

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

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УДАРНО-СПУСКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПІСТОЛЕТА МАКАРОВА ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

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

*Пістолет Макарова і його модифікації є найпоширенішою стрілецькою зброєю в світі. Хоча з часу створення пістолета Макарова пройшло вже більше 65 років, він має великий резерв можливостей модернізації як конструкції самого пістолета, так і його боєприпасів. В даний час існують близько 25 вітчизняних і зарубіжних варіантів цього пістолета, а по «тиражах» випуску він поступається хіба що автомату Калашникова.*

*Однією зі 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. Під надійністю озброєння розуміють її властивість зберігати в 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.*

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

*У статті представлено огляд модифікацій та конструкції пістолета Макарова та математичну модель діагностування ударно-спускового механізму пістолета Макарова як об'єкта діагностування з метою виявлення несправностей в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін експлуатації пістолета. Побудовано матрицю діагностування ударно-спускового механізму пістолета Макарова та блок-схему її синтезу.*

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

### Вступ

У роки Другої світової війни короткоствольна зброя пройшла серйозну перевірку. Досвід цієї війни породив нові тактико-технічні вимоги до пістолетів, зокрема їм треба було стати компактними, легшими, надійними та скорострільними. Пістолет ТТ зразка 1933 року мав численні недоліки, а саме: ненадійна фіксація магазину, незручна форма рукоятки тощо. Крім того, було визнано за доцільність мати на озброєнні армії два типи пістолета: автоматичний з довгим стволом – для офіцерів та сержантів, що будуть безпосередньо брати участь в бойових діях (ним став пістолет Стечкина), і компактний – для старших офіцерів і як «зброя мирного часу».

Тому в 1945 році, на вимогу Радянської Армії, в СРСР було оголошено конкурс на розробку нового компактного пістолета для оперативного-бойового застосування. Технічні вимоги до пістолета були досить жорсткими. За умовами конкурсу, новий пістолет повинен був перевершувати пістолет ТТ за вагогабаритними показниками (бути компактнішим, зручним для застосування у ближньому бою), надійністю у польових умовах та влучністю стрільби, застосовувати патрон 7,65 мм або 9 мм, крім того, ще й повинен бути технологічним у масовому виробництві. При цьому ще й орієнтувалися на порівняно невелику потужність та застосування пістолета в раптових зіткненнях з противником на малих відстанях. В результаті спочатку був створений новий патрон до пістолета – 9×18 мм, який за потужністю являє собою той розумний максимум, що можна використовувати в пістолеті з вільним затвором. В основу цієї розробки лягли довоєнні німецькі розробки у тому ж напрямку, що приводить до створення фірмою «GECO» патрону 9×18 Ultra. Потрібно зазначити, що незважаючи на однакові позначення, радянський патрон невзаємозамінний з німецьким, оскільки має великий діаметр кулі (справжній калібр радянського патрона – 9,39 мм). У конкурсі на новий пістолет взяли

участь відомі конструктори – Ф. В. Токарев, П. В. Воєводін, С. А. Коровін, І. І. Раков, С. Г. Сімонов, а також молоді, ще мало відомі – М. Ф. Макаров з Тули, Г. В. Сєврюгін, А. Л. Клімов і А. І. Лобанов з Іжевська. Після серії випробувань на надійність найкращим був визнаний зразок під 9-мм патрон, сконструйований колективом інженерів на чолі з Миколою Федоровичем Макаровим.

За основу розробки, було взято німецький пістолет Walther PP зразка 1929 року. Пістолет, який переміг у конкурсі, мав певні відмінності від Walther PP, але зберіг його загальне компонування та конструкторські рішення. Ескізне виконання пістолета Макарова завершилося у 1947 році. В 1948 році був підготовлений остаточний варіант проекту. Пістолет відрізнявся надійністю, малими габаритами, а найголовніше – простотою в експлуатації і обслуговуванні.

Виробництво нового пістолета було налагоджене в Іжевську у 1949 році та продовжувалось понад 50 років. На озброєння Радянської армії та органів держбезпеки пістолет Макарова (ПМ) офіційно був прийнятий в 1951 році.

На кінець 1980-х років стала очевидна невідповідність пістолетного комплексу сучасним умовам бойового застосування особистої зброї, а саме широке застосування засобів індивідуального бронезахисту вимагало підвищення пробивної дії кулі і поліпшення купчастості стрільби. На початку 1990-х років у конкурсі на новий армійський пістолет була запропонована модифікація пістолета Макарова під новий високоімпульсний патрон 9×18 ПММ. Модернізований варіант пістолета Макарова був прийнятий на озброєння в 1994 році, причому від свого предка він не особливо відрізняється – деталі пістолетів взаємозамінні на 70 %.

