

Опір середовища, що характеризується модулями пружності (для різання – модулем зсуву G і межею плинності σ_T), крім температури, залежить також від додаткового параметра стану, що характеризується критерієм руйнування D . Кінетика процесу руйнування визначається залежністю швидкості дисипації від швидкості зміни критерію руйнування.

Висновки. Аналіз результатів реологічного моделювання процесів різання дає змогу зробити такі висновки:

- врахування основних положень теорії дислокацій дає змогу пояснити результати імітаційного моделювання процесів різання, перевірити їх на адекватність з теоретичного погляду;
- найефективнішим механізмом аналізу напрямку та інтенсивності дислокацій є вектор Бюрджера, що моделюється за допомогою МКЕ динамікою трансформації лагранжевої сітки;
- реологічна модель різання розроблена на основі класичного термодинамічного аналізу, що відображає закони збереження енергії, маси та імпульсу.

1. МакКлінток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов. – М.: Мир, 1970. – 501 с.
2. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. – 329 с. 3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / под ред. П.Р. Родина; АН УССР. Ин-т сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с. 4. Дель Г.Д. Технологическая механика. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с. 5. Конева Н.А. Природа стадий пластической деформации // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – №6. – С.99–105. 6. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1988. – 346 с. 7. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с. 8. Кукуджанов В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций. – М.: МФТИ, 2008. – 215 с.

УДК 621.9

Н.В. Ступницька

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра охорони праці

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛАНУ ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

© Ступницька Н.В., 2012

Наведено класифікацію заходів з охорони праці на машинобудівному виробництві. Розроблено математичну оптимізаційну модель планування заходів запобігання виробничого травматизму.

In the article the brought classification over of measures on a labour protection on a machine-building production. The mathematical optimization model planning of measures as prevention of productive traumatism is worked out.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Існуючі методики побудови математичних моделей та пошук універсальних критеріїв оцінки травмонебезпечних ситуацій на машинобудівних підприємствах передбачають здебільшого дослідження характеру статистичних потоків травматизму. Аналіз літературних джерел з питання оцінки виробничих систем щодо їх травмонебезпеки дає змогу виділити два основні напрямки таких досліджень. Перший з них [2, 4] (умовно його можна назвати методом синтезу) ґрунтується на статистичному аналізі мікро-травматизму, що дає можливість узагальнити визначені в такий спосіб показники та будувати за-

гальну модель травмонебезпеки виробничого підрозділу методом узагальнення та формалізації тенденцій щодо причин та наслідків нещасних випадків. Однак складність створення узагальнювальної моделі, яка передбачає необхідність дослідження не тільки безпосередніх випадків травматизму, а й тенденцій їх впливу на основні техніко-економічні показники роботи підприємства, робить цей метод доволі обмеженим та ненадійним. Інший підхід [3, 5, 6] ґрунтується на результатах загальних соціологічних та статистичних оцінок параметрів безпеки основного та допоміжного технологічного обладнання тощо. Обробка отриманих в такий спосіб інформаційних масивів здійснюється за допомогою методів математичного моделювання, причому алгоритм повинен враховувати можливість як дослідження окремих чинників, так і отримання комплексного критерію оцінки травмонебезпеки [2]. Використання соціологічних анкет та методів експертних оцінок дає можливість встановити травмонебезпечні види обладнання та технологічні операції, небезпечні зони та умови роботи тощо. Проте такі дослідження мають, як правило, суб'єктивний характер і недостатньо адекватно описують загальну картину травмонебезпеки деякого конкретного робочого середовища.

Формулювання мети роботи. Мета досліджень полягає у розробленні моделі структурно-параметричної оптимізації плану заходів з охорони праці з метою максимального зменшення інтегрального показника травмонебезпеки.

Виклад основного матеріалу. Заходи для попередження випадків травматизму (b_{mn}) у виробничих підрозділах машинобудівних підприємств поділяються на:

- технічні ($b_{1n}; n = \overline{1, G}$);
- організаційні ($b_{2n}; n = \overline{1, H}$);
- санітарно-гігієнічні ($b_{3n}; n = \overline{1, P}$);
- психофізіологічні ($b_{4n}; n = \overline{1, Q}$).

Загальну кількість фактично позначимо T ($T=G+H+P+Q$).

Кожен b_{mn} захід визначається кортежем параметрів:

$$b_{mn} = \langle B_{1mn}; B_{2mn}; B_{3mn}; B_{4mn} \rangle,$$

де B_{1mn} – загальна балансова вартість впровадження b_{mn} -го заходу; B_{2mn} – коефіцієнт ефективності b_{mn} -го заходу; B_{3mn} – коефіцієнт доцільності впровадження b_{mn} -го заходу; B_{4mn} – коефіцієнт зміни продуктивності робочого обладнання внаслідок впровадження b_{mn} -го заходу.

