

Д.В. Борисюк

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ УДАРНО-СПУСКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПІСТОЛЕТА МАКАРОВА

Анотація.

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

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

Abstract.

A mathematical model of the process of determining of technical condition of the trigger mechanism of the Makarov pistol is presented in paper. A matrix for diagnosing the shock-trigger mechanism of the Makarov pistol and a block diagram of its synthesis were built.

Key words: mathematical model, diagnostic matrix, analytical model, technical condition, signs of malfunction, Makarov pistol, trigger mechanism.

Пістолет Макарова (ПМ) є особистою зброєю нападу та захисту, призначений для ураження противника на коротких відстанях [1-5]. Перевагою пістолета, створеного Миколою Федоровичем Макаровим, є надійність роботи в найважчих умовах експлуатації. Дану якість було доведено не тільки на випробуваннях і при експлуатації в діючій армії, а й в суворих бойових умовах. Першим великим військовим конфліктом, в якому взяв участь ПМ, в значних кількостях, стала В'єтнамська війна. У неймовірно суворих умовах війни в джунглях Південно-Східної Азії пістолет Макарова продемонстрував відмінну надійність. А потім і в Афганістані, при мінімальному догляді і попаданні піску, ПМ працював безвідмовно. У Першій і Другій чеченських війнах пістолет Макарова знову довів свою надійність. Звичайно, при сильному забиванні брудом патронника, дзеркала затвора-кожуха, пазів рами і затвора-кожуха, пружини викидача, затримки іноді відбуваються, але більшість з них викликано недбалим поводженням зі зброєю та іншими недоліками з вини власника [6-9].

На початку 1990-х років, в результаті розвалу Радянського Союзу і значного скорочення державних замовлень для армії і правоохоронних органів, ВАТ «Іжевський механічний завод» почав виготовлення експортних варіантів пістолета Макарова, для цивільного ринку зброї. Такі пістолети відрізнялися в основному наявністю регульованого в двох площинах цілика і збільшеними щічками рукоятки з виступами під великий палець.

В 1994 році для Збройних сил Росії була запропонована модифікація пістолета Макарова – ПММ-8 і ПММ-12. У даних пістолетів посилена рамка і збільшена маса затвора. Патронник ПММ оснащений спіралеподібними канавками, що дозволяє використовувати для стрільби високоімпульсні патрони 9×18 мм ПММ. Максимальний тиск в каналі ствола пістолета при новому патроні збільшився на 15%, що дещо збільшило віддачу.

Сучасна версія ПМ – пістолет ВАІКАЛ-442, випускається в основному на експорт.

Пістолет Макарова складається з наступних основних частин і механізмів (рис. 1): рамки зі стволом і спусковою скобою; затвора з ударником, викидачем і запобіжником; поворотної пружини; ударно-спускового механізму; рукоятки з гвинтом; затримки затвора; магазину [1-5].

Багаторічний досвід експлуатації пістолетів Макарова показав, що найменш довговічним є ударно-спусковий механізм (УСМ), збільшення ресурсу якого, підвищить експлуатаційні показники пістолета.

Метою дослідження є контроль надійності функціонування такого важливого функціонального блоку пістолета Макарова, яким є ударно-спусковий механізм, за рахунок створення математичної моделі діагностування його вузлів та деталей, яка пов'язує несправності та ознаки несправностей.

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.