Неймовірна простота конструкції, висока надійність і вкрай низька вартість дозволили зробити модернізований варіант пістолета Макарова гідним кандидатом на заміну іменитого предка, але адміністративні рішення при його виробництві і введенні в експлуатацію зробили цей процес нерентабельним, залишивши модернізований пістолета Макарова зброєю деяких силових відомств і спецпідрозділів.

Після розпаду Радянського Союзу пістолет Макарова (ПМ) залишився на озброєнні в багатьох країнах. При цьому як в Росії, так і в інших країнах були розроблені нові, більш сучасні модифікації ПМ.

### Огляд модифікацій та конструкції пістолета Макарова

Пістолет Макарова (рис. 1) є особистою зброєю нападу та захисту, призначений для враження противника на коротких відстанях [1–5]. Перевагою пістолета, створеного Миколою Федоровичем Макаровим, є надійність роботи в найважчих умовах експлуатації. Цю 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.

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. До середини 1990-х років були представлені нові варіанти ПМ: ИЖ-70 під патрон 9×18 з регульованим ціликом; ИЖ-70-17А (ИЖ-70-200), виробництво якого почалося в 1994 році, використовує патрон 9 mm Short (9×17), а його варіанти ИЖ-70-100 (під патрон 9×18) та ИЖ-70-300 (під 9×17) відрізняються магазинами ємністю 10 патронів; в 1995 році вийшов службовий, створений для охоронних структур, пістолет ИЖ-71 під патрон 9×17, що випускався в різних варіантах, що відрізняються ємністю магазину і прицільними пристроями.

В 1994 році для Збройних сил Росії була запропонована модифікація пістолета Макарова – ПММ-8 і ПММ-12. У цих 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 ВАКАЛ-442, випускається в основному на експорт.



статистика. Основні залежності, які використовуються при визначенні рівня надійності стрілецької зброї, наведені в роботах [6, 7]. Пропозиції з оцінки показників надійності та боєготовності сучасного озброєння, наведені в роботі [7]. В роботі [6] 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 [8, 9], 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 пістолетів Макарова, не в повній мірі 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 пістолетів Макарова показав, що найменш довговічним є ударно-спусковий механізм, збільшення ресурсу якого підвищить експлуатаційні показники пістолета.

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

### Основна частина

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.

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. 3):

- 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  $S$ :

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

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

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



Матриця діагностування ударно-спускового механізму пістолета Макарова

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>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>	S <sub>15</sub>	S <sub>16</sub>	S <sub>17</sub>	S <sub>18</sub>	S <sub>19</sub>
x <sub>1</sub>	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
x <sub>2</sub>	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
x <sub>3</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>4</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>5</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>6</sub>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
x <sub>7</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>8</sub>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>9</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>10</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
x <sub>11</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
x <sub>12</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>13</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>14</sub>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>15</sub>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>16</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>17</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>18</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
x <sub>19</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
x <sub>20</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x <sub>21</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x <sub>22</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
x <sub>23</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
x <sub>24</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
x <sub>25</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
x <sub>26</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
x <sub>27</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

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

- x<sub>1</sub> – ослаблення або злам пружини шептала;
- x<sub>2</sub> – скруглення шептала або бойового зводу курка;
- x<sub>3</sub> – знос роз'єднувального виступу важеля зводу або виступу для роз'єднання важеля зводу на затворі;
- x<sub>4</sub> – передчасний поворот шептала поличкою уступу запобіжника при ввімкненні запобіжника;
- x<sub>5</sub> – ослаблення або злам вузького або широкого пера бойової пружини;
- x<sub>6</sub> – вигин спускової тяги;
- x<sub>7</sub> – зминання або знос виступу шептала чи вирізу на важелі зводу;
- x<sub>8</sub> – забоїни на шепталі або бойовому зводі курка;
- x<sub>9</sub> – вигин вузького або широкого пера бойової пружини назад;
- x<sub>10</sub> – забоїни на поличці для спускової тяги в рамці;
- x<sub>11</sub> – вм'ятини на бічних стінках корпусу магазину;
- x<sub>12</sub> – забоїни на цапфових гніздах в рамці або на цапфах шептала;
- x<sub>13</sub> – ослаблення або злам широкого пера бойової пружини;
- x<sub>14</sub> – відсутність виїмки з правого боку гребеня затвора (у пістолетів перших випусків);
- x<sub>15</sub> – 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<sub>16</sub> – скруглення шептала або запобіжного зводу курка;
- x<sub>17</sub> – важке обертання важеля зводу на цапфі спускової тяги;
- x<sub>18</sub> – забоїни на цапфових гніздах для цапф курка в рамці або на цапфах курка;
- x<sub>19</sub> – ослаблення або злам вузького пера бойової пружини;
- x<sub>20</sub> – скруглення або скришеність виступу самозводу важеля зводу; скруглення або скришеність зуба самозводу курка;
- x<sub>21</sub> – верхній кінець спускового гачка впирається в стінку кривого паза рамки до зриву курка з виступу самозводу важеля зводу;
- x<sub>22</sub> – скруглення або скришеність виступу на курку для запирання курка запобіжником; скруглення або скришеність зачепа для запирання курка запобіжником;
- x<sub>23</sub> – знос зуба шептала або полички уступу запобіжника;

