q(X)} \underset{\max}{\leq} \overrightarrow{q(Y)}$.

Отже, $B^0_{\min}\subseteq\Phi_{\min}$ і $\min\limits_{X\in B_0}\varphi(X) = \beta = b_1^1$. Зрозуміло, що

$$\Phi_{\min} = B_0\cap S(\varphi(X),\beta) = B_0\cap\left(\bigcap_{i=1}^{i=m} S(P_i(X),\beta)\right).$$

Позначаємо через $D_i = \Pi\rho_{H_i}\Phi_{\min} = H_i\cap S(P_i(X),\beta)$, а отже, $\Phi_{\min}\subseteq D_1\times\ldots\times D_m$. Нехай $U = (U_1,\ldots,U_m)$ є довільний розв'язок задачі $\varphi(X)\xrightarrow[X\in B_0]{}\min$, і нехай $\overrightarrow{q(U)} \underset{\max}{=} \left(\beta_1^1,\ldots\beta^1_{\eta(1)};\ldots;\beta_1^p,\ldots\beta^p_{\eta(p)}\right)$, тут $\sum\limits_{i=1}^{i=p}\eta(i) = m$, $\beta^i_\delta > \beta^j_\pi$ при $i<j$, $\beta^i_\delta = \beta^i_\pi$ при довільних $\delta,\pi\in\{1,\ldots,\eta(i)\}$.

Позначаємо через E^* підмножину компонент розв'язку $U = (U_1,\ldots,U_m)$, міра яких дорівнює β_1^1; нехай $E^* = \left\{U_{i_1},\ldots,U_{i_{\eta(1)}}\right\}$, $\left\{i_1,\ldots,i_{\eta(1)}\right\}\subset\{1,\ldots,m\}$. Зрозуміло, що

$$B^*\subseteq E^*;\ b_1^1 = \beta_1^1,\ \mu(1)\leq\eta(1).$$

В разі допущення $\mu(1)>\eta(1)$, або $\mu(1)=\eta(1)$ і $b_1^1=\beta_1^1$, а $B^*\not\subset E^*$, то постає суперечність із теоремою 1 і 2.

Таким чином, першим кроком у відшукуванні розв'язку задачі (2) є знаходження будь-якого розв'язку $U = (U_1,\ldots,U_m)$ задачі $\varphi(X)\xrightarrow[X\in B_0]{}\min$ і виділенні із нього компонентів бази B^*. Для цього необхідно компоненти множини $E^* = \left\{U_{i_1},\ldots,U_{i_{\eta(1)}}\right\}$ перевірити на відповідність, тобто необхідно розв'язати $\eta(1)$ задач:

$$\begin{cases} P_i(U_1,\ldots,U_{i-1},X_i,U_{i+1},\ldots,U_m)\xrightarrow[X_i\in H_i]{}\min, \\ i\in\left\{i_1,\ldots,i_{\eta(1)}\right\}. \end{cases}$$

Зауважуємо, що ці задачі мають єдині розв'язки X_i^*, і тільки ті із них формують базу B^*, для яких

$$P_i\left(U_1,\ldots,U_{i-1},X_i^*,U_{i+1},\ldots,U_m\right) = \min_{X\in B_0}\varphi(X) = \beta_1^1.$$

Наступним кроком у пошуку решти компонент розв'язку X задачі (2) буде перехід до її еквівалентної редукції, див. [1], §2.2 теорема 2.2.2.

$$\overrightarrow{q_1\left(X_1,\ldots,X_{\mu(1)},X_{\mu(1)+1},\ldots,X_m\right)} \xrightarrow[\underset{\max}{\leq}]{\left(X_{\mu(1)+1},\ldots,X_m\right)\in D_{\mu(1)+1}\times\ldots\times D_m} \min,$$

певна річ, $P_i\left(\left(X_1,\dots,X_{\mu(1)},X_{\mu(1)+1},\dots,X_m\right)\right)=\beta_l^l,\quad i=\overline{1,\mu(1)}$.

Тут $\overline{q_l\left(\left(X_1,\dots,X_{\mu(1)},X_{\mu(1)+1},\dots,X_m\right)\right)}=\left(P_{\mu(1)+1}(Y),\dots,P_m(Y)\right)$, де

$Y=\left(X_1,\dots,X_{\mu(1)},X_{\mu(1)+1},\dots,X_m\right)$.

Зрозуміло, що після скінченного числа цих редукцій ми і встановимо розв'язок задачі (2) і (5).

