

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УДАРНО-СПУСКОВОГО МЕХАНІЗМУ АВТОМАТА КАЛАШНИКОВА ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*У статті представлено математичну модель діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова. Побудовано матрицю діагностування та блок-схему її синтезу.*

### ВСТУП

Візитною карткою Збройних Сил України по праву є легендарний автомат Калашникова (рис. 1) [1–4], з яким пістоліття тому завод «Іжмаш» впевнено увійшов в світовий ринок стрілецької зброї. Сьогодні зразки зброї Калашникова знаходяться на повному або частковому озброєнні армій світу, застосовуються спецпідрозділами силових структур або виробляються для продажу на експорт. Такі якості автомата Калашникова, як бездоганна надійність і можливість постійного вдосконалення конструкції дозволяють автомату демонструвати затребуваність протягом вже шести десятиліть, будучи еталоном для всієї номенклатури бойового озброєння.



Рисунок 1 – Автомати Калашникова різних модифікацій [1–4]

Автомат Калашникова є індивідуальною зброєю і призначений для знищення живої сили противника. Для враження противника в рукопашному бою до автомата приєднується багнет-ніж.

Автомат складається з таких основних частин і механізмів (рис. 2): 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; багнета-ножа [1–4].



Рисунок 2 – Основні частини і механізми автомата АК-74М [1]

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Однією з складових боєготовності озброєння є його надійність. Підвищення надійності стрілецької зброї є однією з найважливіших задач, які стоять перед розробниками, виробниками та особовим складом, що здійснює її експлуатацію. В умовах ведення бойових дій підвищення надійності озброєння забезпечує успіх виконання поставлених завдань.

Досвід бойового застосування стрілецької зброї показує, що зразки, які мають високі бойові властивості, не можуть отримати визнання, якщо вони не забезпечують необхідну надійність дії. В даний час силові структури віддають перевагу надійній зброї. Під надійністю озброєння розуміють її властивість зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Надійність дії стрілецької зброї являє собою сукупність властивостей, які характеризують безвідмовність роботи.

В процесі експлуатації зброї, її властивості не залишаються постійними, а під впливом суб'єктивних та об'єктивних факторів виникають процеси зношеності, корозії, деформації, поломки деталей та складальних одиниць в результаті чого зразок озброєння частково або повністю виходить з ладу.

Вирішити задачу оцінки існуючого і забезпечення заданого рівня надійності зброї, зокрема і автоматів Калашникова, можна розробляючи і впроваджуючи ефективні методи і засоби контролю технічного стану (діагностування).

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Науковою основою досліджень оцінки рівня надійності стрілецької зброї і готовності її до виконання завдань є: теорія ефективності застосування озброєння, технічна експлуатація озброєння, конструкція стрілецької зброї, теорія надійності виробів техніки, теорія ймовірностей та математична статистика. Основні залежності, які використовуються при визначенні рівня надійності стрілецької зброї, наведені в роботах [5, 6]. Пропозиції з оцінки показників надійності та боєготовності сучасного озброєння, наведені в роботі [6]. В роботі [5] розроблені аналітичні залежності комплексних

коефіцієнтів: коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт готовності, коефіцієнт інтегральної готовності. Але у відомих роботах не наведені залежності та дані з узагальненої оцінки існуючого рівня надійності стрілецької зброї і визначення потрібного рівня надійності перспективного озброєння.

Проведений аналіз робіт [7, 8], які направлені на обґрунтування переведення зразків озброєння на експлуатацію за технічним станом, показав, що вони не вирішують проблему розробки та обґрунтування методів та засобів діагностування зразків з метою визначення їх фактичного технічного стану.

Аналіз літературних та наукових джерел показав, що існуючі методи і засоби діагностування стрілецької зброї, зокрема автоматів Калашникова, не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо визначення їх поточного технічного стану, що вимагає розробки математичних моделей їх основних частин і механізмів як об'єкта діагностування.

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

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 діагностування його вузлів та деталей, яка пов'язує несправності та ознаки несправностей.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Ударно-спусковий механізм (рис. 3) 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 3 – Ударно-спусковий механізм автомата Калашникова [1]

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.

Вирішення 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.

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) [9–14].