$x_{24}$  – передчасний поворот шептала полицкою уступу запобіжника при ввімкненні запобіжника; зминання стінок вирізу на головці курка;

$x_{25}$  – зминання або скришеність 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.

Також в матриці (див. табл. 1) вводимо ознаки вказаних вище 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» 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. 4).

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 мати 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».

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

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



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» 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 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 аргументу  $x_1$ , якщо має місце співвідношення  $\phi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_m) \neq \phi(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_m)$ .

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

Залежність  $S_1 = \phi_1(x_1, x_2)$  виражається в цьому 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:

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



Всі послідовні перетворення, що призводять 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 приймає тільки два значення: «0» і «1».

Очевидно що для розв'язання 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

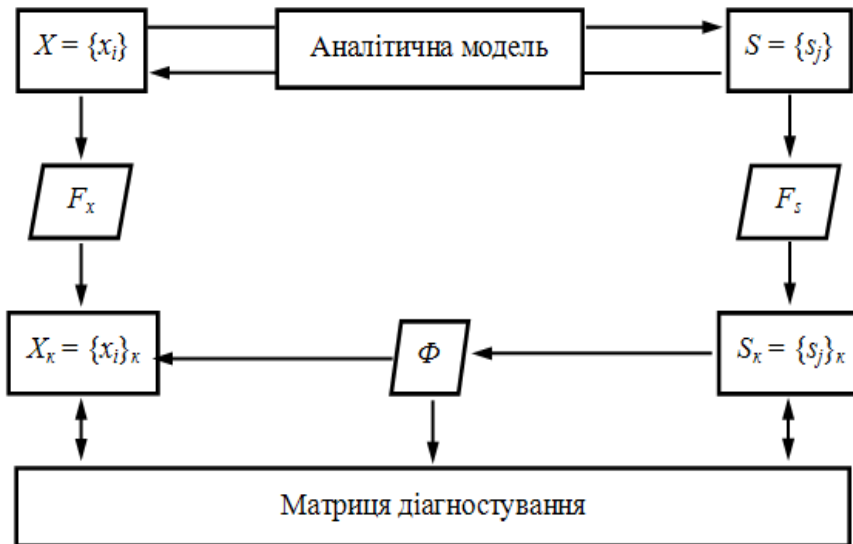
$$\begin{cases} x_1 = f_1(S_1, S_2, \dots, S_n); \\ x_2 = f_2(S_1, S_2, \dots, S_n); \\ x_m = f_m(S_1, S_2, \dots, S_n). \end{cases} \quad (8)$$

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

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

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):



$X = \{x_i\}$  – 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 в

Рис. 4. Блок-схема синтезу матриці діагностування

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. 4), 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 виконано цю умову 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 пістолета Макарова як об'єкта діагностування дозволить виявити несправності в залежності від їх ознак, що значно підвищить термін експлуатації пістолета.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [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: Военное издательство МО СССР, 1956, 65 с.
- [5] И. К. Кассанелли, *Современное огнестрельное оружие*. Харьков, Украина: 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: 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: 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: Академия, 2009, 256 с.
- [13] В. И. Бельских, *Диагностика технического состояния и регулировка тракторов*. Москва: Колос, 1973, 495 с.
- [14] Л. В. Мирошников, А. П. Болдин, и В. И. Пал, *Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях*. Москва: Транспорт, 1977, 263 с.
- [15] В. С. Малкин, *Техническая диагностика*. Санкт-Петербург, Россия: Лань, 2013, 272 с.
- [16] D. Borysiuk, A. Spirin, O. Trukhanska, L. Shvets, and V. Zelinsky, «Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics», *ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture*, vol. 17, no.1, – pp. 41–47. 2017.
- [17] В. М. Барановський, А. В. Спінрін, В. Й. Зелінський, та В. С. Наляжний, «Математична модель діагностування системи уприскування палива «Моно-Jetronic», *Вісник машинобудування та транспорту*, Випуск 1 (7), с. 10–17. 2018.
- [18] 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.

