

Д.В. Борисюк

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ УДАРНО-СПУСКОВОГО МЕХАНІЗМУ АВТОМАТА КАЛАШНИКОВА

У роботі представлено математичну модель автоматизації процесу визначення технічного стану ударно-спускового механізму автомата Калашникова. Побудовано матрицю діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова та блок-схему її синтезу.

Ключові слова: математична модель, матриця діагностування, аналітична модель, технічний стан, ознаки несправності, автомат Калашникова, ударно-спусковий механізм.

A mathematical model of automation of the process of determining of technical condition of the trigger mechanism of the Kalashnikov rifle is presented in paper. A matrix for diagnosing the Kalashnikov assault mechanism and a block diagram of its synthesis are constructed.

Key words: mathematical model, diagnostic matrix, analytical model, technical condition, signs of malfunction, Kalashnikov assault rifle, trigger mechanism.

Автомат Калашникова є індивідуальною зброєю і призначений для знищення живої сили противника.

Автомат складається з наступних основних частин і механізмів: ствола зі ствольною коробкою, з прицільним пристроєм і прикладом; кришки ствольної коробки; рами затвора з газовим поршнем; затвора; зворотного механізму; газової трубки зі ствольною накладкою; ударно-спускового механізму; цівки; магазину; багнет-ножа [1-4].

Багаторічний досвід експлуатації автоматів Калашникова показав, що найменш довговічним є ударно-спусковий механізм, збільшення ресурсу якого, підвищить експлуатаційні показники автомата.

Метою дослідження є підвищення надійності функціонування такого важливого функціонального блоку автомата Калашникова, яким є ударно-спусковий механізм, за рахунок створення математичної моделі автоматизації процесу визначення технічного стану, яка пов'язує його несправності та ознаки несправностей.

Ударно-спусковий механізм (рис. 1) служить для спуску курка з бойового взводу або з взводу автоспуску, нанесення удару по ударнику, забезпечення ведення автоматичного чи одиночного вогню, припинення стрільби, для запобігання пострілів при незакритому затворі і для встановлення автомата на запобіжник [1-4].



Рисунок 1 - Ударно-спусковий механізм автомата Калашникова

Ударно-спусковий механізм міститься в ствольній коробці, де кріпиться трьома взаємозамінними осями, і складається з курка з бойовою пружиною, сповільнювача курка із пружиною, спускового гачка, шептала одиночного вогню з пружиною, автоспуску з пружиною і перевідника.

Рішення задачі автоматизації логічного процесу постановки діагнозу вимагає розробки моделей механізмів і систем стрілецької зброї як об'єктів діагностування, що описують на одному математичному рівні взаємозв'язки між безліччю можливих несправностей і безліччю значень діагностичних параметрів.

Найбільш універсальною моделлю об'єкта діагностування є представлення його у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву множину значень. Передбачається, що всі можливі стани об'єкта утворюють кінцеву множину станів. В даному випадку об'єкт є «чорним ящиком» не тому, що його внутрішня структура і параметри повністю не відомі, а тому, що накладається заборона на доступ до них і стан об'єкта можна визначати, тільки досліджуючи його вихідні параметри.

Для представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика» необхідно задати (рис. 2): кількість всіх вхідних дій Y від стимулюючих пристроїв і зовнішнього середовища; кількість

всіх вихідних ознак несправності S ; кількість всіх несправностей об'єкта діагностування X ; оператор A , який перетворює кількості X та Y в кількість S :

$$S = A\{Y, X\}. \quad (1)$$

За даними ознаками несправності S_1, S_2, \dots, S_n , отриманих в результаті відповідних вимірювань, можна визначити технічний стан (несправності) об'єкта діагностування X_1, X_2, \dots, X_m ,



Рисунок 2 - Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Система рівнянь (2) є математичною моделлю об'єкта діагностування, що має m структурних параметрів і n діагностичних сигналів.

Очевидною перевагою процесу визначення технічного стану з використанням аналітичної моделі є можливість отримання конкретної несправності об'єкта діагностування, що дозволяє визначити технічний стан об'єкта не тільки в момент діагностування, але і, накопичуючи інформацію, отриману за кілька діагностичних обстежень об'єкта, аналізувати зміну структурних параметрів з метою прогнозування його технічного стану.

Однак практичне використання такої аналітичної моделі поки обмежено.

У ряді робіт з діагностування машин і механізмів, можливі технічні стани (несправності) агрегатів і систем та ознаки цих несправностей описуються у вигляді так званих діагностичних матриць.

З досвіду багаторічної експлуатації автоматів Калашникова всіх модифікацій в табл. 1 представлена матриця діагностування ударно-спускового механізму [1-6].