Для представлення об'єкта діагностики у вигляді «чорного ящика» необхідно задати (рис. 4):

- 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  $S$ :

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

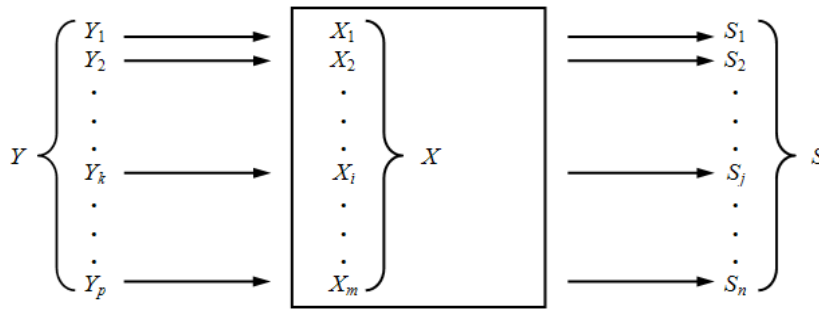


Рисунок 4 – Представлення об'єкта діагностування у вигляді «чорного ящика»

Враховуючи, що при діагностуванні елементи кількості  $Y$  стабілізуються (або змінюються за заданим законом), вираз (1) перетвориться до виду

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

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 таким чином: за відомими ознаками 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.

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.

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

Однак практичне використання такої аналітичної моделі поки обмежено в силу таких обставин:

- вид функцій  $\varphi_j$  для більшості вузлів і механізмів поки не встановлений;
- якщо функція  $\varphi_j$  не задовольняє умови безперервності і диференціювання по кожному зі своїх аргументів, що зазвичай має місце в реальних моделях, то розв'язання 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 ознаки цих несправностей описуються у вигляді так званих діагностичних матриць [13, 15, 16].

З досвіду багаторічної експлуатації автоматів Калашникова всіх модифікацій в табл. 1 представлена матриця діагностування ударно-спускового механізму [1–4, 7, 8].

В матриці (див. табл. 1) позначимо такі несправності ударно-спускового механізму автомата Калашникова:

$x_1$  – заокруглення або скришеність бойового взводу курка чи шептала;  $x_2$  – осідання або злам пружини шептала;  $x_3$  – вигин, злам сектора або скручення перевідника;  $x_4$  – заокруглення або скришеність фігурного виступу спускового гачка;  $x_5$  – осідання бойової пружини;  $x_6$  – злам бойової пружини;  $x_7$  – зношеність поршня штока або циліндра газової камери;  $x_8$  – сліди іржі або раковини в патроннику; витік порохових газів між газовою камерою і стволом; зношеність або заокруглення 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; зношеність 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;  $x_{11}$  – зношеність, 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 вказаних вище 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 набувати двох умовних значень «0» і «1».

На перетині  $i$ -го рядка і  $j$ -го стовпця ставиться «1», якщо при наявності  $i$ -ї несправності спостерігається вихід  $j$ -ї 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. 5).

Таке перетворення може бути записано у вигляді

$$\{x_i\}_k = F_x \{x_i\} \tag{4}$$

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» і «1», які відповідають відсутності та наявності  $i$ -ї несправності;  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $F_x$  – оператор, який перетворює кількість  $\{x_i\}$  в кількість  $\{x_i\}_k$  таким чином: для будь-якого  $i$ -го параметра  $x_i$  присвоюється значення «0», якщо величина лежить в області допустимих значень, в протилежному випадку присвоюється значення «1».

Таблиця 1 – Матриця діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова

Несправність	Ознака несправності											
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>
x <sub>1</sub>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>2</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>3</sub>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>4</sub>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>5</sub>	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
x <sub>6</sub>	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
x <sub>7</sub>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x <sub>8</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>9</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>10</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x <sub>11</sub>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x <sub>12</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
x <sub>13</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
x <sub>14</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
x <sub>15</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

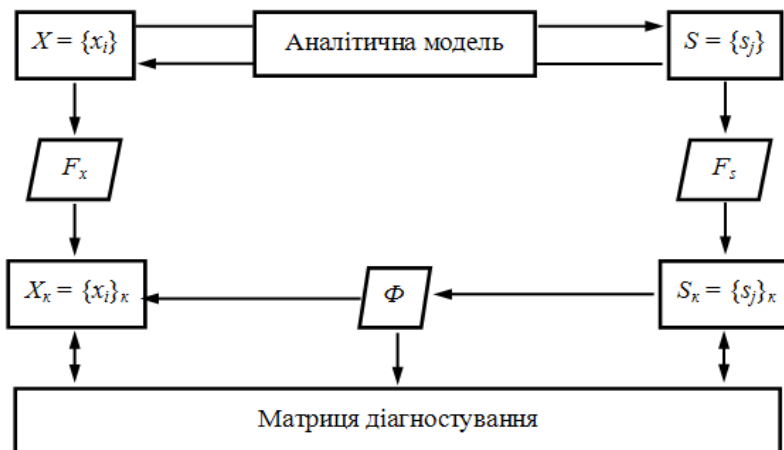


Рисунок 5 – Блок-схема синтезу матриці діагностування:

$X = \{x_i\}$  – 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, що перетворює кількість  $\{x_i\}$  в кількість  $\{x_i\}_k$ ;  $F_s$  – оператор, що перетворює кількість  $\{s_j\}$  в кількість  $\{s_j\}_k$ ;  $\Phi$  – оператор, що перетворює кількість технічних станів об'єкта в кількість діагностичних параметрів

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

$$\{s_j\}_k = F_s \{s_j\}, \tag{5}$$

де  $\{s_j\}$  – кількість ознак вихідних процесів, кожна з яких може набувати в загальному випадку нескінченну кількість значень в певному інтервалі;  $\{s_j\}_k$  – кінцева кількість діагностичних ознак, кожна з яких може набувати тільки два умовних значення «0» і «1»;  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $F_s$  – оператор, що перетворює кількість  $\{s_j\}$  в кількість  $\{s_j\}_k$  таким чином: будь-якій  $j$ -й 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  $\Phi$  – 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 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 аргументу  $x_1$ , 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  $x_1, x_2, x_3$ .

Залежність  $S_1 = \varphi_1(x_1, x_2, x_3)$  виражається в цьому 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 (3) для даної матриці діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова у вигляді:

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_2 + x_3; \\ S_2 = x_1 + x_4 + x_5 + x_6; \\ S_3 = x_3 + x_7 + x_8; \\ S_4 = x_5 + x_6 + x_9; \\ S_5 = x_1 + x_4 + x_5; \\ S_6 = x_{10}; \\ S_7 = x_5 + x_6 + x_7 + x_{11}; \\ S_8 = x_5 + x_6; \\ S_9 = x_{12}; \\ S_{10} = x_{13}; \\ S_{11} = x_{14}; \\ S_{12} = x_{15}. \end{cases} \quad (7)$$

Всі послідовні перетворення, що ведуть до синтезу моделі об'єкта діагностування у вигляді діагностичної матриці, наочно представлені на блок-схемі (див. рис. 5). У тому випадку, коли модель об'єкта діагностування представлена у вигляді діагностичної матриці, діагностична задача формулюється таким 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 (7). Кожен структурний параметр і кожен діагностичний параметр набуває тільки двох значень: «0» і «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

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

Вид функцій  $f_m$  неважко встановити в кожному конкретному випадку на основі таких 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'юнкцією (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):

$$\begin{cases} x_1 = S_1 S_2 S_5; \\ x_2 = S_2; \\ x_3 = S_1 S_3; \\ x_4 = S_2 S_5; \\ x_5 = S_2 S_4 S_5 S_7 S_8; \\ x_6 = S_2 S_4 S_7 S_8; \\ x_7 = S_3 S_7; \\ x_8 = S_3; & ; \\ x_9 = S_4; \\ x_{10} = S_6; \\ x_{11} = S_7; \\ x_{12} = S_9; \\ x_{13} = S_{10}; \\ x_{14} = S_{11}; \\ x_{15} = S_{12}. \end{cases} \quad (9)$$

Як видно з цього прикладу, процес постановки діагнозу на основі моделі об'єкта діагностування, вираженої у вигляді діагностичної матриці, складається з таких 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. 5), можна сформулювати в загальному вигляді умову здійснення діагностування таким 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.

### ВИСНОВОК

Розроблена математична модель ударно-спускового механізму автомата Калашникова як об'єкта діагностування дозволить виявити несправності в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін експлуатації автомата.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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.: 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.
7. Болотин Д. Н. Советское стрелковое оружие / Д. Н. Болотин. – М.: Воениздат, 1983. – 304 с.
8. Семенюк В. І. Стрілецька зброя механізованих підрозділів / В. І. Семенюк, Г. Б. Гишко. – Х.: ХУПС, 2010. – 304 с.
9. Ананьин А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов. – М.: Академия, 2008. – 432 с.
10. Сырбаков А. П. Диагностика и техническое обслуживание / А. П. Сырбаков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 220 с.
11. Яхьяев Н. Я. Основы теории надежности и диагностика / Н. Я. Яхьяев, А. В. Кораблин. – М.: Академия, 2009. – 256 с.
12. Бельских В. И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов / В. И. Бельских. – М.: Колос, 1973. – 495 с.
13. Мирошников Л. В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, В. И. Пал. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.
14. Малкин В. С. Техническая диагностика / В. С. Малкин. – СПб.: Лань, 2013. – 272 с.
15. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics / D. Borysiuk, A. Spirin, O. Trukhanska, L. Shvets, V. Zelinsky // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin – Rzeszow: Polish Academy of Sciences. University of Engineering and Economics in Rzeszow. University of Life Sciences in Lublin, 2017. – Vol. 17, No.1. – P. 41-47.
16. Математична модель діагностування системи уприскування палива «Mono-Jetronic» / В. М. Барановський, А. В. Спирін, В. Й. Зелінський, В. С. Наляжний // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ, 2018 – Випуск 1 (7). – С. 10–17.

### REFERENCES

1. Rukovodstvo po 5,45-mm avtomatam Kalashnikova AK74, AK74M, AKS74, AKS74U, AK74N, AK74N1, AK74N2, AK74N3, AKS74N, AKS74N1, AKS74N2, AKS74NZ, AKS74UN2 i 5,45-mm ruchnym pulemetam Kalashnikova RPK74, RPK74M, RPKS74, RPK74N, RPK74N1, RPK74N2, RPK74NZ, RPKS74N, RPKS74N1, RPKS74N2, RPKS74N3. – M.: Voennoye izdatel'stvo, 2001. – 259 s.
2. Nastavleniye po strelkovomu delu. 7,62-mm modernizirovannyu avtomat Kalashnikova. – M.: Voennoye izdatel'stvo MO SSSR, 1967. – 176 s.

3. Uolter Dzh. Oruzhiye Kalashnikova: Avtomaty, pulemety, snayperskiye vintovki, okhotnich'i karabiny / Dzh. Uolter. – M.: Izd-vo EKSMO-Press, 2001. – 144 s.
4. Kassanelli I.K. Sovremennoye ognestrel'noye oruzhiye / I.K. Kassanelli. – KH.: Knizhnyy Klub «Klub Semeynogo Dosuga», 2013. – 304 s.
5. Kovtun A.V. Nadiynist' ozbroynnya ta boyovoyi tekhniky / A.V. Kovtun. – KH.: Viys'k. in.-t VV MVS Ukrayiny, 2005. – 86 s.
6. Muzychuk V.A. Orhanizatsiya ekspluatatsiyi ozbroynnya viys'k PPO Sukhoputnykh viys'k. CH. I. Ekspluatatsiyino-tekhnichni pokaznyky ozbroynnya ta metody yikh otsinky / V.A. Muzychuk, A.V. Kruhlov, O.L. Smirnov. – KH.: KHVU, 2001. – 78 s.
7. Bolotin D.N. Sovetskoye strelkovoye oruzhiye / D.N. Bolotin. – M.: Voenizdat, 1983. – 304 s.
8. Semenyuk V.I. Strilets'ka zbroya mekhanizovanykh pidrozdiliv / V.I. Semenyuk, H.B. Hyshko – KH.: KHUPS, 2010. – 304 s.
9. Anan'in A.D. Diagnostika i tekhnicheskoye obsluzhivaniye mashin / A.D. Anan'in, V.M. Mikhlin, I.I. Gabitov. – M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2008. – 432 s.
10. Syrbakov A.P. Diagnostika i tekhnicheskoye obsluzhivaniye / A.P. Syrbakov. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009. – 220 s.
11. Yakh'yayev N.YA. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika / N.YA. Yakh'yayev, A.V. Korablin. – M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2009. – 256 s.
12. Bel'skikh V.I. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya i regulirovka traktorov / V.I. Bel'skikh. – M.: «Kolos», 1973. – 495 s.
13. Miroshnikov L.V. Diagnostirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley na avtotransportnykh predpriyatiyakh / L.V. Miroshnikov, A.P. Boldin, V.I. Pal. – M.: Transport, 1977. – 263 s.
14. Malkin V.S. Tekhnicheskaya diagnostika / V.S. Malkin. - SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2013. – 272 s.
15. Borysiuk D. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics / D. Borysiuk, A. Spirin, O. Trukhanska, L. Shvets, V. Zelinsky // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin – Rzeszow: Polish Academy of Sciences. University of Engineering and Economics in Rzeszow. University of Life Sciences in Lublin, 2017. – Vol. 17, No.1. – P. 41-47.
16. Baranovs'kyu V.M. Matematychna model' diahnostuvannya systemy vprorskuvannya palyva «Mono-Jetronic» / V.M. Baranovs'kyu, A.V. Spirin, V.Y. Zelins'kyu, V.S.Nalyazhnyy / Visnyk mashynobuduvannya ta transportu. – Vinnytsya: VNTU, 2018 – Vypusk 1 (7). – S. 10-17.

**Д. В. Борисюк<sup>1</sup>, В. В. Біліченко<sup>1</sup>, В. Й. Зелінський<sup>1</sup>**

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УДАРНО-СПУСКОВОГО МЕХАНІЗМУ АВТОМАТА КАЛАШНИКОВА ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

Автомат Калашникова і його модифікації є найпоширенішою стрілецькою зброєю в світі. До цього типу (включаючи ліцензійні та неліцензійні копії, а також сторонні розробки на базі автоматів Калашникова) належить до 1/5 всієї наявної в світі стрілецької вогнепальної зброї. За 60 років було випущено більше 70 мільйонів автоматів Калашникова різних модифікацій. Вони перебувають на озброєнні близько 50 іноземних армій.

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

У статті представлено математичну модель діагностування ударно-спускового механізму автомата Калашникова. Побудовано матрицю діагностування та блок-схему її синтезу.

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

*Борисюк Дмитро Вікторович*, асистент, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: bddv@ukr.net

*Біліченко Віктор Вікторович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

Зелінський Вячеслав Йосипович, асистент, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com

D. Borysyuk<sup>1</sup>, V. Bilichenko<sup>1</sup>, V. Zelinsky<sup>1</sup>

## MATHEMATICAL MODEL OF A FIRING MECHANISM OF KALASHNIKOV ASSAULT RIFLE AS AN OBJECT OF DIAGNOSTICS

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

Kalashnikov assault rifle and its modifications are the most common small arms in the world. This type (including licensed and unlicensed copies, as well as third-party developments based on Kalashnikov assault rifles) owns up to 1/5 of all small arms in the world. For 60 years, more than 70 million Kalashnikov assault rifles of various modifications have been produced. They are in service with about 50 foreign armies.

Many years of experience in operating Kalashnikov assault rifle have shown that the firing mechanism is the least durable, increasing the life of which will increase the performance of the machine.

The article presents a mathematical model for diagnosing of a firing mechanism of Kalashnikov assault rifle. A diagnostic matrix and a flow chart for its synthesis have been built.

**Key words:** mathematical model, diagnostics matrix, analytical model, diagnostics, faults, failure symptoms, technical condition, Kalashnikov assault rifle, firing mechanism.

*Borysyuk Dmytro*, assistant, department of automobiles and transport management, Vinnitsia National Technical University, e-mail: bddv@ukr.net

*Bilichenko Victor*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of automobiles and transport management, Vinnitsia National Technical University, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

*Zelinsky Vyacheslav*, assistant, department of automobiles and transport management, Vinnitsia National Technical University, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com

Д. В. Борисюк<sup>1</sup>, В. В. Биличенко<sup>1</sup>, В. И. Зелинский<sup>1</sup>

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УДАРНО-СПУСКОВОГО МЕХАНИЗМА АВТОМАТА КАЛАШНИКОВА КАК ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИКИ

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

Автомат Калашникова и его модификации являются самым распространенным стрелковым оружием в мире. К этому типу (включая лицензионные и нелицензионные копии, а также чужие разработки на базе автоматов Калашникова) принадлежит до 1/5 всего имеющегося в мире стрелкового огнестрельного оружия. За 60 лет было выпущено более 70 миллионов автоматов Калашникова различных модификаций. Они находятся на вооружении около 50 иностранных армий.

Многолетний опыт эксплуатации автоматов Калашникова показал, что наименее долговечным является ударно-спусковой механизм, увеличение ресурса которого, повысит эксплуатационные показатели автомата.

В статье представлена математическая модель диагностирования ударно-спускового механизма автомата Калашникова. Построено матрицу диагностики и блок-схему ее синтеза.

**Ключевые слова:** математическая модель, матрица диагностирования, аналитическая модель, диагностирования, неисправности, признаки неисправностей, техническое состояние, автомат Калашникова, ударно-спусковой механизм.

*Борисюк Дмитрий Викторович*, асистент, кафедра автомобилей и транспортного менеджмента, Винницкий национальный технический университет, e-mail: bddv@ukr.net

*Биличенко Виктор Викторович*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей и транспортного менеджмента, Винницкий национальный технический университет, e-mail: bilichenko.v@gmail.com

*Зелинский Вячеслав Иосифович*, асистент, кафедра автомобилей и транспортного менеджмента, Винницкий национальный технический университет, e-mail: zelinskiy.slava@gmail.com