Балансова вартість впровадження кожного b_{mn} -го заходу загалом визначається за формулою

$$B_{1mn} = S_{осн\ mn} + S_{доп\ mn} + S_{зн\ mn} + S_{монт\ mn} + S_{пр\ mn} + S_{ф\ mn} + S_{прост\ mn}, \quad (1)$$

де $S_{осн\ mn}$ – вартість основних матеріалів, необхідних для реалізації b_{mn} -го заходу; $S_{доп\ mn}$ – вартість допоміжних матеріалів для впровадження b_{mn} -го заходу; $S_{зн\ mn}$ – відрахування на зарплату робітникам, що виконують монтувальні та будівельні роботи для реалізації b_{mn} -го заходу; $S_{монт\ mn}$ – витрати на процес монтування обладнання (або будівництва) b_{mn} -го заходу; $S_{пр\ mn}$ – витрати на проектно-дослідні роботи для реалізації b_{mn} -го заходу; $S_{ф\ mn}$ – витрати на функціонування обладнання, що передбачається впровадити під час реалізації b_{mn} -го заходу; $S_{прост\ mn}$ – економічний ефект або втрати, отримані внаслідок зміни продуктивності технологічного обладнання цеху, викликані його простоюванням під час монтувань або інтенсивнішої експлуатації у результаті впровадження b_{mn} -го заходу;

$$S_{прост} = \sum_{j=1}^A \sum_{n=1}^G (\overline{C}_j \cdot \left(1 + \frac{(T_{монт\ nj} + T_{то\ nj})}{T_{шт\ j}} \right) \cdot k_{пп\ jn} \cdot \alpha_{jn}), \quad (2)$$

де \overline{C}_j – середньостатистична собівартість виготовлення деталей на j -й моделі основного технологічного обладнання (j -му джерелі травмувань):

$$\overline{C_j} = \frac{\sum_{p=1}^P C_{pj} \cdot T_{шт\ jp} \cdot N_p}{\sum_{p=1}^P T_{шт\ jp} \cdot N_p}, \quad (3)$$

де C_{pj} – технологічна собівартість pj -ї деталі-операції; $k_{mn\ jn}$ – коефіцієнт, що враховує підвищення ($k_{mn} < 1$) або зменшення ($k_{mn} > 1$) продуктивності j -го основного технологічного обладнання внаслідок впровадження обладнання та систем, передбачених b_{mn} -м заходом; $\alpha_{jn} = 1$, якщо передбачається впровадження n -го заходу на j -му обладнанні, $\alpha_{jn} = 0$, у іншому випадку. $T_{шт\ jp}$ – штучний час технологічної операції, що виконується на j -му обладнанні над p -ю деталлю ($p = \overline{1, P}$; $j = \overline{1, A}$); N_p – програма випуску p -х деталей; $T_{монт\ n}$, $T_{то\ n}$ – несуміщений час на монтування та технологічне обслуговування систем та заходів, що передбачаються в процесі реалізації b_{1n} -го технологічного заходу для попередження випадків виробничого травматизму; $\overline{T_{ц\ j}}$ – середньостатистичний штучний час виготовлення деталей на j -му основному технологічному обладнанні ($p = \overline{1, P}$; $j = \overline{1, A}$).

Коефіцієнти ефективності організаційних ($B_{2n2}, n = \overline{1, H}$), санітарно-гігієнічних ($B_{3n2}, n = \overline{1, P}$) та психофізіологічних заходів ($B_{4n2}, n = \overline{1, Q}$) мають суб'єктивний характер і можуть бути визначені за допомогою аналізу експертних оцінок про важливість запропонованих заходів з охорони праці шляхом встановлення експертом відповідних рангів у таблицях. Величини ефективності цих заходів знаходяться в межах 0,75–0,9.

Для визначення коефіцієнтів ефективності технічних заходів B_{1n2} слід провести статистичні дослідження впливу кожного b_{nj} -го заходу на стан травмонебезпеки протягом останніх T років ($t = \overline{1, T}$). Для цього встановлюється значення фактичного коефіцієнта непрацездатності $K_{нт}$ в кожному t -му році ретроспективи і аналізуються причини травматизму. Приймаються значення бульової змінної $\phi_{vn} = 1$, якщо причина травмування v -го випадку виробничого травматизму була б усунута внаслідок своєчасного впровадження n -го заходу; $j_{vn} = 0$ – у іншому випадку. Тоді значення коефіцієнта ефективності:

$$B_{1n2} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V \left(\left(\frac{D_{vt} \cdot 1000}{G_t} \right) \cdot \phi_{vn} \right)}{\sum_{t=1}^T K_{нт}}, \quad (4)$$

де D_{vt} – кількість робочих днів, загублених у зв'язку з непрацездатністю робітником у результаті v -го випадку травматизму в t -му році ретроспективи; G_t – середньспіскова кількість працюючих в t -му році ретроспективи.

Коефіцієнти доцільності впровадження кожного b_{nj} -го заходу з охорони праці для кожного j -го джерела виробничого травматизму зумовлені можливістю практичної реалізації цього заходу з технологічної та конструкторської точок зору. Наприклад, впровадження дистанційної системи управління токарно-гвинторізним верстатом мод. 16К20 повністю вирішує проблему травматизму на цьому робочому місці, однак не може бути реалізоване через відсутність автоматизованої системи управління транспортуванням та завантаженням заготовок, контролю процесу оброблення деталей тощо. Крім того, при встановленні доцільності цього заходу повинен враховуватись досвід та технічні можливості цехових та заводських служб щодо впровадження та експлуатації обладнання, що передбачено реалізацією b_{nj} -го заходу.

Розрахунковий коефіцієнт доцільності впровадження b_{nj} -го заходу для j -го джерела травмонебезпеки визначається за формулою

$$B_{mn3j}^{розр} = k_{TPnj} \cdot k_{KPnj} \cdot k_{TCnj} \cdot k_{ECnj} \cdot k_{Hnj} \cdot \alpha_{jn}, \quad (5)$$

де k_{TPnj} , k_{KPnj} – коефіцієнти, що визначають можливість технологічної та конструкторської реалізації n -го заходу на j -му джерелі травмувань в цеху, відповідно ($k_{TPnj} = 1$; $k_{KPnj} = 1$ – у випадку можливості реалізації; $k_{TPnj} = 0$; $k_{KPnj} = 0$ – у іншому випадку); k_{TCnj} , k_{ECnj} – коефіцієнти технічної та експлуатаційної спадковості впровадження n -го заходу на j -у джерелі травматизму ($k_{TCnj} = 1$; $k_{ECnj} = 1$ за наявності досвіду та можливостей забезпечення впровадження та експлуатації обладнання, передбачених n -м заходом для j -го джерела травматизму, відповідно; $k_{TCnj} < 1$; $k_{ECnj} < 1$ – у іншому випадку); k_{Hnj} – коефіцієнт, що визначає наявність аналогічних систем, обладнання та засобів функціонування на j -му джерелі травматизму, що передбачається умовами впровадження n -го заходу ($k_{Hnj} = 1$ – за умови відсутності аналогічного обладнання на j -му джерелі травматизму; $k_{Hnj} = 0$ у – іншому випадку).

Оскільки дійсний коефіцієнт доцільності впровадження може приймати значення 0 (в разі недоцільності), або 1 (у випадку доцільності), то його визначення здійснюється за умови:

$$\begin{cases} B_{mn3j} = 1, & \text{при умові } B_{mn3j}^{\text{доц}} \geq 0,5; \\ B_{mn3j} = 0, & \text{при умові } B_{mn3j}^{\text{доц}} < 0,5. \end{cases} \quad (6)$$

Коефіцієнт зміни продуктивності роботи j -го обладнання цеху B_{mn4j} враховує зменшення або підвищення продуктивності внаслідок впровадження обладнання, заходів або систем, передбачених в процесі реалізації b -го заходу. Причому $B_{mn4j} = 1$ за відсутності впливу b_{mn} -го заходу на продуктивність роботи j -го джерела травмонебезпеки цеху; $B_{mn4j} > 1$ – за зменшення його продуктивності; $B_{mn4j} < 1$ – за збільшення продуктивності.

Середньостатистичне значення коефіцієнта визначається за формулою

$$B_{mn4j} = \frac{T_{\text{монт } nj} + T_{\text{то } nj} + \overline{T_{\text{шт } j}} \cdot k_{\text{пп } mnj}}{T_{\text{шт } j}}, \quad (7)$$

де $T_{\text{монт } nj}, T_{\text{то } nj}$ – несуміщений час простоювання j -го джерела травматизму (основного технологічного обладнання цеху) внаслідок монтування та технічного обслуговування обладнання, що передбачається в ході впровадження b_{mn} -го заходу відповідно; $\overline{T_{\text{шт } j}}$ – середньостатистичне значення штучного часу роботи j -го джерела травмувань (основного технологічного обладнання цеху); $k_{\text{пп } mnj}$ – коефіцієнт підвищення ($k_{\text{пп } mnj} < 1$) або зменшення ($k_{\text{пп } mnj} > 1$) продуктивності j -го основного технологічного обладнання внаслідок впровадження обладнання та систем, передбачених b_{mn} -м заходом; $\alpha_{jn} = 1$, якщо передбачається впровадження n -го заходу на j -му обладнанні, $\alpha_{jn} = 0$ – в іншому випадку.

Математична модель комплексної структурно-параметричної оптимізації повинна відображати технічні, організаційні, економічні та соціальні аспекти планування системи заходів з охорони праці. За критерій оптимізації слід використати функцію мінімізації загального показника травмонебезпеки l -го виробничого підрозділу підприємства: $R_l \rightarrow \min$. Обмеження та умови математичної моделі повинні відображати можливість технічної та економічної реалізації плану, за умови досягнення найбільшого ефекту від впровадження системи заходів $\{b_{mn}\}$ для умов конкретної виробничої структури, що містить $\{a_{ij}\}$ об'єктивних джерел травматизму.

Загалом математична модель описується так (8а) – (8е):

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^F \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^T (R_{ijk} \cdot B_{mn2jk} \cdot r_{1ijk} \cdot r_{2ijk} \cdot r_{3ijk} \cdot r_{4ij} \cdot a_{jn}) \rightarrow \text{MIN}; \quad (8a)$$

$$\begin{cases} \bigwedge_{i=1}^I ((r_{1ijk} \cdot r_{2ijk} \cdot r_{3ijk}) - (r_{1ijk} \cdot r_{2ijk} \cdot r_{3ijk} \cdot a_{jn})) \geq 0; \\ \forall n = \overline{1, G}; (m = 1); \forall j = \overline{1, F}; (F = A + B + C + D + E); \forall k = \overline{1, K}; \end{cases} \quad (8b)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^F (S_{\text{осн } mn} + S_{\text{доп } mn} + S_{\text{зп } mn} + S_{\text{монт } mn} + S_{\text{пр } mn} + S_{\text{ф } mn} + S_{\text{пп } mn}) \leq [S]; \quad (8b)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \prod_{k=1}^K B_{mn2j} \leq 1; |a_{jn} \neq 0; \\ \forall n = \overline{1, T}; (T = G + H + P + Q); \forall j = \overline{1, F}; (F = A + B + C + D + E); \end{array} \right. \quad (8г)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \wedge_{m=1}^M B_{mn3j} = 1; |a_{jn} \neq 0; \\ \forall n = \overline{1, T}; (T = G + H + P + Q); \forall j = \overline{1, F}; (F = A + B + C + D + E); \end{array} \right. \quad (8д)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^T T_{mnj} \cdot B_{mn4j} \cdot a_{jn} \leq \frac{60 \cdot F_{jb} \cdot h_j}{N}; \\ \forall j = \overline{1, A}; \end{array} \right. \quad (8е)$$

Функція мети (а) являє собою критерій мінімуму інтегрального показника травмонебезпеки обладнання та споруд цілого виробничого підрозділу. Тут прийняті такі позначення:

R_{ijk} – рівень небезпеки j -го джерела травматизму i -ї групи обладнання за k -ю причиною, що змінюється за експотенційним законом;

B_{mn2jk} – коефіцієнт ефективності впровадження n -го заходу m -го виду для j -го джерела травматизму за k -ю причиною;

r_{ijkn} – коефіцієнти, що характеризують наявність або відсутність штатних (r_{1ijkn}) систем захисту; наявність додаткових засобів автоматизації (r_{2ijkn}); умов (r_{3ijkn}) та термінів їх експлуатації (r_{4ij}) після впровадження n -го заходу запобігання травматизму;

$\alpha_{jn} = 1$, якщо передбачається впровадження n -го заходу на j -му обладнанні, $\alpha_{jn} = 0$ – в іншому випадку.

Обмеження (8б) – (8е) становлять такі вимоги:

(8б) – кожен запропонований захід n ($n = \overline{1, T}$) запобігання травматизму обов'язково повинен приводити до збільшення впливу систем захисту, засобів автоматизації робіт та умов експлуатації обладнання на зниження імовірності травмування робітників, що працюють або знаходяться в межах функціонування кожного j -го ($j = \overline{1, F}$) джерела травматизму з кожної k -ї причини ($k = \overline{1, K}$); (r_{1ijk} , r_{2ijk} , r_{3ijk} – коефіцієнти аналогічні до (8а), але до впровадження заходів з охорони праці);

(8в) – економічні витрати на впровадження кожного n -го заходу m -го виду не повинні перевищувати наперед задану граничну суму витрат [S];

(8г) – ефективність усіх заходів повинна бути позитивна, тобто впровадження кожного n -го заходу m -го виду для кожного j -го джерела травматизму повинна забезпечувати зменшення інтегрального рівня травмонебезпеки;

(8д) – усі запропоновані заходи повинні бути доцільними для відповідного j -го джерела травмонебезпеки з можливістю конструкторської та технологічної реалізації плану та з врахуванням його технічної та експлуатаційної спадковості;

(8е) – величина середньостатистичного штучного часу виконання технологічної операції на кожному j -му обладнанні ($j = \overline{1, A}$), змінена внаслідок впровадження обладнання та систем його функціонування, передбачених реалізацією n -го заходу m -го виду не повинна перевищувати такт випуску виробів (F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання для двозмінної роботи основного технологічного обладнання $F_d = 4020$ год; η_j – нормативний коефіцієнт завантаження j -го джерела травматизму ($\eta_j \approx 0,85$); N – річна програма випуску деталей).

Вищенаведена математична модель являє собою задачу цілочисельного нелінійного програмування з бульовими змінними. Алгоритм розв'язання цієї задачі використовує процедуру направлено пошуку за евристичними правилами [1].

Висновки. Запропонована методика комплексної оцінки травмонебезпеки виробничого підрозділу, що дає змогу отримати: структуру кількісних показників травмонебезпеки кожної одиниці обладнання a_{ij} з k -ї причини з врахуванням дійсного стану та умов експлуатації кожного j -го джерела i -го типу; загальний показник рівня травматизму як усього виробничого підрозділу (дільниці, лінії, цеху), так і окремих його складових елементів, об'єднаних за технологічною ознакою (наприклад, група токарних верстатів, піднімально-транспортне обладнання) або за ознакою імовірної появи певного виду травм (електронебезпека обладнання, ситуація щодо можливих дорожньо-транспортних пригод тощо); черговість планування відповідних заходів з охорони праці для найбільш травмонебезпечних джерел з врахуванням причин та наслідків небезпеки їх експлуатації.

1. Александров В.В., Горский Н.Д. *Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных.* – Л.: Наука, 1993. – 208 с. 2. Березуцький В.В., Древаль О.П. *Розробка універсального показника небезпечності устаткування і виробництв // Охорона праці.* – 1996. – №12. – С. 28–38. 3. Давыдов В.Г., Кузьмин А.П. *Система управления охраной труда на машиностроительном предприятии.* – М.: Машиностроение, 1989. – 148 с. 4. Кузьмин В.В. *Безопасность труда и её прогнозирование // Текстильная пром-сть.* – 2005. – №1/2. – С. 11–12. 5. *Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособ. – 3-е изд., испр. и доп. / под ред. О. Н. Русака.* – СПб.: Издательство «Лань», 2000. – 448 с. 6. Glass W. *Das «personliche Risiko» der Feuerwehrleute // Florian Hessen.* – 2008. – № 6. – P. 20–22.

УДК 621.002

Я.О. Шахбазов, А.Є. Стецько

Українська академія друкарства,
кафедра технології матеріалів і поліграфічного машинобудування

ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

© Шахбазов Я.О., Стецько А.Є., 2012

Подано технологічний процес відновлення деталей машин. Проведено комплексний метод, який полягає у попередній чорновій механічній обробці заготовки, хімічній та хіміко-термічній обробці та фінішній механічній обробці, що застосовуються для відповідальних деталей машин з виконавчими поверхнями високої точності та низької шорсткості.

Filed recovery process machine parts. A comprehensive method, which is preliminary roughing machining wood, chemical and chemical-heat treatment and finish machining. Used for critical machine parts with high accuracy executive surfaces and low roughness.

Постановка проблеми. У машинобудуванні є доволі велика частка швидкозношуваних деталей типу тіл обертання (пар тертя), які піддаються певному виду навантаження. Вони вимагають нанесення зміцнювальних покриттів потрібних характеристик відповідно до умов роботи таких пар тертя.

Створення нових технологічних методів підвищення зносостійкості та довговічності деталей машин є пріоритетним напрямком сучасного машинобудування. Ринок вимагає конкурентоспроможних технологій, які, попри свою невисоку вартість та складність, давали б відчутний ефект. Одним з технологічних способів, який відповідає цим вимогам, є відновлення деталей машин комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування. Вона складається із нікелько-