**Борисюк Дмитро Вікторович** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту;

**Біліченко Віктор Вікторович** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту;

**Зелінський Вячеслав Йосипович** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**D. Borysiuk<sup>1</sup>**  
**V. Bilichenko<sup>1</sup>**  
**V. Zelinsky<sup>1</sup>**

## Mathematical model of firing mechanism of Makarov pistol as an object of diagnostics

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

*Makarov pistol and its modifications are the most common small arms in the world. Although more than 65 years have passed since the creation of the Makarov pistol, it has a large reserve of possibilities for upgrading both the design of the gun itself and its ammunition. At present, there are about 25 domestic and foreign versions of this pistol, and in terms of the «circulation» of the issue, it is second only to the Kalashnikov assault rifle.*

*One of the components of combat readiness of armament is its reliability. Increasing the reliability of small arms is one of the most important challenges facing developers, manufacturers and personnel that operates it. In conditions of combat operations, increasing the reliability of weapons ensures the success of the tasks.*

*The experience of the military use of small arms shows that specimens of high combat qualities can not be recognized if they do not provide the required reliability of action. Under the reliability of weapons means its ability to store in time within the established limits the value of all parameters that characterize the ability to perform the required functions in the specified modes and conditions of use, maintenance, storage and transportation. Reliability of the operation of small arms is a set of properties that characterize the reliability of work.*

*Many years of experience in operating Makarov pistol have shown that the firing mechanism is the least durable, increasing the life of which will increase the performance of the pistol.*

*The article presents a mathematical model for diagnosing of a firing mechanism of Makarov pistol as an object of diagnostic for the purpose of detecting malfunctions depending on their characteristics, which will significantly increase the life of the pistol. A diagnostic matrix and a flow chart for its synthesis have been built.*

**Keywords:** mathematical model, diagnostics matrix, analytical model, diagnostics, faults, failure symptoms, technical condition, Makarov pistol, firing mechanism.

**Borysiuk Dmytro** – assistant of the Chair of Automobiles and transport management;

**Bilichenko Victor** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management;

**Zelinsky Vyacheslav** – assistant of the Chair of Automobiles and transport management.

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

## Математическая модель ударно-спускового механизма пистолета Макарова как объекта диагностики

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

*Пистолет Макарова и его модификации являются самым распространенным стрелковым оружием в мире. Хотя со времени создания пистолета Макарова прошло уже более 65 лет, у него большой резерв возможностей модернизации как конструкции самого пистолета, так и его боеприпасов. В настоящее время существуют около 25 отечественных и зарубежных варианта этого пистолета, а по «тиражам» выпуска он уступает разве что автомату Калашникова.*

*Одной из составляющих боеготовности вооружения является его надежность. Повышение надежности стрелкового оружия является одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками, производителями и личным составом, осуществляющим его эксплуатацию. В условиях ведения боевых действий повышение надежности вооружения обеспечивает успех выполнения поставленных задач.*

*Опыт боевого применения стрелкового оружия показывает, что образцы, которые имеют высокие боевые свойства, не могут получить признание, если они не обеспечивают необходимую надежность действия. Под надежностью вооружения понимают его свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Надежность действия стрелкового оружия представляет собой совокупность свойств, характеризующих безотказность работы.*

*Многолетний опыт эксплуатации пистолетов Макарова показал, что наименее долговечным является ударно-спусковой механизм, увеличение ресурса которого, повысит эксплуатационные показатели пистолета.*

*В статье представлена математическая модель диагностирования ударно-спускового механизма пистолета Макарова как объекта диагностирования с целью выявления неисправностей в зависимости от их признаков, что значительно повысит срок эксплуатации пистолета. Построено матрицу диагностики и блок-схему ее синтеза.*

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

**Борисюк Дмитрий Викторович** – ассистент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента.

**Биличенко Виктор Викторович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей и транспортного менеджмента.

**Зелинский Вячеслав Йосипович** – ассистент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента.