

В.А. ТОЛБАТОВ, О.А. ДОБРОРОДНОВ

Сумський державний університет, Україна

А.В. ТОЛБАТОВ, О.Б. В'ЮНЕНКО

Сумський національний аграрний університет, Україна

С.В. ТОЛБАТОВ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ОЦІНКА ПОВНОТИ ЗАХИСТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД ВІДМОВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ

Розглядаються питання, пов'язані з підвищенням надійності технологічного обладнання з жорсткою та гнучкою логікою для всіх промислових галузей. Проведено оцінку повноти захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, яка дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Запропоновано метод оцінки повноти захисту.

Ключові слова: обладнання, система управління, захист, інформаційна система, управляюча програма.

V.A. TOLBATOV, O.A. DOBRORODNOV

Sumy State University, Ukraine

A.V. TOLBATOV, O.B. VIUNENKO

Sumy National Agrarian University, Ukraine

TOLBATOV S.V.

National aviation university, Kyiv, Ukraine

### ASSESSMENT OF COMPLETENESS OF TECHNOLOGICAL PROTECTION EQUIPMENT DISCLAIMER CONTROL SYSTEM

Annotation The problems associated with the increased reliability of process equipment with rigid and flexible logic for all industrial sectors. The evaluation of completeness of protection for technological equipment of various complexity, which allows to approach the problem of synthesis protection and optimize it. Proposals method for assessing the completeness of defense.

Keywords: equipment, control system, protection, information system, controlling program.

#### Вступ

Розглянуті питання, пов'язані з підвищенням надійності технологічного обладнання з жорсткою та гнучкою логікою для всіх промислових галузей [1-6]. Поступова відмова це відмова що відбувається в результаті повільного, поступового погіршення параметрів об'єкту. Як зазначається в роботі – забезпечення надійності можуть проводитися на стадії проектування, виготовлення та експлуатації об'єкту. Описано метод оцінки допустимих відхилень визначальних параметрів. Наведено приблизний перелік видів захисту для оптимального функціонування обладнання та систем управління.

Мета введення захисту обладнання від відмов, що виникають у системі управління (СУ) та її оцінки – підвищення експлуатаційної надійності СУ, запобігання браку продукції, що випускається, попередження аварії устаткування і травматизму обслуговуючого персоналу [2].

#### ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ ВІДХИЛЕНЬ ВИБРАНИХ ПАРАМЕТРІВ

Допустимі відхилення визначальних параметрів встановлюється виходячи з ефективності функціонування СУ. Нехай ефективність функціонування СУ визначається деяким функціоналом  $E$

$$E = \Phi[x_1, \dots, x_n, f_1(y_1, \dots, y_k), \dots, f_m(y_1, \dots, y_2)] \quad (1)$$

котрий задається параметрами  $\{x_i\}$  і функціями  $\{f_j(y_1, \dots, y_k)\}$ . Якщо припустити, що зміні піддається один з параметрів  $x_i$ , то функція ефективності СУ може бути в загальному випадку зображена графічною залежністю  $E = \Phi[x_i]$  (рис. 1).

Зміна параметра  $x_i$  може привести до такого рівня ефективності  $E_{пр}$ , що використання СУ стає практично недоцільним, і більше того, може зруйнувати керований об'єкт.

Система нерівностей

$$x_{прн} < x_i < x_{прв} \quad (2)$$

визначає область можливого використання СУ при зміні даного параметра. У цьому випадку  $x_{прн}$  та  $x_{прв}$  – нижня і верхня граничні значення параметра  $x_i$ .

В силу того, що в більшості випадків межі граничного стану параметрів розмиті, а захисна реакція СУ не може бути реалізована миттєво, вводиться рівень ефективності  $E_{д}$ , який би охоплював область допустимої зміни визначаючого параметра і відповідно  $x_{дн}$  та  $x_{дв}$  нижню і верхню межю допустимої зміни параметра  $x_i$ . Область допустимої зміни визначаючого параметра повинна вибиратися таким чином, щоб реакція системи захисту виключала б можливість досягнення СУ свого граничного стану. Якщо функціонал

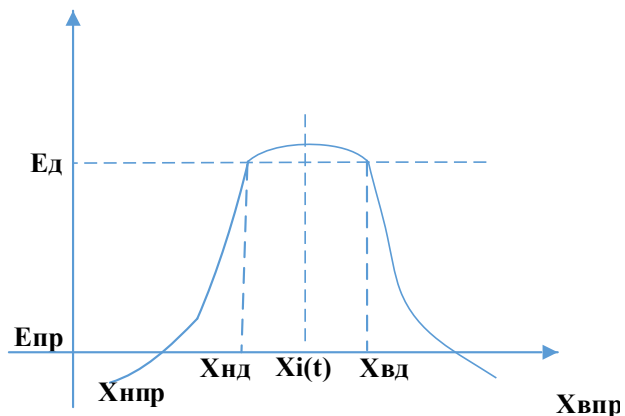


Рис. 1. Графічна залежність функції ефективності системи управління

виражений через функцію змінного параметра  $E=\Phi[f_i(y_i)]$ , то ефективність СУ буде залежати від того, наскільки точно виконується залежність  $[f_i(y_i)]$ . В цьому випадку межа граничного  $\delta_{np}$  і допустимого  $\delta_{gr}$  станів представляють також функції. Система нерівностей визначає область можливого використання СУ при зміні даного параметра.

$$|f_{np}(y_i) - f(y_i)| \leq \delta_{np} \quad (3)$$

$$|f_g(y_i) - f(y_i)| \leq \delta_g \quad (4)$$

Область допустимого відхилення визначального параметра встановлюється виходячи з точності виконання вимог до технологічного процесу. До цих вимог належать: дотримання допусків на розміри оброблюваних поверхонь, встановлених меж відхилення значень швидкості обробки часу перемикання пристроїв. Технологічний процес обробки на обладнанні з жорсткою та гнучкою логікою задається управляючою програмою (УП), яка визначає траєкторію переміщення виконавчого механізму, моменти підключень (перемикань) елементів автоматики. Керуючий вплив, що задається УП перетворюється оператором А цільової функції

$\delta$  в вектор стану системи управління  $\bar{Y}$  (рис. 2). Через неточності перетворення і під впливом зовнішніх збурюючих впливів можлива деяка неузгодженість  $\Delta$  між заданим УП керуючим впливом і реалізованим вектором стану.

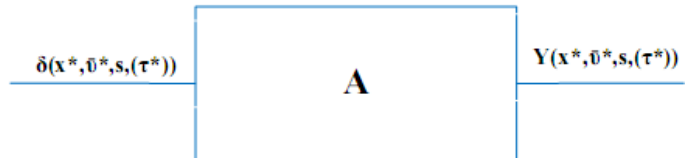


Рис. 2. Система перетворень

$$\delta A - \bar{Y} = \Delta \quad (5)$$

Для забезпечення вимог технологічного процесу необхідно, щоб  $\|\bar{\Delta}\| \leq \delta$ .

Для захисту першого рівня необхідно виконання даної системи нерівностей [6].

Для захисту другого рівня потрібно розбити нерівності на компоненти вектора  $\Delta$ :

$$\begin{cases} \Delta_1 \leq \delta_1 \\ \Delta_n \leq \delta_n \end{cases} \quad (6)$$

і надалі здійснити пряме перетворення допустимих відхилень

$$g_i A = J_i \quad (7)$$

де  $J_i$  - визначаючий параметр. Для захисту третього рівня межі зміни визначального параметра отримують шляхом множення величини допустимого відхилення на коефіцієнти підсилення перетворюючих пристроїв, розташованих між точкою контролю даного визначального параметра і керуючого впливу вздовж напрямку його поширення. Момент спрацювання системи захисту може бути встановлений по моменту перетину визначальним параметром межі допустимого значення. Пропонується два критерії, що визначали б момент спрацювання систем захисту. В основі першого критерію - припущення самого несприятливого випадку, коли в момент виявлення перетину  $x_d$  значення визначального параметра з максимально можливою швидкістю прагнуть до кордону граничного відхилення:

$$|x_d| = |x_{PP}| - \delta_M \quad (8)$$

де  $\delta_M$  - максимальний шлях, який може пройти точка, відображається на осі X значення і-го визначального параметра, за час з моменту відключення впливу що керував до повної зупинка ВМ, якщо в момент відключення управляючого впливу точка мала максимально можливу швидкість і до валу двигуна був прикладений гальмуючий момент  $M_p$ . На підставі закону збереження енергії можна оцінити  $\delta_M$ :

$$\delta_M = \frac{(mv_m^2 + jw^2)r}{2(Mp + r \int_r F(t) dt)} \quad (9)$$

де  $m$  - приведена до осі рухома маса;

$V_m$  - максимальна швидкість зміни визначального параметра;

$j$  - приведений момент інерції двигуна, до якого прикладений момент  $M_p$ ;

$w$  - кутова швидкість обертів вала двигуна приводу;

$r$  - плече гальмуючого моменту;

$F(t)$  - сила різання, приведена до даної осі.

На практиці величина  $\delta_M$  може бути встановлена дослідним шляхом і задана параметрично.

В основу другого критерію покладений наступний алгоритм.

Нехай деякі моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_j$  обробляється інформація  $x_1, x_2, \dots, x_j$  про значення визначального параметра. Тоді в будь-який момент  $t_j$  швидкість зміни визначального параметра дорівнює:

$$V_j = \frac{x_j - x_{j-1}}{\Delta t}; V_{j-1} = \frac{x_{j-1} - x_{j-2}}{\Delta t} \quad (10)$$

$$W_j = \frac{v_j - v_{j-1}}{\Delta t} = \frac{x_j - 2x_{j-1} + x_{j-2}}{\Delta t^2} \quad (11)$$

де  $W_j$  - прискорення зміни визначального параметра.

Припустимо, що при наступному вимірюванні  $x_{j+1}$ , виникає необхідність в аварійній зупинці за рахунок додатку до валу двигуна гальмуючого моменту  $Mp$ . Шлях, який пройде відображаюча точка до повної зупинки, можна обчислити:

$$\delta = \frac{V_{j+1} + V_j}{2} \Delta t + V_{j+1} f(Mp, t) \quad (12)$$

приймавши

$$f(Mp, t) = \frac{K \Delta t}{2}$$

отримаємо

$$\delta = \frac{1+K}{2} (2x_j - 3x_{j-1} + x_{j-2}). \quad (13)$$

Коефіцієнт  $K$  може бути визначений в автоматичному режимі тестування, для цього під час заданого руху з максимальною швидкістю до,  $V_m$  в СУ вводиться команда тестування.

Система управління фіксує в пам'яті поточне значення визначального параметра  $x^*$  і значення  $x^{**}$ , отримане при повній зупинці руху по даній координаті. Визначається верхня оцінка коефіцієнта

$$K^*(Mp) = \frac{|x^{**} - x^*|}{V_m}. \quad (14)$$

У даному випадку  $K^*(Mp)$  відрізняється  $f(Mp, t)$ , проте так як  $K^*$  є верхньою оцінкою, то використання цього значення не послабить нерівності, що описує умови спрацьовування системи захисту.

Алгоритм відключення руху дуже залежить від конструкції обладнання та виду оброблюваної поверхні, однак загальним для всіх є необхідність припинення подачі по всіх каналах управління.

Наприклад, на токарних і фрезерних верстатах в 90% випадків відключення тільки подачі при достатній швидкодії системи захисту виключає брак. У решті 10%, на які припадає обробка складних поверхонь брак не виключається.

#### ОЦІНКА ПОВНОТИ ЗАХИСТУ

Оцінка повноти захисту – одна з основних при визначенні якості системи управління. Вона базується на тому, що СУ повинна відтворювати зміну керуючого впливу на керований об'єкт відповідно до УП при відхиленнях, що не перевершують допустимі значення. Закон зміни керуючого впливу визначається набором функцій, реалізованих системою управління та залежить від виду обладнання, для управління яким призначається дана СУ. При цьому необхідно враховувати клас системи управління. Найбільша повнота захисту повинна бути передбачена в СУ, що призначаються для керування високоавтоматизованим обладнанням, таким, як роботизовані технологічні комплекси, гнучкі виробничі модулі. Системи управління 1-го класу призначені для автоматизованих верстатів, процес обробки на яких проходять в основному в присутності оператора. Тому для таких СУ вимоги до системи захисту можуть бути занижені. В даному випадку достатній захист на функціональному рівні деяких пристроїв, що входять в СУ та приводу подачі. Системами управління 2-го класу оснащуються верстати-напівавтомати, експлуатовані в умовах серійного виробництва. Процес обробки на цих верстатах протікає за значної частки участі оператора, однак меншою мірою, ніж у першому випадку. Для даного класу СУ система захисту може бути також вирішена на функціональному рівні. При цьому захистом повинні бути охоплені контролери, приводи подачі, привід головного руху. Можлива також організація захисту другого рівня. Особливістю систем управління 3-го класу, призначених для верстатів-напівавтоматів, що працюють в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва, - можливість підготовки УП біля верстата за допомогою вбудованих засобів програмування. При цьому частка участі оператора в технологічному процесі максимальна. Системи управління даного класу володіють найбільшим набором функцій і засобів відображення ходу технологічного процесу. В даному випадку найбільш важливим є захист каналів передачі інформації між пристроями підготовки та відображення інформації та контролером. Для решти пристроїв достатньо захисту на функціональному рівні. Відмови систем управління 4-го класу, призначених для складних унікальних верстатів і верстатних модулів, в більшості випадків призводять до значних матеріальних втрат через брак дорогої продукції або через простої автоматичних систем, що працюють у відсутності оператора, який міг би запобігти простою верстата. Незахищена відмова СУ неминуче призводить до поломки верстата. Запобігання великих втрат через відмову СУ виправдовує витрати на максимально повний захист. У СУ даного класу найбільш кращі види захисту більш високого рівня ієрархії.

В якості методу оцінки повноти захисту можна запропонувати метод, заснований на одному з необхідних властивостей системи управління - взаємозамінності функціональних пристроїв СУ. Сутність цього методу полягає в наступному. Після декомпозиції завдання управління на незалежні напрями поширення керуючого впливу вздовж кожного напрямку виділяються функціональні пристрої. Передбачається, що при закінченні розробки системи управління ієрархічна структура системи захисту вже відома [2]. Введемо поняття захищеної структури: захищаєма структура - це частина СУ, яка охоплена захистом.

Таким чином повнота захисту може оцінюватися по правильності та точності виконання функцій при внесенні спотворень в відтворений СУ керуючий вплив при проведенні робіт на перевірку обладнання на геометричну або технологічну точність функціонування обладнання. Випробування проводяться по всьому набору функцій даної системи управління. За їх результатами виноситься висновок про повноту захисту. Якщо отримана оцінка задовольняє вимогам класу обладнання, для якого призначена дана система управління, то СУ рекомендується для подальшого застосування. Якщо оцінка незадовільна, то СУ

допрацьовується методом проведення профілактичного контролю системи захисту для виявлення та усунення цих відмов. Профілактичний контроль виконується за допомогою імітації аварійного сигналу на вході системи захисту. Це дозволяє оцінити справність системи захисту не тільки в процесі періодичного обслуговування, але і при прийнятно-здавальних та інших випробуваннях обладнання у відповідності з затвердженим графіком на його технічне обслуговування. Зміна періодичності перевірок системи захисту дає можливість підвищити надійність всієї системи управління.