Таблиця 1 - Матриця діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова

Несправність механізму	Ознака несправності ударно-спускового механізму автомата Калашникова											
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}
x_1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x_5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
x_6	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
x_7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x_8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{10}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x_{11}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
x_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
x_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
x_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

В матриці (див. табл. 1) позначимо наступні несправності ударно-спускового механізму автомата Калашникова: x_1 - скруглення або скришеність бойового взводу курка чи шептала; x_2 - осідання або злам пружини шептала; x_3 - вигин, злам сектора або скручення перевідника; x_4 - скруглення або скришеності фігурного виступу спускового гачка; x_5 - осідання бойової пружини;

x_6 - злам бойової пружини; x_7 - знос поршня штока або циліндра газової камери; x_8 - сліди іржі або раковини в патроннику; витік порохових газів між газовою камерою і стволом; знос або округлення взводу автоспуску курка або шептала автоспуску, що викликають неутримання курка на автоспуску; вигин важеля автоспуску, що викликає тертя важеля об стінки ствольної коробки і магазину; осідання або злам пружини автоспуску; знос або зминання кінця важеля автоспуску; x_9 - вигин стрижня направляючої поворотної пружини; x_{10} - підвищена жорсткість пружини або тертя спускового гачка об стінку вікна в ствольній коробці; x_{11} - знос, зминання або злам бойка ударника; x_{12} - вигин перевідника; x_{13} - злам довгого пера пружини автоспуску; x_{14} - осідання або злам пружини уповільнювача; x_{15} - вигин осі засувки.

Також в матриці (див. табл. 1) вводимо ознаки вище вказаних несправностей: S_1 - мимовільна автоматична стрільба або здвоєні постріли при встановленні перемикача на одиночне ведення вогню; S_2 - курок не стає на бойове взведення; S_3 - відсутність автоматичного вогню при встановленні перемикача на автоматичний вогонь; S_4 - курок не зводиться з бойового взведення; S_5 - слабкий спуск курка з бойового взведення; S_6 - важкий спуск курка з бойового взведення; S_7 - осічка; S_8 - спусковий гачок не повертається в переднє положення; S_9 - перевідник не утримується в заданому положенні; S_{10} - виштовхування осей ударно-спускового механізму; S_{11} - уповільнювач неенергійно повертається в переднє положення; S_{12} - заклинення засувки сповільнювача.

Як видно з табл. 1, кожна несправність характеризується певною комбінацією значень її ознак, які можуть приймати два умовних значення «0» або «1».

На перетині i -го рядка і j -го стовпця ставиться «1», якщо при наявності i -ої несправності спостерігається вихід j -ої ознаки з області її допустимих значень, в протилежному випадку ставиться «0».

Для синтезу такої матриці необхідно нескінченну кількість технічних станів об'єкта замінити кінцевою множиною технічних станів, кожний з яких пов'язано з певною несправністю (або їх комбінацією) або з працездатним станом (рис. 3).

Таке перетворення може бути записано у вигляді

$$\{x_i\}_k = F_x \{x_i\}, \quad (3)$$

де $\{x_i\}$ - множина ознак технічних станів об'єкта діагностування, кожна з яких може приймати в загальному випадку нескінченну кількість значень;

$\{x_i\}_k$ - кінцева множина ознак технічних станів об'єкта діагностування, кожна з яких може приймати лише два умовних значення «0» і «1», які відповідають відсутності та наявності i -ої несправності;

$$i = 1, 2, \dots, m;$$

F_x - оператор, який перетворює кількість $\{x_i\}$ в кількість $\{x_i\}_k$ наступним чином: для будь-якого i -го параметру x_i присвоюється значення «0», якщо величина лежить в області допустимих значень, в протилежному випадку присвоюється значення «1».

Перетворення нескінченної кількості значень параметрів вихідних процесів в кінцеву кількість значень діагностичних параметрів може бути записано у вигляді

$$\{s_j\}_k = F_s \{s_j\}, \quad (4)$$

де $\{s_j\}$ - кількість ознак вихідних процесів, кожна з яких може приймати в загальному випадку нескінченну кількість значень в певному інтервалі;

$\{s_j\}_k$ - кінцева кількість діагностичних ознак, кожна з яких може приймати тільки два умовних значення «0» і «1»;

$$j = 1, 2, \dots, n;$$

F_s - оператор, що перетворює кількість $\{s_j\}$ в кількість $\{s_j\}_k$ наступним чином: будь-якій j -ій ознаці s_j присвоюється умовне значення «0», якщо величина лежить в області значень, що відповідають справному стану об'єкта діагностування, в протилежному випадку присвоюється значення «1».

В результаті проведених перетворень отримано два кінцевих значення $\{x_i\}_k$ і $\{s_j\}_k$, елементи яких певним чином пов'язані один з одним.

У загальному вигляді цей зв'язок може бути виражений у вигляді

$$\{s_j\}_k = \Phi \{x_i\}_k \quad (5)$$

де Φ - оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів.

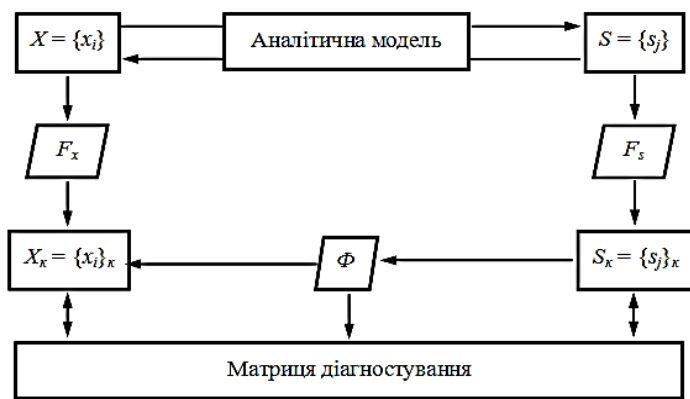


Рисунок 3 - Блок-схема синтезу матриці діагностування:

$X = \{x_i\}$ - нескінченна кількість технічних станів об'єкта;

$X_k = \{x_i\}_k$ - кінцева кількість технічних станів;

$S = \{s_j\}$ - нескінченна множина ознак технічних станів об'єкта;

$S_k = \{s_j\}_k$ - кінцева множина ознак технічних станів об'єкта

F_x - оператор, перетворюючий кількість $\{x_i\}$ в кількість $\{x_i\}_k$;

F_s - оператор, що перетворює кількість $\{s_j\}$ в кількість $\{s_j\}_k$;

Φ - оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів

Перетворення (5) відображає функціонування будь-якого технічного об'єкта як перетворювача кількості структурних параметрів у кількість діагностичних параметрів і є модифікацією моделі (1).

Перетворення (5) можна розгорнути за допомогою системи (2).

Система рівнянь (2) пов'язує кожен знак несправності S_j з усіма структурними параметрами об'єкта діагностування, що відображає зв'язки між структурними параметрами і діагностичними сигналами.

Матриця діагностування, як модель об'єкта діагностування, показує, що вона є по суті справи табличною формою запису системи рівнянь (1).

Параметр S_1 в матриці діагностування можна розглядати як двозначну булеву функцію, яка залежить від аргументів x_1, x_2, x_3 . Булева функція залежить від аргумента x_1 , якщо має місце співвідношення $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_m) \neq \varphi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_m)$

Як впливає з цього визначення та табл. 1, S_1 істотно залежить тільки від x_1, x_2, x_3 .

Залежність $S_1 = \varphi_1(x_1, x_2, x_3)$ виражається в даному випадку в вигляді функції логічного додавання (диз'юнкція):

$$S_1 = x_1 + x_2 + x_3.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (2) для даної матриці діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_2 + x_3; & S_4 = x_5 + x_6 + x_9; & S_7 = x_5 + x_6 + x_7 + x_{11}; & S_{10} = x_{13}; \\ S_2 = x_1 + x_4 + x_5 + x_6; & S_5 = x_1 + x_4 + x_5; & S_8 = x_5 + x_6; & S_{11} = x_{14}; \\ S_3 = x_3 + x_7 + x_8; & S_6 = x_{10}; & S_9 = x_{12}; & S_{12} = x_{15}. \end{cases} \quad (6)$$

Всі послідовні перетворення, що призводять до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 3). У тому випадку, коли модель об'єкта діагностування представлена у вигляді діагностичної матриці, діагностична задача формулюється наступним чином.

За даними ознаками несправностей S_1, S_2, \dots, S_n отриманими при діагностичному обстеженні, потрібно визначити несправності x_1, x_2, \dots, x_m в момент перевірки, якщо відомі функціональні залежності між діагностичними параметрами і всіма структурними параметрами, що задані у вигляді діагностичної матриці або системи рівнянь типу (6). Кожен структурний параметр і кожен діагностичний параметр приймає тільки два значення: «0» або «1».

Очевидно що для вирішення діагностичної задачі необхідне зворотне перетворення кількості діагностичних параметрів в кількість структурних параметрів, тому що при постановці діагнозу відомими є саме значення діагностичних параметрів.

У загальному вигляді зворотне перетворення можна представити виразом $\{x_i\}_k = \Phi^{-1}\{s_j\}_k$, або в розгорнутому вигляді

$$\begin{cases} x_1 = f_1(S_1, S_2, \dots, S_n); \\ x_2 = f_2(S_1, S_2, \dots, S_n); \\ x_m = f_m(S_1, S_2, \dots, S_n). \end{cases} \quad (7)$$

Вид функцій f_m неважко встановити в кожному конкретному випадку на основі наступних міркувань.

У діагностичній матриці (див. табл. 1) розглянемо окремо один із стовбців, наприклад, перший. З матриці видно, що наявність несправності x_1 викликає одночасно вихід ознак S_1, S_2 та S_5 з області їх допустимих значень. Значення інших діагностичних параметрів при наявності тільки несправності x_1 залишаються в межах норми. Значить x_1 є булевою функцією, в даному випадку кон'юнкція (або функцією логічного множення):

$$x_1 = S_1 S_2 S_5.$$

Відповідний аналіз всіх інших стовбців розглянутої матриці дозволяє зворотне перетворення (3) записати в вигляді системи булевих функцій (кон'юнкцій):

$$\begin{cases} x_1 = S_1 S_2 S_5; & x_4 = S_2 S_5; & x_7 = S_3 S_7; & x_{10} = S_6; & x_{13} = S_{10}; \\ x_2 = S_2; & x_5 = S_2 S_4 S_5 S_7 S_8; & x_8 = S_3; & x_{11} = S_7; & x_{14} = S_{11}; \\ x_3 = S_1 S_3; & x_6 = S_2 S_4 S_7 S_8; & x_9 = S_4; & x_{12} = S_9; & x_{15} = S_{12}. \end{cases} \quad (8)$$

Як видно з цього прикладу, процес постановки діагнозу на основі моделі об'єкта діагностування, вираженої у вигляді діагностичної матриці, складається з наступних етапів:

- шляхом відповідних вимірювань і перетворень (4) встановлюються ознаки всіх несправностей S_1, S_2, \dots, S_n ;
- значення діагностичних параметрів підставляються в систему булевих функцій (7);
- обчислюються значення всіх булевих функцій несправностей x_i ($i = 1, 2, \dots, m$) причому якщо $x_i = 1$, то в об'єкті є i -та несправність.

Повертаючись до блок-схеми синтезу матриці діагностування (див. рис. 3), можна сформулювати в загальному вигляді умову здійснення діагностування наступним чином: для здійснення діагностування достатньо, щоб зворотне перетворення кількості ознак несправностей у кількість структурних параметрів (несправностей) об'єкта було однозначним.

Якщо при синтезі діагностичної матриці не виконана ця умова і в системі (7) є дві або більше рівних функцій, то перелік діагностичних параметрів необхідно доповнити новим параметром, який увійшов би в якості додаткового аргументу тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

Список використаних джерел

1. Руководство по 5,45-мм автоматам Калашникова АК74, АК74М, АКС74, АКС74У, АК74Н, АК74Н1, АК74Н2, АК74Н3, АКС74Н, АКС74Н1, АКС74Н2, АКС74Н3, АКС74УН2 и 5,45-мм ручным пулеметам Калашникова РПК74, РПК74М, РПКС74, РПК74Н, РПК74Н1, РПК74Н2, РПК74Н3, РПКС74Н, РПКС74Н1, РПКС74Н2, РПКС74Н3. – М.: Военное издательство, 2001. – 259 с.
2. Наставление по стрелковому делу. 7,62-мм модернизированный автомат Калашникова. – М.: Военное издательство МО СССР, 1967. – 176 с.
3. Уолтер Дж. Оружие Калашникова: Автоматы, пулеметы, снайперские винтовки, охотничьи карабины / Дж. Уолтер. – М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, 2001. – 144 с.
4. Кассанелли И.К. Современное огнестрельное оружие / И.К. Кассанелли. – Х.: Книжный Клуб «Клуб Семейного Досуга», 2013. – 304 с.
5. Ковтун А.В. Надійність озброєння та бойової техніки / А.В. Ковтун. – Х.: Військ. ін.-т ВВ МВС України, 2005. – 86 с.
6. Музичук В.А. Організація експлуатації озброєння військ ППО Сухопутних військ. Ч. I. Експлуатаційно-технічні показники озброєння та методи їх оцінки / В.А. Музичук, А.В. Круглов, О.Л. Смірнов. – Х.: ХВУ, 2001. – 78 с.

Борисюк Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту факультету машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, 21021, м. Вінниця, вул. Воїнів–Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: bddv@ukr.net.

Borysiuk Dmytro, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Automobiles and Transport Management, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, 21021, Vinnytsia, Warriors-Internationalists str., 7, room 3222, e-mail: bddv@ukr.net.