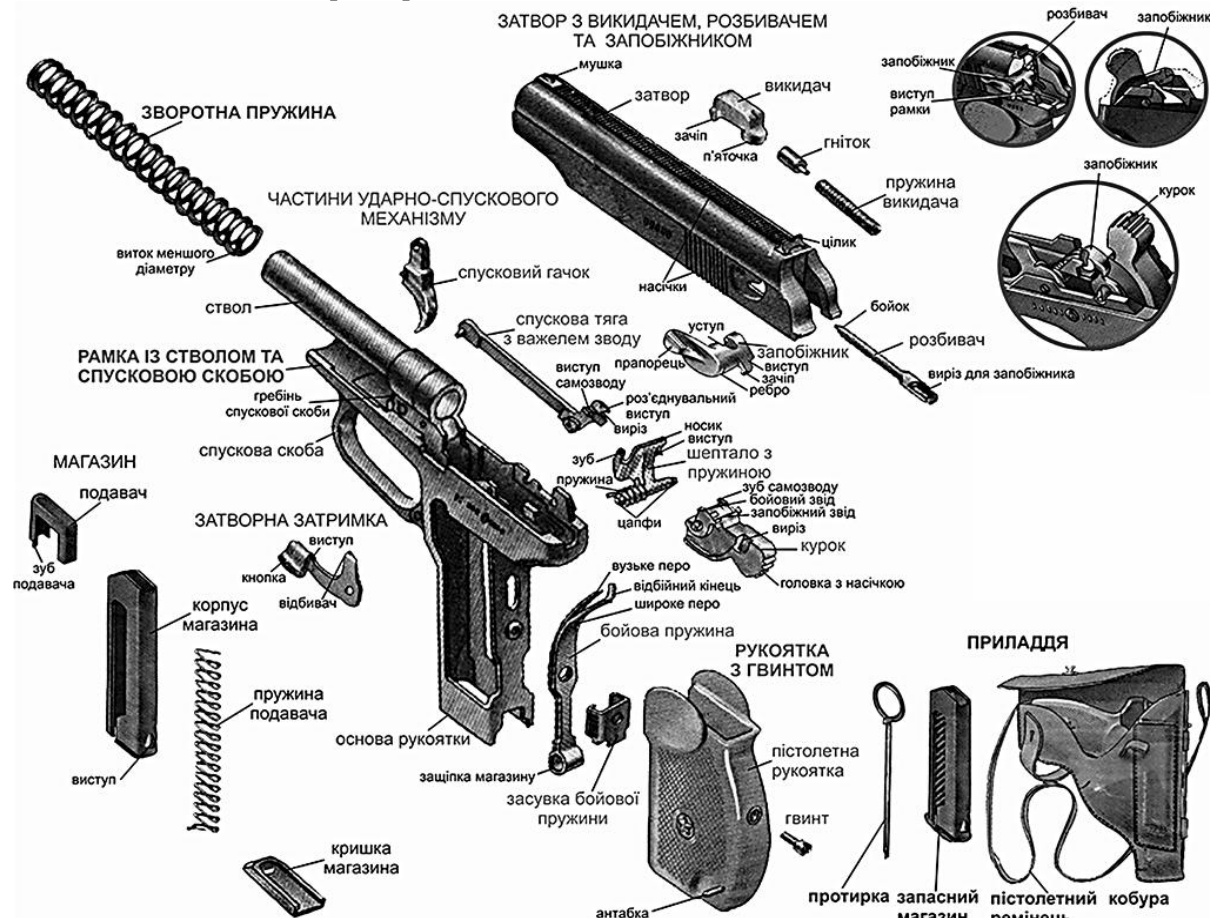


Рисунок 1 – Основні частини і механізми 9-мм пістолета Макарова (ПМ) [2, 3]

Заміна об'єкта діагностування моделлю пов'язана з виділенням основних, істотних для постановки діагнозу елементів і властивостей, пов'язаних із завданням визначення дійсного технічного стану об'єктів. При цьому деяка кількість елементів і зв'язків об'єкта, виключно важливих з точки зору його функціонування як пристрою, призначеного для виконання певної роботи, стають другорядними і при розробці моделі технічного пристрою, як об'єкта діагностування, можуть бути виключені.

Заміна реальних технічних пристроїв їх ідеалізованими моделями дозволяє широко використовувати різні математичні методи. Під математичною моделлю об'єкта діагностування слід розуміти безліч аналітичних, логічних, статистичних, графічних і взагалі будь-яких якісних співвідношень, які пов'язують вихідні параметри об'єкта з його вхідними і внутрішніми параметрами.

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 (без розбирання) [10-15].

Для представлення об'єкта діагностики 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 :

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

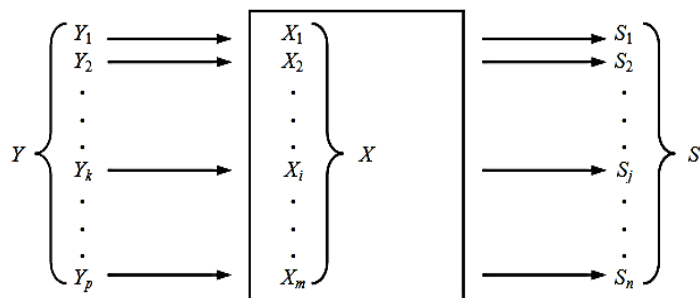


Рисунок 2 – Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Враховуючи, що при діагностуванні елементи кількості Y стабілізуються (або змінюються по заданому закону), вираз (1) перетвориться у вид

$$S = A\{X\}. \quad (2)$$

Іншими словами, будь-який вихідний параметр об'єкта діагностування є функцією його технічного стану при даному стані входів.

Якщо несправність об'єкта діагностування $\{X_i\}$ віднести до вихідних параметрів

автоматизованої системи, то діагностична задача формулюється наступним чином: по відомим ознакам несправності $\{S_j\}$ визначити невідомі несправності об'єкта діагностування $\{X_i\}$.

Для успішного вирішення цього завдання необхідно знати вид оператора A , іншими словами, необхідний вичерпний опис зв'язків між усіма вихідними параметрами і всіма можливими станами (несправностями) об'єкта.

Нижче описується ряд моделей об'єктів діагностування, що відрізняються один від одного різними формами опису зазначених зв'язків.

При наявності аналітичної моделі об'єкта діагностування завдання постановки діагнозу в загальному вигляді формулюється таким чином.

За даними ознаками несправності S_1, S_2, \dots, S_n , отриманих в результаті відповідних вимірювань, визначити технічний стан (несправності) об'єкта діагностування X_1, X_2, \dots, X_m , якщо відомі функціональні залежності між кожним діагностичним сигналом і структурними параметрами:

$$\begin{cases} S_1 = \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ S_2 = \varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ \dots \\ S_j = \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_m); \\ \dots \\ S_n = \varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_m). \end{cases} \quad (3)$$

Система рівнянь (3) є математичною моделлю об'єкта діагностування, що має m структурних параметрів і n діагностичних сигналів.

Очевидною перевагою постановки діагнозу 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 в силу таких обставин:

- вид функцій φ_j для більшості вузлів і механізмів поки не встановлений;
- якщо функція φ_j не задовольняє умовам безперервності і диференціювання по кожному з своїх аргументів, що зазвичай має місце в реальних моделях, то рішення системи рівнянь (3) пов'язано з великими математичними труднощами;
- більшість діагностичних параметрів, в принципі не можуть бути виражені у вигляді аналітичних функцій структурних параметрів.

У ряді робіт з технічного діагностування машин і механізмів, можливі технічні стани (несправності) агрегатів і систем та ознаками цих несправностей описуються у вигляді так званих діагностичних матриць [13-24].

З досвіду багаторічної експлуатації пістолетів Макарова всіх модифікацій в табл. 1 представлена матриця діагностування ударно-спускового механізму [1-4].

В матриці (див. табл. 1) позначимо наступні несправності ударно-спускового механізму пістолета Макарова: x_1 - ослаблення або злам пружини шептала; x_2 - скруглення шептала або

бойового зводу курка; x_3 - знос роз'єднувального виступу важеля зводу або виступу для роз'єднання важеля зводу на затворі; x_4 - передчасний поворот шептала поличкою уступа запобіжника при ввімкненні запобіжника; x_5 - ослаблення або злам вузького або широкого пера бойової пружини; x_6 - вигин спускової тяги; x_7 - змінання або знос виступу шептала чи вирізу на важелі зводу; x_8 - забоїни на шепталі або бойовому зводі курка; x_9 - вигин вузького або широкого пера бойової пружини назад; x_{10} - забоїни на поличці для спускової тяги в рамці; x_{11} - вм'ятини на бічних стінках корпусу магазину; x_{12} - забоїни на цапфових гніздах в рамці або на цапфах шептала; x_{13} - ослаблення або злам широкого пера бойової пружини; x_{14} - відсутність виїмки з правого боку гребеня затвора (у пістолетів перших випусків); x_{15} - відгин або злам вигнутого кінця широкого пера бойової пружини; забоїни на запобіжному зводі курка; затирання вигнутого кінця широкого пера бойової пружини в заглибленні курка; x_{16} - скруглення шептала або запобіжного зводу курка; x_{17} - важке обертання важеля зводу на цапфі спускової тяги; x_{18} - забоїни на цапфових гніздах для цапф курка в рамці або на цапфах курка; x_{19} - ослаблення або злам вузького пера бойової пружини; x_{20} - скруглення або скришеність виступу самозводу важеля зводу; скруглення або скришеність зуба самозводу курка; x_{21} - верхній кінець спускового гачка впирається в стінку кривого паза рамки до зриву курка з виступу самозводу важеля зводу; x_{22} - скруглення або скришеність виступу на курку для запирання курка запобіжником; скруглення або скришеність зачепа для запирання курка запобіжником; x_{23} - знос зуба шептала або полички уступа запобіжника; x_{24} - передчасний поворот шептала поличкою уступа запобіжника при ввімкненні запобіжника; змінання стінок вирізу на головці курка; x_{25} - змінання або скрошеність бойка ударника; x_{26} - знос бойка ударника; ослаблення або злам широкого пера бойової пружини; забоїни в вирізі на головці курка або на виступі запобіжника; тертя курка об стінки затвора або рамки; передчасний зрив курка з виступу самозводу важеля зводу; зміщення щічок рукоятки назад (у пістолетів перших випусків); x_{27} - ослаблення або злам фіксатора запобіжника; скруглення країв виїмок для фіксатора запобіжника на затворі; заклинювання ударника запобіжником.

Таблиця 1 – Матриця діагностування ударно-спускового механізму пістолета Макарова

Несправність УСМ ПМ	Ознака несправності ударно-спускового механізму пістолета Макарова																		
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}
x_1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
x_2	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
x_3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
x_7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_8	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{10}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
x_{11}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
x_{12}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{13}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{14}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{15}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{18}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
x_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
x_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x_{21}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x_{22}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x_{23}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
x_{24}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

x_{25}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
x_{26}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
x_{27}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Також в матриці (див. табл. 1) вводимо ознаки вище вказаних несправностей: S_1 - курок не ставиться на бойовий звід при відпущеному спусковому гачку і вимкненому запобіжнику; S_2 - курок не ставиться на бойовий звід при відведенні затвора назад і при витиснутому до відмови назад спусковому гачку; S_3 - передчасний зрив курка з бойового зводу при ввімкненні запобіжника; S_4 - курок не спускається з бойового зводу; S_5 - курок туго спускається з бойового зводу; S_6 - курок легко спускається з бойового зводу; S_7 - курок зривається з бойового зводу; S_8 - курок не стає на запобіжний звід; S_9 - курок зривається з запобіжного зводу; S_{10} - курок не повертається виступом самозводу важеля зводу при ввімкненому запобіжнику; S_{11} - курок туго повертається виступом самозводу важеля зводу; S_{12} - курок передчасно зривається з виступу самозводу важеля зводу; S_{13} - курок не зривається з виступу самозводу важеля зводу при натисканні на спусковий гачок до відмови назад; S_{14} - курок зводиться при ввімкненому запобіжнику; S_{15} - курок не спускається з бойового зводу при ввімкненому запобіжнику; S_{16} - курок не блокується виступом запобіжника; S_{17} - спусковий гачок після припинення натискання на нього не зайняв свою попередню позицію; S_{18} - осічки; S_{19} - довільна автоматична стрільба або здвоєні постріли.

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

$$\{x_i\}_k = F_x \{x_i\}, \quad (4)$$

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» або «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

$$\{s_j\}_k = F_s \{s_j\}, \quad (5)$$

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» або «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

$$\{s_j\}_k = \Phi \{x_i\}_k, \quad (6)$$

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

Перетворення (6) відображає функціонування будь-якого технічного об'єкта як перетворювача кількості структурних параметрів у кількість діагностичних параметрів і є модифікацією моделі (1).

Перетворення (6) можна розгорнути за допомогою системи (3).

Система рівнянь (3) пов'язує кожну ознаку 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 випливає з цього визначення та табл. 1, S_1 істотно залежить тільки від x_1, x_2 .

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

$$S_1 = x_1 + x_2.$$

Відповідний аналіз інших ознак несправностей дозволяє записати систему рівнянь (3) для даної матриці діагностування ударно-спускового механізму пістолета Макарова у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_2; & S_8 = x_{15}; & \\ S_2 = x_1 + x_2 + x_3; & S_9 = x_1 + x_{16}; & S_{15} = x_{23}; \\ S_3 = x_2 + x_4; & S_{10} = x_5 + x_6 + x_{17}; & S_{16} = x_{24}; \\ S_4 = x_5 + x_6 + x_7 + x_8; & S_{11} = x_6 + x_9 + x_{10} + x_{17}; & S_{17} = x_6 + x_{10} + x_{11} + x_{19}; \\ S_5 = x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12}; & S_{12} = x_6 + x_{19} + x_{20}; & S_{18} = x_{18} + x_{25} + x_{26}; \\ S_6 = x_1 + x_2 + x_{13}; & S_{13} = x_6 + x_{21}; & S_{19} = x_1 + x_2 + x_{25} + x_{27}. \\ S_7 = x_1 + x_2 + x_{14}; & S_{14} = x_{22}; & \end{cases} \quad (7)$$

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.

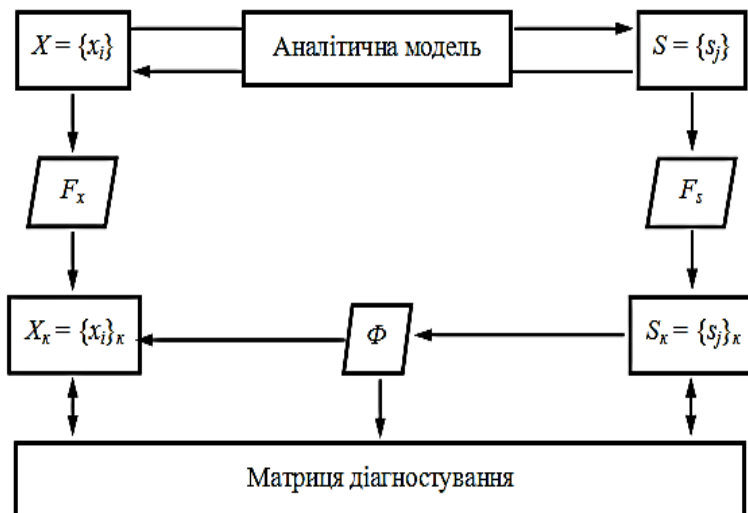


Рисунок 3 – Блок-схема синтезу матриці діагностування:

$X = \{x_i\}$ - 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.

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 (7). 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

$$\begin{cases} x_1 = f_1(S_1, S_2, \dots, S_n) \\ x_2 = f_2(S_1, S_2, \dots, S_n) \\ \dots \\ x_m = f_m(S_1, S_2, \dots, S_n) \end{cases} \quad (8)$$

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, S_6, S_7, S_9 та S_{19} 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):

$$x_1 = S_1 S_2 S_6 S_7 S_9 S_{19}.$$

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

$$\begin{cases} x_1 = S_1 S_2 S_6 S_7 S_9 S_{19}; & x_{10} = S_5 S_{11} S_{17}; & x_{19} = S_{12} S_{17}; \\ x_2 = S_1 S_2 S_3 S_6 S_7 S_{19}; & x_{11} = S_3 S_{17}; & x_{20} = S_{12}; \\ x_3 = S_2; & x_{12} = S_5; & x_{21} = S_{13}; \\ x_4 = S_3; & x_{13} = S_6; & x_{22} = S_{14}; \\ x_5 = S_4 S_{10}; & x_{14} = S_7; & x_{23} = S_{15}; \\ x_6 = S_4 S_5 S_{10} S_{11} S_{12} S_{13} S_{17}; & x_{15} = S_8; & x_{24} = S_{16}; \\ x_7 = S_4; & x_{16} = S_9; & x_{25} = S_{17}; \\ x_8 = S_4 S_5; & x_{17} = S_{10}; & x_{26} = S_{18}; \\ x_9 = S_5 S_{11}; & x_{18} = S_{11} S_{18}; & x_{27} = S_{19}. \end{cases} \quad (9)$$

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 (5) встановлюються ознаки всіх несправностей S_1, S_2, \dots, S_n ;
- значення діагностичних параметрів підставляються в систему булевих функцій (8);
- 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 (8) 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.

Розроблена математична модель процесу визначення технічного стану ударно-спускового механізму пістолета Макарова, дозволить виявити несправності в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін експлуатації пістолета.

Список використаних джерел

1. *Наставление по стрелковому делу. 9-мм пистолет Макарова*. Москва, Россия: Военное издательство МО СССР, 1968, 103 с.
2. *Оружие ближнего боя России*. Москва, Россия: Издательство НО «Ассоциации «Лига содействия оборонным предприятиям», 2010, 660 с.
3. В. Шунков, *Боевое и служебное оружие России*. Москва, Россия: Эксмо, 2012, 520 с.

4. *Руководство по ремонту 9-мм пистолета Макарова (ПМ)*. Москва, Россия: Военное издательство МО СССР, 1956, 65 с.
5. И.К. Кассанелли, *Современное огнестрельное оружие*. Харьков, Украина: Книжный Клуб «Клуб Семейного Досуга», 2013, 304 с.
6. А.В. Ковтун, *Надійність озброєння та бойової техніки*. Харків, Україна: Військ. ін.-т ВВ МВС України, 2005, 86 с.
7. В.А. Музичук, А.В. Круглов, та О.Л. Смірнов, *Організація експлуатації озброєння військ ППО Сухопутних військ. Ч. I. Експлуатаційно-технічні показники озброєння та методи їх оцінки*. Харків, Україна: ХВУ, 2001, 78 с.
8. Д.Н. Болотин, *Советское стрелковое оружие*. Москва, Россия: Воениздат, 1983, 304 с.
9. В.І. Семенюк, та Г.Б. Гишко, *Стрілецька зброя механізованих підрозділів*. Харків, Україна: ХУПС, 2010, 304 с.
10. А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, и И.И. Габитов, *Диагностика и техническое обслуживание машин*. Москва, Россия: Издательский центр «Академия», 2008, 432 с.
11. А.П. Сырбаков, *Диагностика и техническое обслуживание*. Томск, Россия: Изд-во Томского политехнического университета, 2009, 220 с.
12. Н.Я. Яхьяев, и А.В. Кораблин, *Основы теории надежности и диагностика*. Москва, Россия: Издательский центр «Академия», 2009, 256 с.
13. Д.В. Борисюк, В.В. Біліченко та В.Й. Зелінський, «Математична модель ударно-спускового механізму автомата Калашникова як об'єкта діагностування», *Вісник машинобудування та транспорту*, Випуск 2 (8), с. 4-14. 2018.
14. Д.В. Борисюк, В.В. Біліченко та В.Й. Зелінський, «Математична модель ударно-спускового механізму автомата Калашникова як об'єкта діагностування», *Вісник машинобудування та транспорту*, Випуск 1 (9), с. 15-26. 2019.

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.