УДК 004.3

Смолій Вікторія Миколаївна
д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних систем та технологій, Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1268-7837
E-mail: vmsmolij@nubip.edu.ua

Шепелева Марина Євгеніївна
ФОП, Майстерня Арчі-дизайн, Київ, Україна
E-mail: archi.ukr@ukr.net

Смолій Натан Вікторович
здобувач спеціальності «Інформаційні системи та технології», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-3763-6726
E-mail: hoibbitizukrainy@gmail.com

Шепелев Микита Сергійович
здобувач спеціальності «Інформаційні системи та технології», Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: ist23-m.shepeliev@nubip.edu.ua

ПРОЄКТУВАННЯ ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПАТРОНУ

Анотація. *Робота присвячена актуальній тематиці проєктування та виготовлення мобільних, портативних, ергономічних та точних приладів для вимірювання збурюючих сторонніх факторів (зокрема температури патрону), які беззаперечно і суттєво впливають на точність виконання військового завдання, а саме снайперської стрільби. Мета статті полягає в створенні приладу вимірювання температури патрону, який задовольняє певним схемотехнічним, конструкторським та технологічним параметрам, виготовлення прототипу виробу, апробація в умовах експлуатації та налагодження процесу збирання. В матеріалі статті досліджено вплив температури патрону на якісні характеристики процесу стрільби, зокрема при зміні температури заряду і повітря на однакову величину, було отримано висновок, що збільшення температури заряду патрона і повітря сприяють незначному збільшенню тривалості лету кулі та її кінцевої швидкості, але суттєвому збільшенню дальності її лету. Наведено геометричне оформлення пристрою, а саме було створено два варіанти конструктивного виконання портативного пристрою вимірювання температури патрону в залежності від використаного варіанту індикатора. Площа виробів різниться більше ніж у два рази, лінійні розміри становлять 103x55 ммхмм та 54x39 ммхмм при майже однаковій висоті готового виробу, що зумовлено використанням різних типів індикаторів і, відповідно, необхідності живлення різними номіналами напруги елементів живлення. Запропоновані прототипи приладу вимірювання температури патрону, які задовольняють певним схемотехнічним, конструкторським та технологічним параметрам, безпосередньо виготовлено дрібні партії виробів двох різновидів, передано на апробацію в умовах експлуатації та здійснено первинне налагодження процесу збирання. За результатами тестових випробовувань скореговано ланцюги постачання складових, конструкцію приладу і технології збирання. До перспектив подальших розвідок слід віднести необхідність більш детальної проробки питань оцінки попиту на готові виробу, динаміки номенклатури відкритого продажу складових, параметрів технологічного процесу збирання та з'ясування витрат на виробництво і ринкової вартості приладу, оскільки зазначена діяльність носить інноваційний, ініціативний та волонтерський характер.*

Ключові слова: *патрон, вимірювання температури, прилад, проєктування, індикатор, дешифратор, компоновка, геометричні розміри, пайка, збирання, виготовлення, тестування, виробництво*

Актуальність. Оскільки в Україні іде повномасштабна війна і поступово налагоджується виробництво різних типів озброєнь, то проєктування, розробка, виготовлення, вдосконалення конструкцій і відналагодження виробництва зазначеного озброєння і супутніх приладів для нього, орієнтоване на антропометрію, ергономіку та потреби військових, є актуальною і дуже важливою задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід зауважити, що існує дуже велика кількість зовнішніх факторів (температура, швидкість і напрям вітру, рельєф місцевості, відстань, вологість , тощо), які істотно впливають на швидкість кулі, її траєкторію, влучність стрільби тощо, що зумовлює необхідність виконувати певні вимірювання перед початком виконання певної місії з використанням відповідного озброєння.

В роботі [1] досліджено вплив високої температури, високого тиску та сильної сили струму на незворотні та кумулятивні структурні пошкодження на поверхні внутрішнього каналу для пускової установки снаряду.

Здійснений термічний аналіз удару снаряда та досліджене подальше згоряння для алюмінієвих снарядів з використанням високошвидкісної системи ударного запалювання в роботі [2] підтверджує актуальність проведення досліджень у обраному напрямку.

Для діапазону швидкостей снаряду проведено тестування запропонованих математичних моделей [3] в порівнянні з експериментальними вимірюваннями втрат енергії при прямих розрахунках гальмівної здатності при поєднанні реакцій однорідного електронного газу зі зв'язаними електронами.

Робота [4] присвячена випробовуванням на гіпершвидкісний удар алюмінієвих снарядів, що врізаються в алюмінієві пластини. Досліджено спектри надшвидкісної хмари викиду, нерівномірність температури частинок хмари викиду та їх вплив на тенденцію зміщення в бік найвищої температури вибуху снаряду.

Досліджений математичний апарат роботи [5] призначений для з'ясування впливу збурюючих параметрів таких, як температура, тиск та наявність перевантажень на параметри снаряду під час пострілу.

В роботі [6] запропонована нова система вимірювання положення снаряда в системі швидкого вогню електромагнітного запуску, коли два снаряди розміщуються в електромагнітному пусковому каналі швидкого вогню, один в основному прискорювальному сегменті, а інший в сегменті попереднього заряджання. Основним є досягнення ключової позиції другим снарядом в основному сегменті прискорення при наявності заважаючих факторів.

Різноманіття методів досліджень кінетичних ударів для репрезентативних об'єктів у певних умов наведено у роботі [7]. Особлива увага приділена дослідженням з мішенями від дециметрового до метрового розмірів в експериментах з ударами пороховою гарматою на швидкостях ~2 км/с, доповнених експериментами меншого масштабу з використанням вертикальної стрільби.

В роботі [8] визначено енергію асиметрії як найбільшого джерела невизначеності в рівнянні стану об'єкта .

Запропонований в [9] новий метод вимірювання траєкторії польоту снаряда спирається на одночасне порівняння швидкості та положення дослідного зразка за певною методикою. Точки перетину отримувались вимірюванням часу, коли снаряд проходив через кожен світловий екран.

Приведені в [10] дослідження аналізують вплив температури на рикошет кульових снарядів за допомогою експериментів і методу кінцевих елементів шляхом вимірювання напруги зсуву та кута внутрішнього тертя, коли температура снаряду підвищується.

Розрахунки кількості енергії в мішені, яка була розсіяна пластичною та/або в'язкопружною деформацією, приведені в [11]. Розглянуто взаємодію снаряда з матеріалом мішені, коли кінетична енергія снаряда переходить у пружну і пластичну деформацію, як самого снаряду, так і матеріалу мішені. За допомогою тепловізору та ІЧ-відеокамери отримано розподіл температури матеріалу мішені (як на торці, так і на задній поверхні).

Через лавиноподібну швидкість появи новітніх озброєнь різних стандартів та країн походження підналагодження та дослідження ефективних технологій застосування супровідного спорядження для стрільби (патронів) здійснюється оперативно на місцях і потребує мобільних, портативних, ергономічних та точних приладів для вимірювання

збурюючих сторонніх факторів, які безаперечно і суттєво впливають на точність виконання військового завдання.

Мета дослідження полягає в створенні приладу вимірювання температури патрону, який задовольняє певним схемотехнічним, конструкторським та технологічним параметрам, виготовлення прототипу виробу, апробація в умовах експлуатації та відналагодження процесу збирання.

Матеріали і методи дослідження. Серед усіх різновидів збурюючих впливів на точність виконання військової задачі слід виділити погодні умови, як найбільш істотну складову, і визначити найбільш істотний фактор впливу, спираючись на проведені дослідження існуючого стану питання.

Опір повітря рухові тіл (зовнішня балістика куль, мін і снарядів) описується силою лобового опору у вигляді [12]

$$R = \frac{\rho V^2}{2}\frac{\pi d^2}{4} i c_x\left(\frac{V}{V_S}\right), \tag{1}$$

де: R – сила лобового опору повітря; V – швидкість снаряда, ρ – густина повітря, V_S – швидкість звуку в повітрі; d – калібр снаряда, i – коефіцієнт форми снаряда, $c_x\left(\frac{V}{V_S}\right)$ – еталонна функція лобового опору.

Сила лобового опору повітря описується залежністю

$$F_\rho = \frac{1000kd^2}{g}\frac{2000-z}{2000+z}F_V, \tag{2}$$

де: k – значення форм-фактора; g – прискорення вільного падіння тіла; z – вертикальна координата кулі в довільний момент часу, функція F_V має різні форми запису для надзвукової та дозвукової швидкості кулі.

У загальному випадку величина сили лобового опору повітря рухові кулі становить:

$$R(t) = c_x\rho_a s_x\big(V(t)\big)^{2+\gamma_i}\left(\frac{V(t)}{V_s}\right)^{\beta_i}, \tag{3}$$

де c_x – коефіцієнт аеродинамічності форми кулі; ρ_a – густина повітря; s_x – максимальна площа поперечного перерізу кулі площиною, перпендикулярною до напрямку її швидкості; $V(t)$ – швидкість кулі в довільний момент часу; значення коефіцієнтів γ_i (i = 1, 2) і β_i(i = 1, 2) є різними при русі кулі з надзвуковою (i = 1) або дозвуковою (i = 2) швидкостями.

Залежність швидкості звуку від зміни температури повітря має наступний вигляд:

Сила лобового опору повітря описується залежністю

$$V_s = \sqrt{\frac{k_a R T_a}{\mu_a}}, \tag{4}$$

де k_a=1,4 – показник адіабати для повітря; R – універсальна газова стала; T_a – абсолютна температура повітря; μ_a – умовна молярна маса повітря.

Враховуючи рівняння густини речовини та Клайперона-Менделєєва для газів, система диференціальних рівнянь для описання динаміки руху кулі в повітрі під дією її ваги набуде вигляду:

$$\{m\ddot{x} = \frac{c_x\rho_a s_x\dot{x}}{V_a^{\beta_j}}\left(\dot{x}^2+\dot{z}^2\right)^{0{,}5(1+\gamma_i+\beta_i)}\ m\ddot{z} = -mg\frac{c_x\rho_a s_x\dot{z}}{V_a^{\beta_j}}\left(\dot{x}^2+\dot{z}^2\right)^{0{,}5(1+\gamma_i+\beta_i)}, \tag{5}$$

з врахуванням сили лобового опору повітря при розташуванні початку відліку системи координат Oxz в точці вильоту кулі. Вісь Ox лежить в горизонті зброї та скеровується в напрямку мішені, а вісь Oz – вертикально вгору від центру Землі.

Початкові умови для (5) мають вигляд

$$x(0) = 0,\ \dot{x}(0) = V_0 cos\theta_0,\ z(0) = 0,\ \dot{z}(0) = V_0 sin\theta_0, \quad (6)$$

де V_0– початкова швидкість кулі; θ_0 – кут вистрілювання.

Кінематичні параметри руху кулі визначаються зміною температури повітря та безпосередньо етапом надзвукової і дозвукової швидкості кулі.

Зміна температури заряду патрона впливає на величину дульної швидкості кулі, яка змінюється в інтервалі 790м/с ≤ V_0 ≤850 м/с, що відповідає зміні температури заряду патрона в межах -25 $℃ \leq t_{зар} \leq 35℃$.

Аналізуючи табульовані значення горизонтального зміщення кулі внаслідок зміни температури тільки заряду патрона або тільки повітря, зроблено узагальнення, що:

- величина температури заряду патрона, переважаючи, ніж температура повітря, впливає на кінематичні параметри руху кулі при стрільбі на віддаль до 600 метрів;
- при стрільбі на віддаль 700 – 900 метрів впливи температури заряду і повітря на рух кулі майже тотожні;
- при стрільбі на віддаль більшу 900 метрів переважаючим впливом на кінематику руху кулі стає температура повітря.

Досліджуючи зміщення точки обнуління траєкторії руху кулі при зміні температури заряду і повітря на однакову величину, було отримано висновок, що збільшення температури заряду патрона і повітря сприяють незначному збільшенню тривалості лету кулі та її кінцевої швидкості, але суттєвому сбільшенню дальності її лету. Тобто оперативне дослідження (аналіз, вимірювання) температури патрону є актуальною і дуже важливою оперативною задачею, яка повинна вирішуватись дуже швидко з допомогою портативного приладу з енергонезалежним джерелом живлення, який повинен мати мінімально можливі розміри та максимально просте конструктивне виконання. Прилад може бути носимим на карабіні у будь-якому зручному місці амуніції, можливі варіанти безперебійного живлення, або отримання (з мінімальним часом інерційності включення) даних про температуру патрону при вмиканні за потреби. Виникають питання конструктивного оформлення, які визначаються використаними елементами індикації, Обов'язково слід врахувати інтенсивність світловипромінювання (через вимоги безпеки), оскільки занадто яскраве (кольорове, інтенсивне, різнобарвне випромінювання) може мати демаскуючі властивості, бути небезпечним і призвести до негативних та трагічних наслідків.

Можливі варіанти, коли досягаються мінімальні масогабаритні показники виробу зазвичай супроводжуються необхідністю використовувати більш потужні джерела живлення, а більші за розмірами варіанти контсруктивного виконання обумовлюють можливість використати джерела енергії меншої потужності. Вихід можливий дослідити обидвоє варіантів конструктивного виконання пристроїв вимірювання температури. Спроєктувати, виготовити та протестувати готові різновиди виробів у реальних умовах. Спираючись на відгуки користувачів, розрахунки показників технологічності та аналіз економічних, антропометричних та надійнісних показників, можна оцінити кожен з виготовлених варіантів виробу, за потреби скорегувати варіант конструктивної реалізації, додати/прибрати функціонал або асортимент для подальшого виготовлення, або (за наявності безаперечних переваг/недоліків) зупинитись на одному варіанті конструктивного виконання приладу.

Результати дослідження та їх обговорення. Реалізація приладів можлива на рідкокристалічних або світлодіодних семисегментних індикаторах з відповідною кількістю розрядів. Перевагами рідкокристаличних індикаторів в зазначених пристроях є робоча напруга у 3В (низьке енергоживлення), невеликий розмір елементу(ів) живлення та довготривалий термін експлуатації без обслуговування (заміни) складових. Блочний принцип конструювання обумовлений вимогами портативності створюваного приладу та організацією статичної системи управління рідкокристалічним семисегментним індикатором на певну кількість розрядів. Чотирьох, навіть трьох, знакових розрядів, буде достатньо для потрібної

індикації температури, де кожен сегмент має свій вихід. Кількість розрядів визначається наявною елементною базою, оскільки виробництво працює на покупних складових, які замовляються з інших країн, оскільки ажіотажний попит і обмежена пропозиція ринку не повинна зупиняти виробництво і зупиняти забезпечення потреб військових. Від схемотехнічних і конструктивних особливостей наявних до придбання індикаторів, обирається конструктивна реалізація приладу, зокрема розміри і варіанти конструкції пристрою. Процес збирання і технологічність забезпечуються суб'єктивним фактором, зокрема досвідом і наявними навичками працівників - збиральників. Слід зауважити та підкреслити, що складальні операції (відповідно техніко-технологічна реалізація приладу) повинні бути прості і зрозумілі навіть для нефахівця, аби в будь-яких умовах забезпечити безперервний випуск готової продукції або збирання замовленої кількості одиниць виробу для передачі у певний підрозділ на певний момент часу. Використання TN позитивної матриці рідкокристалічних індикаторів з відповідною кількістю сегментів зі статичною схемою керування зумовлює геометричні параметри дисплею 50,8x30,5x2,8 ммхммхмм, що в свою чергу зумовлює значні у порівнянні із світлодіодними індикаторами розміри готового виробу, але 3В робоча напруга, що забезпечується одним елементом живлення довготривалої експлуатації дає безаперечне право на життя робочої версії приладу. Трирозрядні семисегментні світлодіодні індикатори мають менші розміри для динамічної індикації за схемою із загальним анодом. У табл. 1 наведено електричні параметри зазначених індикаторів певного кольору з чорним фоном. Габарити корпусу становлять 30,1x16,0x7,0 ммхммхмм, що зумовлює менші розміри готового виробу, але потребує більш потужних елементів живлення.

Таблиця 1 – Абсолютні максимальні параметри семисегментних світлодіодних індикаторів при температурі Ta=25 ℃

ITEM	Amber	Super green	Super red	High red	Yellow green	Yellow	Blue	Pure green	White	UNIT
Power Dissipation (Pd)	52	50	40	36	44	42	66	66	66	mW
Peak Forward Current (Ifp)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	mA
Continuous Forward Current(If)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	mA
Reverse Voltage (Vr)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	V
Reverse Current(Ir)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	Ua
Operating Temperature Range(Ta)	-35~+85									℃
Storage Temperature Range(Tstg)	-35~+85									℃
Lead Solder Temperature	260℃ for 3 sec									

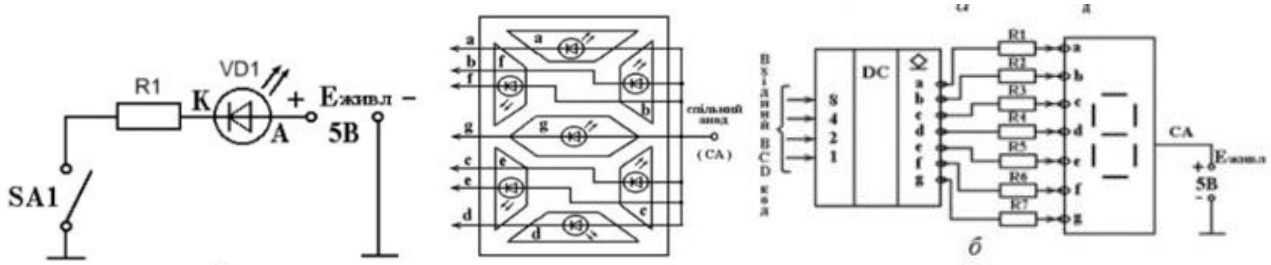
Безаперечним фактом є те, що основною функцією зазначеного приладу є індикація виміряної температури патрону. Основним конструктивним елементом, що відповідає за індикацію є семесегментний індикатор. Серед варіантів конструктивного виконання зазначеного приладу, слід особливу увагу звернути на трирозрядні індикатори, що обумовлено діапазоном вимірюваних температур. Також істотний вплив на конструктивне виконання приладу має варіант (різновид) використаних елементів випромінювання світла.

Слід виділити два різновиди елементів індикації, відповідно конструктивне виконання, конструкторська реалізація, будуть залежати саме від них. Рідкокристалічний семисегментний індикатор з напругою живлення 3 вольти, найбільш розповсюджений для використання у портативних приладах з малим енергоспоживанням (одного маловольтного елементу живлення вистачає на декілька років експлуатації приладу), тобто маємо дієздатний прилад в «гарячому» резерві. Є певні позитивні особливості використання приладу на відкритій місцевості та негативні – у темний час доби.

Слід зауважити, що невисока інтенсивність випромінювання і багаторічний термін використання одного елементу живлення перших різновидів приладів гарно відповідає концепції використання у різних зовнішніх умовах. Використання світлодіодного індикатора дозволяє отримати індикацію температури патрону у будь-який час доби у певному кольорі, але потрібне більш потужне джерело живлення. В той же час є особливості використання приладу на відкритій місцевості і в темний час доби через необхідність

Якщо використати в якості трирозрядного семисегментного індикатору світлодіоди, то маємо зазначені вище переваги, але напруга живлення становитиме 5В, тобто потрібне більш потужне (можливо більшого розміру та меншого терміну придатності). Зазначений факт зумовлює необхідність використання вмикача, що зумовить збереження ресурсу елементу живлення та забезпечить тривале використання в автономному режимі, що актуально при виконання військових специфічних і відповідальних завдань. В той же час загальна конструкція корпусу приладу буде потребувати додаткових працевитрат та обладнання через необхідність «тонкої» роботи щодо інтеграції перемикача на лицьову панель приладу.

Наведені робочі діапазони температур елементної бази дозволяють отримати адекватні дані щодо вимірюваної температури без будь-яких додаткових елементів обігріву/охолодження, що значно спрощує конструкцію і безпосередньо процес виготовлення. Схему включення одного світлодіода (сегмента) наведено на рис. 1.*а*.



а) *б)* *в)*

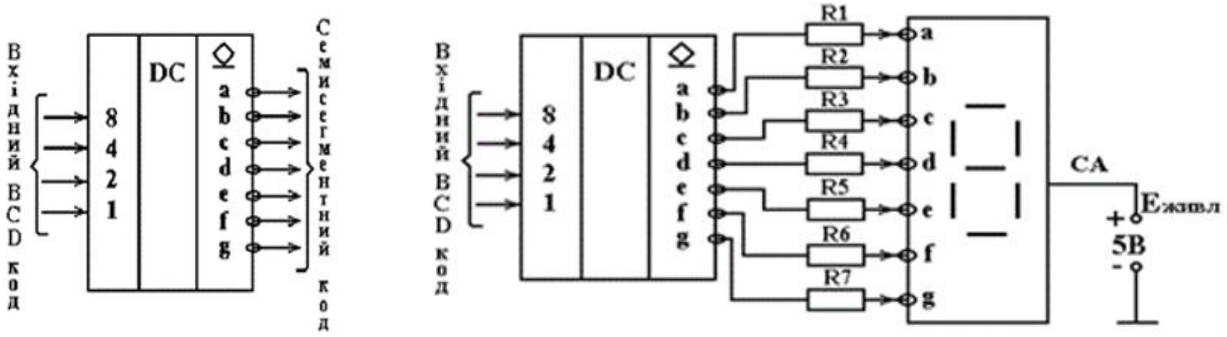
Рисунок 1 – Семисегментний індикатор на світлодіодах

Коли ключ SA1 замкнений, струм від джерела $E_{ЖИВ}$ = +5 В проходить через світлодіод, викликаючи його випромінювання. Резистор, який включено послідовно, обмежує струм до рівня, що викликає запалювання світлодіода. Без резистора, що обмежує струм, світлодіод може вийти з ладу. На виводах світлодіодів під час випромінювання з'являється напруга: $U_{VD.ПР}$, наприклад, (1,7...2) В. Як і будь-який діод, світлодіод чутливий до полярності прикладеної напруги. Щоб він був увімкнутий у прямому напрямку, катод (К) повинен бути підключений до від'ємного полюса джерела живлення (землі), а анод (А) – до його додатного полюса.

Конструкцію семисегментного індикатора на світлодіодах наведено на рис. 1.*б*. Кожен сегмент (від *a* до *g*) має світлодіод та лінзу, що фокусує випромінювання. Аноди усіх світлодіодів з'єднано разом і підключено з правої сторони індикатора до одного виводу – спільного аноду (СА). Катоди кожного світлодіода пов'язано із зовнішніми виводами, позначеними *a*, *b*, *c*,... *g*. Індикатор (рис. 1.*б*) належить до семисегментних світлодіодних індикаторів із СА. Є індикатори зі спільним катодом, використання яких можливе і обумовлене наявністю у продажу (вільний доступ до придбання) у відповідних кількостях.

На рис. 1.*в* показано керування сегментами індикатора за допомогою механічних перемикачів. Під час замикання одного з ключів SA1...SA7 струм від $E_{ЖИВ}$ = +5 В проходить: через обраний сегмент, обмежувальний резистор і замкнені контакти перемикача – на землю: (–$E_{ЖИВ}$). У цьому разі обраний сегмент буде світитися (випромінювати). Якщо, наприклад, ми бажаємо отримати на індикаторі десяткову цифру 7, то необхідно замкнути ключі SA1, SA2 і SA3, щоб випромінювали сегменти *a*, *b* і *c*. Якщо бажаємо отримати цифру 5, необхідно замкнути ключі SA1, SA3, SA4, SA6 і SA7, що заземлюють катоди сегментів *a*, *c*, *d*, *f* і *g*. Варто звернути увагу, що у світлодіодному індикаторі зі СА для активізації сегментів необхідно подати потенціал землі (логічний нуль).

Для керування роботою індикатора на рис. 1.*в* використовуються керуючі сигнали, що формуються дешифратором BCD-коду у семисегментний код. зображення такого дешифратора на електричних схемах (рис. 2.*а*) і його підключення до семисегментного світлодіодного індикатора зі спільним анодом (рис. 2.*б*).



а) *б)*

Рисунок 2 – Дешифратор BCD-коду у семисегментний код:
а – позначення; б – приклад підключення до індикатора

Як дешифратори BCD-коду у семисегментний можуть використовуватися різноманітні мікросхеми. Використана в даному пристрої, ІМС К514ИД2, позначення якої дано на рис. 2, *а*, має відкриті колекторні виходи і використовується разом з індикаторами, що мають спільний анод. У цьому разі потрібно застосування зовнішніх резисторів, що включаються між виходами дешифратора та входами індикатора (рис. 2.*б*). Припустимий струм мікросхеми дешифратора на кожному виході складає 22 мА.

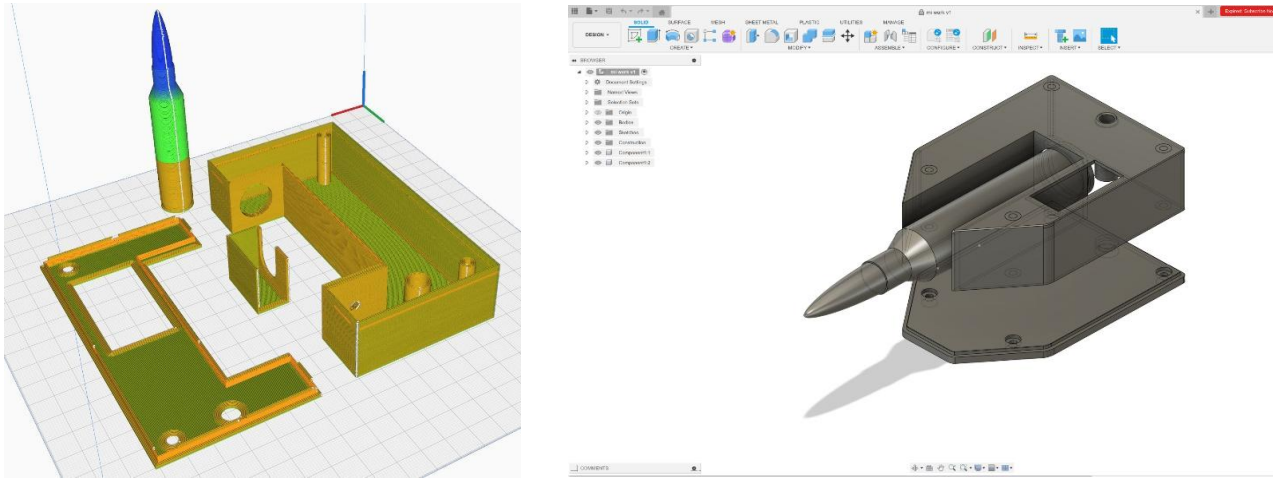
Крім інформаційних входів, на які надходить двійково-десятковий код, дешифратори можуть містити низку керувальних входів, наприклад, для скасування нулів, гасіння, контролю випромінювання, синхронізації і т. ін.

Оскільки замовлення на виготовлення пристрою вимірювання температури надійшло для патронів калібру 338 Lapua Magnum, тому саме ці геометричні розміри були вирішальними при проєктуванні двох варіантів конструктивного виконання зазначених пристроїв.

Наявність двох варіантів конструкції з двома різними типами індикації та відповідно номіналами і номенклатурою елементів живлення, дозволить забезпечити безперебійне постачання приладів, навіть при відсутності (дефіциті) складових-комплектуючих у продажі і можливості забезпечити ресурс часу при необхідності на затримання доставки замовлень з-за кордону, необхідності адаптації нової елементної бази під зазначену конструкцію приладу, чи повну переробку і створення нового варіанту конструктивного виконання зазначеного пристрою без втрати можливості відвантажувати нові створені вироби на фронт, доки ідуть виробничі переоснащення, доробки, перемовини з постачальниками, тощо.

Було створено два варіанти конструктивного виконання портативного пристрою вимірювання температури патрону (рис. 3) в залежності від використаного варіанту індикатора. Площа виробів різниться більше ніж у два рази, лінійні розміри становлять 103х55 ммхмм (рис. 3.*а*), та 54х39 ммхмм (рис. 3.*б*) при майже однаковій висоті готового виробу, що

зумовлено використанням різних типів індикаторів і, відповідно, необхідності живлення різними номіналами напруги елементів живлення.



а) *б)*

Рисунок 3 – Конструктивне виконання портативного пристрою вимірювання температури патрону

Проєктування приладу вимірювання температури патрону було зведено до задачі геометричної компоновки певної кількості складових елементів у загальному об'ємі за умови задовільнення певного переліку додаткових вимог. Ця задача формалізована і узагальнена компоновочним параметром та має вигляд:

$$W_k = F(G, V, C, \dots), \tag{7}$$

де $G, V, C, \dots$ – складові загального компоновочного параметру (маса, об'єм, енергоспоживання, тощо).

У даному проєкті потрібні параметри були представлені у вигляді:

$$\{W_G = F_G + F(G), W_V = F_V + F(V), W_C = F_C + F(C), \ \dots\ , \tag{8}$$

де $F_G, F_V, F_C, \dots$ – величини, що визначають виконання технічних вимог на конструювання, але не залежать від зміни складових компоновочних параметрів. До таких величин були віднесені елементи кріплення, електричного з'єднання (роз'єми, клеми, тощо) – захист від кліматичних, механічних впливі і т.ін.; $F(G), F(V), F(C), \dots$ – величини, що визначають виконання технічних вимог до конструкції і залежать від зміни складових компоновочних параметрів.

Знаходження оптимуму узагальненого компоновочного параметру звелося до вирішення системи рівнянь

$$\frac{\partial F(G)}{\partial G} = 0, \quad \frac{\partial F(V)}{\partial V} = 0, \quad \frac{\partial F(C)}{\partial C} = 0, \dots \ . \tag{9}$$

Було використано індикатор з інтегрованим перетворювачем (дешифратор сигналів), який під'єднується до датчику термопари і джерела живлення. Готовий виріб та процес виробництва наведено на рис. 4.

При об'ємному монтажі виробів використовувались клемники, об'ємні проводи, комутатор 2х2 та здійснювалось ручне розпаювання контактів (рис. 4.*а*). Продуктивність процесу збирання залежить від вправності, досвідченості та обізнаності задіяних в процесі збирання робітників, та зумовлює дуже великий вплив суб'єктивного чинника на якість і продуктивність технологічного процесу виготовлення пристроїв.

Паралельно здійснюється виготовлення двох варіантів конструктивного оформлення пристроїв (рис. 4.*б*) через наявність наявних запасів індикаторів двох типів. Поступове

накопичення певної кількості комплектуючих на складі дозволяє забезпечити живучість, ритмічність та безперервність серійного випробовування. Надійність, правильність і точність вимірювань для готового приладу певного конструктивного виконання оцінюється в процесі виробництва (вихідний контроль), що проілюстровано на рис. 4.*в*.

а) *б)* *в)*

Рисунок 4 – Прилад вимірювання температури патрону

Абсолютну і відносну похибку вимірювань для кожного приладу оцінює безпосередньо замовник в кожному конкретному випадку при здійсненні підготовчого етапу введення приладу в експлуатацію. Точність, похибка, відтворюваність – основні параметри зазначених приладів, які характеризують придатність, доцільність і раціональність використання приладів, що зумовлено дуже високою вартістю помилки у вимірюванні температури патрону через загрозу людському життю.

Станом на поточний момент здійснюється ручне збирання невеликих партій приладів з оперативною відправкою у зону бойових дій, що зумовлено повномасштабною війною в країні. Відзиви від використання та пропозиції щодо вдосконалення конструкції надходять регулярно і тим самим відбувається апробація та вдосконалення конструкції виробу, обсяг замовлень зумовлює оптимізацію ланцюга постачання і технології збирання.

Параметри оптимізації виробництва, зокрема, забезпечення технологічності і ритмічності збирання виробів обмежуються фактором наявності замовлень на іншу номенклатуру виробів, потрібних на фронті, зокрема БПЛА та їх складових. Підналагодження процесу виробництва досліджених приладів вимірювання температури патрону під масове серійне виробництво здійснюється безповоротно, але в умовах кадрового, матеріально-технічного та фінансового дефіциту, тому стикається з певними труднощами та повільним темпом, але ретельне вивчення зазначених потреб, набутий досвід і зворотній зв’язок від використання, що супроводжується наявністю елементної бази та конструктивним і проєктним оформленням приладу, дозволяють системно та продуктивно виготовляти зазначені прилади, поступово виходячи на потрібний обсяг виробництва.

Висновки і перспективи. Теоретично досліджено вплив температури патрону на якісні характеристики процесу стрільби, зокрема при зміні температури заряду і повітря на однакову величину, було отримано висновок, що збільшення температури заряду патрона і повітря сприяють незначному збільшенню тривалості лету кулі та її кінцевої швидкості, але суттєвому збільшенню дальності її лету.

Запропоновано геометричне оформлення пристрою, а саме було створено два варіанти конструктивного виконання портативного пристрою вимірювання температури патрону в залежності від використаного варіанту індикатора. Площа виробів різниться більше ніж у два рази, лінійні розміри становлять 103х55 ммхмм та 54х39 ммхмм при майже однаковій висоті

готового виробу, що зумовлено використанням різних типів індикаторів і, відповідно, необхідності живлення різними номіналами напруги елементів живлення.

Проаналізовано елементну базу та виконано проєктування прототипів приладу вимірювання температури патрону, який задовольняє певним схемотехнічним, конструкторським та технологічним параметрам, безпосередньо виготовлено дрібні партії виробів двох різновидів, передано на апробацію в умовах експлуатації та здійснено первинне відналагодження процесу збирання. За результатами тестових випробовувань скореговано ланцюги постачання складових, конструкцію приладу і технології збирання.

Перспективами подальших розвідок є оцінка попиту на готові виробу, динаміка номенклатури відкритого продажу складових, оцінка параметрів технологічного процесу збирання та з'ясування витрат на виробництво і ринкової вартості приладу, оскільки зазначена діяльність носить інноваційний, ініціативний та волонтерський характер.

Список використаних джерел

1. Jiawu, L., Ronggang, C., Anqi, Z., Yuxi, C., & Yu, Z. (2024). An inner surface image acquisition and fusion method of narrow and long atypical cavity based on multi-camera parallel moving image acquisition. Lecture Notes in Electrical Engineering, 1161, 306–318. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0869-7_34.
2. Woodruff, C., Dean, S. W., Cagle, C., Croessmann, C. L., & Pantoya, M. L. (2022). Comparing pyrometry and thermography in ballistic impact experiments. Measurement, 189, Article 110488. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110488.
3. White, A. J. (2022). Mixed stochastic-deterministic time-dependent density functional theory: Application to stopping power of warm dense carbon. Journal of Physics: Condensed Matter, 34(17), Article 174001. https://doi.org/10.1088/1361-648X/ac4f1a.
4. Ma, Z.-X., Huang, J., Shi, A.-H., Hu, H.-Y., Li, Y., & Liu, S. (2015). The analysis technique for ejecta cloud temperature based on atomic spectrum. Procedia Engineering, 103, 357–364. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.04.033.
5. Gao, L., Di, C., Kong, D., & Liu, X. (2012). Design and simulation of missile-borne measuring device shell. Applied Mechanics and Materials, 152–154, 1258–1261. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.1258.
6. Xu, W., Yuan, W., Xu, R., Zhao, H., Cheng, W., Zhang, D., Zhao, Y., & Yan, P. (2017). Non-contact and contact measurement system for detecting projectile position in electromagnetic launch bore. Measurement Science and Technology, 28(12), Article 125902. https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa9442.
7. Durda, D. D., Walker, J. D., Chocron, S., Housen, K. R., Grosch, D. J., Marchi, S., Flynn, G. J., & Strait, M. M. (2019). Laboratory impact experiments with decimeter-to meter-scale targets to measure momentum enhancement. Planetary and Space Science, 178, Article 104694. https://doi.org/10.1016/j.pss.2019.07.008.
8. McIntosh, A. B., Hagel, K., McIntosh, L. A., & Yennello, S. J. (2022). Temperatures of compound nuclei produced in complete and incomplete fusion and the role of neutron excess. Il Nuovo Cimento C, 45(3), Article 47. https://doi.org/10.1393/ncc/i2022-22047-2.
9. Yu, J., Li, Y., & Wang, X. (2009). Theory of ballistic trajectory measurement using a multireflective laser light screen target. Proceedings of SPIE, 7382, Article 73823E. https://doi.org/10.1117/12.834303.
10. Kim, Y. K., & Choi, W. C. (2018). Ricochet of spheres on sand of various temperature. Defence Science Journal, 68(2), 150–158. https://doi.org/10.14429/dsj.68.11846.
11. Carton, E. P., & Roebroeks, G. H. J. J. (2013). Thermal imaging during ballistic testing of armour materials. In Proceedings of the 27th International Symposium on Ballistics (Vol. 2, pp. 1079–1089).
12. Ministry of Defence of Ukraine. (2006). Nastanova zi strilets′koyi spravy 7,62-mm snaypers′ka hvyntivka Drahunova (S·HD) [Manual on shooting for the 7.62-mm Dragunov sniper rifle (SVD)]. Kyiv.

Smolij Viktorija
Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Systems and Technologies, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1268-7837
E-mail: vmsmolij@nubip.edu.ua

Shepeleva Maryna
FOP, Archi-design Workshop, Kyiv, Ukraine
E-mail: archi.ukr@ukr.net

Smolij Natan
Postgraduate Student of the specialty "Information Systems and Technologies", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-3763-6726
E-mail: hoibbitizukrainy@gmail.com

Shepelev Nikita
Student of the specialty "Information Systems and Technologies", National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
E-mail: ist23-m.shepeliev@nubip.edu.ua

DESIGN OF A CARTRIDGE TEMPERATURE MEASURING DEVICE

Abstract. *The work is devoted to the current topic of designing and manufacturing mobile, portable, ergonomic and accurate devices for measuring disturbing extraneous factors (in particular, the temperature of the cartridge), which undoubtedly and significantly affect the accuracy of the performance of a military task, namely sniper shooting. The purpose of the article is to create a cartridge temperature measuring device that meets certain schematic, design and technological parameters, manufacture a product prototype, test it in operating conditions and debug the assembly process. In the material of the article, the effect of cartridge temperature on the qualitative characteristics of the shooting process was investigated, in particular, when the temperature of the charge and air changed by the same amount, it was concluded that an increase in the temperature of the charge of the cartridge and air contribute to a slight increase in the duration of the bullet's flight and its final speed, but a significant increase in range her flight. The geometric design of the device is presented, namely, two variants of the design of a portable cartridge temperature measuring device were created depending on the indicator variant used. The area of the products differs by more than two times, the linear dimensions are 103x55 mm x mm and 54x39 mm x mm with almost the same height of the finished product, which is due to the use of different types of indicators and, accordingly, the need to be powered by different voltage ratings of power cells. Proposed prototypes of the device for measuring the temperature of the cartridge, which satisfy certain schematic, design and technological parameters, small batches of products of two varieties were directly manufactured, submitted for approval under operating conditions, and initial debugging of the assembly process was carried out. Based on the results of the tests, the supply chains of the components, the design of the device and the assembly technology were adjusted. Prospects for further research should include the need for more detailed study of the issues of assessing the demand for finished products, the dynamics of the nomenclature of the open sale of components, the parameters of the technological process of assembly and finding out the costs of production and the market value of the device, since the specified activity is innovative, proactive and volunteer in nature.*

Keywords: *cartridge, temperature measurement, device, design, indicator, decoder, layout, geometric dimensions, soldering, assembly, manufacturing, testing, production*