В технічній документації на систему управління технологічним обладнанням повинні бути сформульовані вимоги до системи захисту. Система захисту повинна передбачати: предаварійну та аварійну ситуацію на об'єкті управління, яка може виникнути при створенні вихідної керуючої інформації. Дана інформаційна система повинна мати три види спостереження: перше - попередження про відхилення параметрів роботи об'єкта без права відключення, друге - про відключення роботи об'єкта через конкретний термін часу, який спрацює при досягненні граничних параметрів функціонування обладнання, третє - при великих відхиленнях в роботі технологічного об'єкта коли виробляється аварійне відключення об'єкта з його частковою або повною зупинкою. В документації на систему управління необхідно навести повний перелік всіх видів захисту із зазначенням визначальних граничних параметрів:

- умов спрацювання системи захисту (визначальний параметр) та його допустимі відхилення;
- максимального часу необхідного для спрацювання системи захисту.

#### Висновки

Проведено оцінку повноти захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, яка дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Розроблено алгоритм вибору системи захисту для технологічного обладнання з різноманітною складністю, який дозволяє підійти до вирішення задачі синтезу захисту та оптимізувати його. Запропоновано метод оцінки повноти захисту.

Проаналізовані:

- режими захисту, як всієї системи управління, так і визначення аварійних ситуацій по каналах;
- залежність функції ефективності системи управління від визначень допустимих відхилень вибраних параметрів функціонування обладнання;
- система перетворень для визначення допустимих відхилень у роботі технологічного обладнання.

Ці вимоги дозволять підвищити ефективність керування промисловим технологічним обладнанням.

#### Література

1. Толбатов В.А. Методологічні основи вибору критерію параметричної надійності електричних систем управління металорізальним обладнанням / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2010. – №1. – С.37-45.
2. Толбатов В.А. Основні принципи організації захисту технологічного обладнання від відмов у системі управління / В.А. Толбатов, О.А. Добророднов, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко // Вісник ХНУ. Серія технічні науки. – 2015. – №3 (225). – С.46-50.
3. Толбатов В.А. Інженерний синтез за критерієм надійності електричних систем керування металорізальним обладнанням із жорсткою логікою / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2011. – №2. – С.48-54.
4. Толбатов В.А. Техніко-економічне обґрунтування побудови систем управління підвищеної надійності / В.А. Толбатов, А.В. Толбатов, С.В. Толбатов // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2012. – №3. – С.68-71.
5. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Tolbatov S.V. Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmelnytskyi.-2014.-№3 P.132-135.
6. Толбатов А.В. Метод захисту цифрової інформації на основі СЗ / А.В. Толбатов, Т.Л. Щербак // Тезиси докладов Второй Международной научной конференции “Современные методы кодирования в электронных системах”. – Суми : Вид-во СумДУ, 2004. – С. 67–68.

#### References

1. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Metodologichni osnovy` vy`boru kry`teriyu parametry`chnoyi nadijnosti elektry`chny`x sy`stem upravlinnya metalorizal`ny`m obladnannnyam. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`.-2010.-№1.-S.37-45.
2. Tolbatov V.A. Osnovni pryntsy py orhanizatsiyi zakhystu tekhnolohichnoho obladnannya vid vidmov u systemi upravlinnya / V.A. Tolbatov, O.A. Dobrorodnov, A.V. Tolbatov, O.B. V'yunenko // Visnyk KhNU. Seriya tekhnichni nauky. – 2015. – №3 (225). – S.46-50.
3. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Inzhenerny`j sy`ntez za kry`teriyem nadijnosti elektry`chny`x sy`stem keruvannya metalorizal`ny`m obladnannnyam iz zhorstkoyu logikoyu. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`.-2011.-№2.-S.48-54.
4. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Texniko-ekonomichne obrgruntuвання pobudovy` sy`stem upravlinnya pidvy`shhenoyi nadijnosti. // Visny`k SumDU. Seriya texnichni nauky`.-2012.-№3.-S.68-71.
5. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Tolbatov S.V. Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmelnytskyi.-2014.-№3 P.132-135.
6. Tolbatov A.V., Shherbak T.L. Metod zaxy`stu cy`frovoyi informaciyi na osnovi SZK. // Tezisy dokladov 2 Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Sovremennye metody kodirovaniya v elektronnyh sistemah”. – Sumy` : Vy`d-vo SumDU, 2004. – S. 67–68.