Заключний висновок. Отриманий вище результат безумовно буде затребуваний при проектуванні графових структур, де у прийнятті рішень присутній фактор нечіткості.

Список літератури: 1. *Вісс.Гр.Клименко.* Багатокритеріальне математичне проектування. / *Вісс.Гр.Клименко.* – Харків: Майдан, 2010. – 488 с.

Надійшла до редакції 4.4.2011

УДК 621.7

В.Т. ЛЕБЕДЬ, канд. техн. наук, ведущий конструктор КУ ПМО АО „НКМЗ", Краматорск

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

На підставі аналізу статистичних даних і системного підходу до оцінки якості відновлюваних великогабаритних виробів на прикладі вибору способу відновлення вальцювальних валків установлена ймовірність їхньої безвідмовної роботи в процесі наступної експлуатації. Наведено розрахункову схему міцністних показників відновлених прокатних валків. Додатково визначений рівень реалізації процесів відновлення залежно від форми переділу демонтованих виробів.

На основании анализа статистических данных и системного подхода к оценке качества восстанавливаемых крупногабаритных изделий на примере выбора способа возобновления вальцовочных валков установленная вероятность их безотказной работы в процессе следующей эксплуатации. Приведена расчетная схема міцністних показателей возобновленных прокатных валков. Дополнительно определенный уровень реализации процессов возобновления в зависимости от формы передела демонтированных изделий.

Based on analysis of statistical data and system approach to evaluation of reconditioned large-sized products quality by the example of procedure selection for rolling mill rolls reconditioning there has been determined the probability of their failure-free operation during at the next following operational process. Design model of reconditioned rolls' strength characteristics is given. In addition the level of reconditioning processes realization is determined depending on dismantled items' rework type.

Введение. Общеизвестно [1], что до одной трети объема производства ряда предприятий тяжелого машиностроения, таких как НКМЗ, УЗТМ, Ижорские заводы, составляют составные крупногабаритные изделия горнорудного, металлургического, прокатного, кузнечно-прессового и подъемно-транспортного оборудования, в число которых входят: обандаженные зубчатые колеса, валки, универсальные шпиндели прокатных клетей и др.

Содержание проблемы. В большинстве случаев крупногабаритные изделия после отработки номинального ресурса по рабочей поверхности имеют незначительный объемный износ по этим поверхностям (до 0,5 % от своей общей массы). Перевод выработавших номинальный ресурс таких изделий во вторичное сырье в своей основе нецелесообразен, поскольку их состояние таково, что позволяет рассматривать вопрос их повторного использования после восстановления [2].

Реализация процессов восстановления отработавших ресурс по рабочей поверхности крупногабаритных (более 20 т) изделий при их повторном использовании, в частности, прокатных валков массой 20 т и более, позволяет значительно расширить диапазон их «жизненного цикла» эксплуатации за счет вторичного использования демонтированных охватывающих и охватываемых деталей: например, в качестве деталей – заготовок. Целесообразно применение также моноблочных изделий в качестве охватываемых деталей-заготовок под составное конструктивное исполнение для равновеликих (или меньших) типоразмеров восстанавливаемых изделий.

Анализ последних исследований и публикаций. Накопленный опыт многократного использования моноблочных прокатных валков, например, [3] и осей составных валков на ряде предприятий Украины, России, Японии, США и других стран внес существенный вклад в дальнейшее развитие этого ресурсосберегающего направления на металлургических комбинатах и заводах тяжелого машиностроения.

Определение готовности к повторному использованию демонтированных деталей (охватывающих и охватываемых) крупногабаритных прокатных валков, устанавливается по их внешнему состоянию, качеству наружных поверхностей и соответствия геометрических параметров технической документации, а также путем их оценки по критериям прочности с учетом усталостных напряжений.

Постановка задачи. Целью статьи является определение надежности восстанавливаемых крупногабаритных изделий на примере прокатных валков и оценка их уровня восстановления в зависимости от формоизменения повторноиспользуемых демонтированных охватывающих и охватываемых деталей. Рассмотрение этих вопросов является актуальной задачей, позволяющей прогнозировать ресурс эксплуатации деталей и оптимизировать выбор процесса восстановления указанных изделий.

Изложение основного материала. Известно [4], что при эксплуатации составных прокатных валков вследствие динамических процессов их работы в клетях и проявления фреттинг-процессов на контактирующих поверхностях в охватываемых и охватывающих деталях в этих изделиях происходит снижение уси-