

І. А. Пількевич, А. М. Токар, Р. І. Лобода, В. В. Лобода

**АЛГОРИТМИ ОЦІНЮВАННЯ ЧАСУ СЕНСОМОТОРНИХ РЕАКЦІЙ  
ОПЕРАТОРІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Стрімкий розвиток науки та техніки зумовлює значне розширення сфер застосування безпілотних авіаційних комплексів різного призначення. Запорукою їх ефективного використання є якісна підготовка операторів, важливий елемент якої – це професійний психологічний відбір кандидатів, зокрема, оцінювання їх сенсомоторних реакцій. Його можна забезпечити шляхом вибору та обґрунтування відповідних алгоритмів оцінювання. У статті запропоновано алгоритми, які дають можливість оцінити час сенсомоторних реакцій оператора безпілотних авіаційних комплексів I класу на основі накопичення статистичного матеріалу та його математичного оброблення за результатами проведення натурного експерименту. Це дозволяє оцінити числові характеристики розподілу тривалості середнього часу реакції в трьох режимах: вироблення навички, в умовах перешкод, в умовах перебудови навички, – та, зрештою, отримати узагальнену оцінку. Шляхом аналізу випадкових неперервних величин, що набувають значення з деякого проміжку, вдалося встановити нормативи, з якими порівнюють отримані показники часу сенсомоторної реакції оператора безпілотних авіаційних комплексів I класу та формується висновок щодо їх придатності до навчання. У роботі наведено результати апробації запропонованих алгоритмів, отримано статистичні ряди для трьох режимів оцінювання. Для наочного подання рядів побудовано відповідні гістограми розподілу тривалості середнього часу реакції. З метою усунення похибки репрезентативності здійснено вирівнювання статистичних рядів шляхом підбору для кожного теоретичної кривої розподілу, що відображає лише суттєві риси статистичного матеріалу. Для цього застосовано апроксимацію гістограми розподілу поліномом четвертого ступеня. Встановлено інтервал теоретичної щільності розподілу, потрапляння в який часу сенсомоторної реакції довільної особи вважається нормою за заданої ймовірності достовірності такої події 0,95. Для перевірки дієвості запропонованої методики синтезовано алгоритм оцінювання часу сенсомоторної реакції оператора безпілотних авіаційних комплексів I класу в трьох режимах та розроблено відповідне програмне забезпечення, що реалізує розроблений алгоритм.

**Ключові слова:** безпілотний авіаційний комплекс; сенсомоторна реакція; середній час реакції.

**Постановка проблеми в загальному вигляді** Аналіз бойових дій у період повномасштабного вторгнення РФ на територію України показав ефективність застосування безпіотної авіації в досягненні переваги над противником. На сьогоднішній день методи дослідження технічних систем дозволяють успішно встановлювати закономірності виникнення відмов пристроїв та способи їх прогнозування. Це дає змогу проектувати та виготовляти оптимальні пристрої, з яких комплектуються бортова та

© І. А. Пількевич, А. М. Токар, Р. І. Лобода, В. В. Лобода, 2022

наземна апаратура безпілотних авіаційних комплексів (БпАК). Організаційно-штатна структура підрозділів, режими праці та відпочинку обґрунтовані відповідно до інтенсивності застосування БпАК [1]. У ході аналізу було встановлено, що однією з причин зниження ефективності застосування БпАК у Збройних Силах (ЗС) України є недостатня професійна надійність членів екіпажів, під якою розуміють безвідмовність, безпомилковість та своєчасність їх дій, направлених на виконання бойового завдання в процесі взаємодії з апаратурою БпАК та між собою. Професійна надійність оператора безпосередньо залежить від його психофізіологічних якостей. Тому актуальним є розроблення алгоритмів оцінювання часу сенсомоторних реакцій операторів безпілотних літальних апаратів (БпЛА).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [2] розглянуто один з перших приладів для реєстрації часу реакції, розроблений в Інституті авіаційної медицини в 1948 році. Це був комбінований апарат для дослідження сенсомоторних реакцій. Пристрій також активно використовувався для оцінювання реакції на зоровий стимул машиністів залізничного транспорту. Він дозволяв вимірювати прості та складні сенсомоторні реакції. У [3] описано прилад “Темп”, що діє за схожим принципом та є вимірювачем часу реакцій, його використовують для визначення тривалості сенсомоторних реакцій операторів за різними профілями діяльності в республіці білорусь (рб). Він дає можливість оцінити час реакції людини на світлові та звукові подразники.

Крім того, у рб для оцінювання часу як простої, так і складної сенсомоторної реакції використовують вимірювальний комплекс РКР-2 (реєстратор комплексу реакцій), який складається з вимірювально-комутаційного блоку та блоку подразників, додаткового обладнання (блок живлення, комплекту кабелів тощо) [3].

Недоліками розглянутих приладів є значні масогабаритні показники, застаріла конструкція, необхідність ручного знімання та оброблення результатів після подачі кожного сигналу, що потребує багато часу для проведення оцінювання сенсомоторної реакції. Звісно, значно звужують можливості використання цих приладів.

У сучасних вітчизняних психофізіологічних дослідженнях з метою оцінювання сенсомоторних реакцій кандидатів для виконання робіт підвищеної небезпеки застосовується пристрій психофізіологічного тестування “Психофізіолог” [4]. Він дозволяє здійснювати низку психофізіологічних тестів, зокрема, оцінювання простих сенсомоторних реакцій на зорові та слухові подразники.

Також для оцінювання часу реакції людини на світлові та звукові подразники використовують апаратний комплекс “Хист”, розроблений Інститутом психології ім. Г. С. Костюка Національної академії педагогічних наук України спільно з кафедрою акустики та акустоелектроніки Національного технічного університету “Київський політехнічний інститут” і виготовлений Державним підприємством “Телеком-пневматик” [5]. Призначений для вимірювання часу простої сенсомоторної реакції людини на світловий і звуковий подразник (окремо обчислюються реакції верхніх і нижніх кінцівок).

У рб для психофізіологічного супроводження професійного контингенту Міністерства надзвичайних ситуацій, Міністерства внутрішніх справ, Федеральної служби виконання покарань, інших силових відомств застосовується апаратно-програмний комплекс “НС-Психотест”, який дозволяє досліджувати сенсомоторні реакції на зорові та звукові стимули [4, 6].

Методики психодіагностики в спорті передбачають використання спеціалізованого апарата типу “Абдів” [7]. Прилад призначений для оцінювання сенсомоторних реакцій спортсменів та передбачає здійснення ними координованих рухів двома руками або руками і ногами у відповідь на звукові або світлові подразники.

На даний час у ЗС України для оцінювання сенсомоторних реакцій кандидатів на навчання за спеціалізацією “Льотна експлуатація та бойове застосування літаків” у Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба застосовують спеціалізований прилад психологічного відбору ППВ-2 [8], який передбачає виконання рухів, специфічних для пілота літака: рухів важелів руками та педалей ногами у відповідь на спалахи різнокольорових лампочок.

Отже, за результатами аналізу не вдалося виявити комплексів для оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА. Встановлено, що для оцінювання простих сенсомоторних реакцій операторів за різними профілями діяльності використовуються пристрої, що передбачають вимірювання часу реакції на заздалегідь відомий зоровий або звуковий стимули. При цьому спостерігається тенденція до переходу від суто апаратних засобів до апаратно-програмних комплексів. Оцінювання складних сенсомоторних реакцій здійснюється за допомогою пристроїв з більш складним алгоритмом роботи з використанням ПЕОМ, які передбачають здійснення рухів, що властиві оператору певного профілю в його подальшій професійній діяльності, у відповідь на зорові або звукові стимули. Але жоден з описаних вище приладів не оцінює рухи, які є характерними саме операторам БпЛА.

**Формулювання завдання дослідження.** Виконання бойового завдання екіпажем БпАК залежить від професійної надійності його членів та технічної складової БпАК. Під професійною надійністю розуміють безвідмовність, безпомилковість та своєчасність їх дій, направлених на виконання бойового завдання, у процесі взаємодії з апаратурою БпАК та між собою. Професійна надійність оператора безпосередньо залежить від його психофізіологічних якостей [9]. Тому актуальним є розроблення алгоритмів оцінювання часу сенсомоторних реакцій операторів БпЛА.

**Виклад основного матеріалу.** Головним напрямком забезпечення необхідного рівня надійності операторів є формування їх професійної придатності, під якою розуміють наявність у людини необхідних психофізіологічних і психологічних властивостей, які відповідають конкретному фаху й забезпечують достатню ефективність професійної діяльності [9]. Процес формування професійної придатності передбачає створення системи професійного відбору та підготовки до певного профілю операторської діяльності (методи, засоби, програми, критерії, тренажери тощо) [9, 10]. Важливою складовою цієї системи є професійний психологічний відбір (ППВ) кандидатів на навчання, який полягає в проведенні комплексу заходів, спрямованих на забезпечення якісного відбору кандидатів, шляхом оцінювання відповідності рівня розвитку необхідних психофізіологічних якостей та властивостей особистості вимогам професійної діяльності [11].

Одним із основних етапів ППВ операторів БпЛА є оцінювання їх сенсомоторних реакцій, що передбачає застосування спеціалізованого апаратно-програмного комплексу. Аналіз літератури щодо відомих комплексів оцінювання сенсомоторних реакцій

операторів БпЛА не дав результатів. У той же час було виявлено, що поширені комплекси оцінювання сенсомоторних реакцій за різними профілями діяльності не враховують специфіки сенсомоторики оператора БпЛА.

Отже, розроблення алгоритмів оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА є актуальним науково-практичним завданням.

Для розроблення спеціалізованого програмного забезпечення апаратно-програмного комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА були використані принципи подійно-орієнтованого програмування, за якого послідовність виконання програмного коду визначається подіями: діями користувача (за допомогою клавіатури, маніпулятора типу “миші” тощо); повідомленнями інших програм і потоків; операційною системою (наприклад, надходження мережевого пакету, виникнення програмного чи апаратного переривання) тощо.

Основу алгоритму подійно-орієнтованої програми становить нескінченний цикл почергового опитування апаратного та програмного сегмента на наявність подій. Якщо в ході опитування виявиться, що поточний (у порядку черги опитування) елемент згенерував якусь подію (наприклад, натискання однієї з кнопок маніпулятора типу “миші”), то запускається підпрограма-аналізатор подій від даного елемента. Після аналізу та ідентифікації розпочинає роботу підпрограма-обробник події, яка виконує набір дій, необхідних для обслуговування тієї події, яка їх викликала. Як правило, підпрограма-обробник запускається на виконання в окремому потоці, який проходить паралельно із тим потоком, який виконує нескінченний цикл опитування оточення на предмет виникнення нових подій. У такий спосіб можливим є виконання декількох потоків паралельно (точніше, псевдопаралельно, з квантуванням машинного часу між ними). Кожна із підпрограм-обробників подій, у свою чергу, також може бути побудована як подійно-орієнтована.

Виходячи із розглянутих принципів, були розроблені програмні модулі спеціалізованого програмного забезпечення апаратно-програмного комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА. Для цього, відповідно до структури спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 1), розроблено алгоритми оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в режимах: вироблення навички; в умовах перешкод; в умовах удосконалення виробленої навички.

Алгоритми оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА було розроблено на основі змісту обстеження, який полягає в тому, що оператор повинен відповідати рухами ручок управління пульта на світлові сигнали, що з’являються на екрані ПЕОМ у швидкому темпі. Світлові сигнали подаються за допомогою лампочок двох кольорів.

У правому квадраті розташовано вісім червоних лампочок, що потребують виконання рухів правим маніпулятором пульта керування. У лівому квадраті розташовано вісім зелених лампочок для виконання рухів лівим маніпулятором пульта керування (в умовах удосконалення навички червоні лампочки потребують виконання рухів лівим маніпулятором пульта керування, зелені – правим). Завдання полягає в тому, щоб якнайшвидше відреагувати рухами маніпуляторів на загоряння лампочки, яка світиться доти, доки не буде зроблено правильний рух.

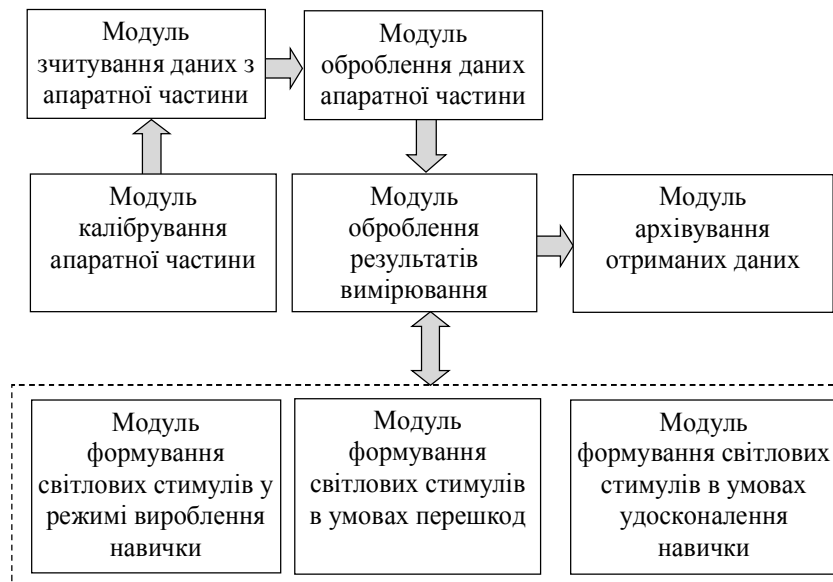


Рис. 1. Структура спеціалізованого програмного забезпечення

По зовнішньому периметру розташовані лампочки, що створюють перешкоди (візуальні сигнали, які відволікають). Розташування лампочок у вікні програми наведено на рис. 2.

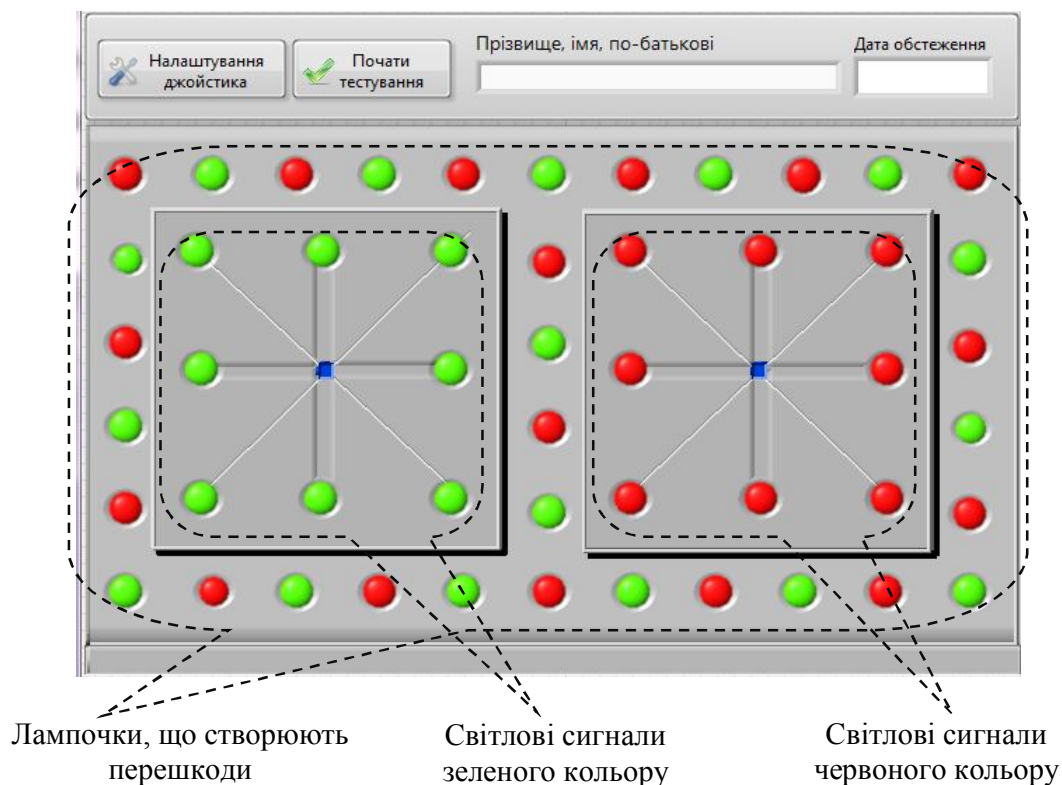


Рис. 2. Розташування лампочок у вікні програми

Перед початком тестування здійснюється калібрування апаратної частини. Результати оцінювання записуються в текстовий файл, який можна переглядати в середовищі Microsoft Office Excel або Word. У ході оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БПЛА в умовах вироблення навички спалахують лише лампочки, розташовані у квадратах

(див. рис. 2). Вимкнути лампочку можна, зробивши рух відповідним маніпулятором пульта в її напрямку. Відповідно до цього був розроблений алгоритм оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички, блок-схему якого наведено на рис. 3.

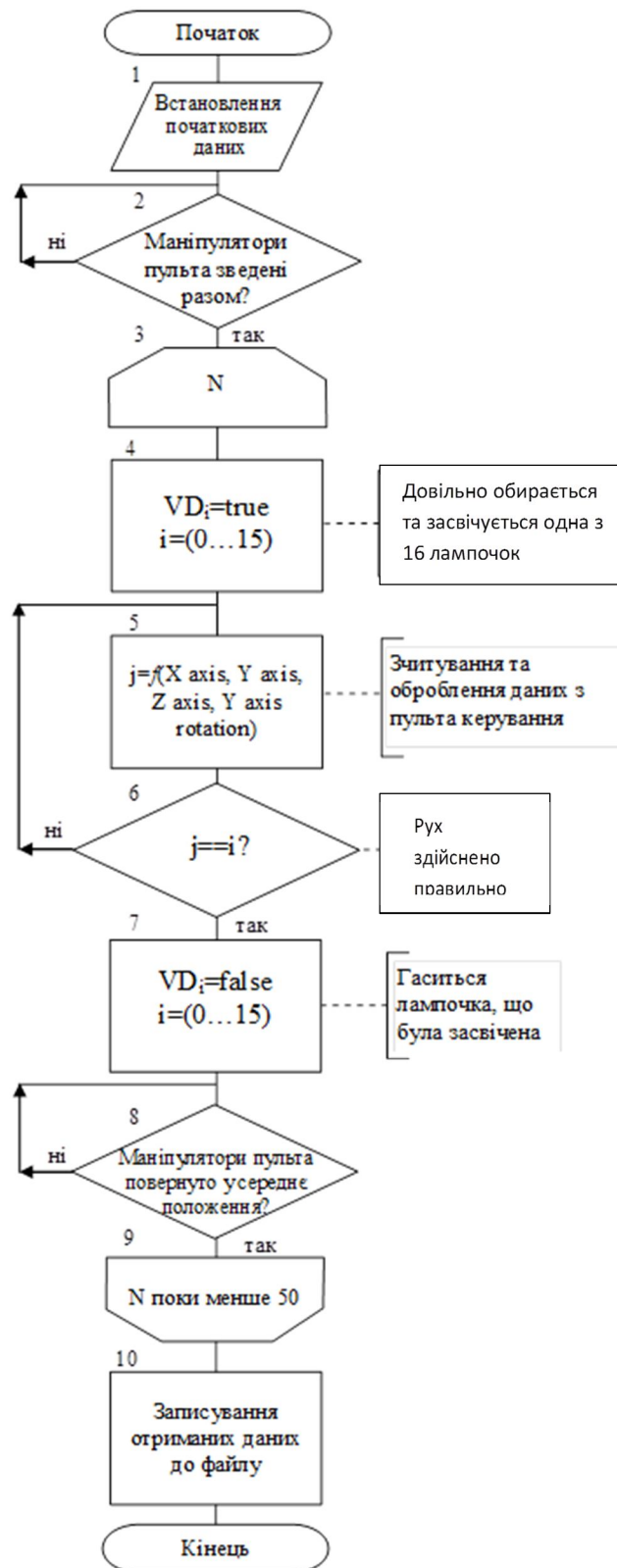


Рис. 3. Блок-схема алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички

Робота алгоритму починається зі встановлення початкових даних (рис. 3, блок 1). Тестування стартує після зведення правого та лівого маніпуляторів пульта до середини (рис. 3, блок 2). Після цього запускається цикл (рис. 3, блоки 3, 9) на 50 ітерацій. У циклі довільно обирається та засвічується одна з 16 лампочок, розташованих у квадратах (рис. 3, блок 4), після чого програма зчитує дані з пульта та обробляє їх, визначаючи напрямок руху маніпуляторів (рис. 3, блок 5). Зчитування відбувається доти, доки не буде здійснено правильний рух маніпулятором (рис. 3, блок 6). У разі правильного руху маніпулятором світло лампочки гаситься (рис. 3, блок 7).

Наступна лампочка засвічується тільки після повернення маніпулятора-пульта в початкове положення (рис. 3, блок 8). Після закінчення циклу отримані дані записуються до файлу (рис. 3, блок 10) і робота алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички завершується.

Відповідно до запропонованого алгоритму був розроблений програмний модуль оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички.

Під час оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод разом з лампочками, розташованими в квадратах, спалахують також ті, що розташовані по зовнішньому периметру та призначені для створення перешкод (візуальних сигналів, які відволікають) (див. рис. 2). Вимкнути лампочки можна, зробивши рух відповідним маніпулятором пульта в напрямку лампочки, яка засвітилася в квадратах. Відповідно до цього був розроблений алгоритм оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод, блок-схему якого наведено на рис. 4.

Робота алгоритму починається зі встановлення початкових даних (рис. 4, блок 1). Тестування стартує після зведення правого та лівого маніпуляторів пульта до середини – початкового положення (рис. 4, блок 2). Після цього запускається цикл (рис. 4, блоки 3, 11) на 50 ітерацій. У циклі довільно обирається та засвічується одна з 16 лампочок, розташованих у квадратах (рис. 4, блок 4), та одна з 34 лампочок, що створюють перешкоди (рис. 4, блок 5), після чого програма зчитує дані з пульта та обробляє їх, визначаючи напрямок руху ручок управління (рис. 4, блок 6). Зчитування даних відбувається до того часу, поки не буде здійснено правильний рух маніпулятором (рис. 4, блок 7). У такому разі світло лампочки гаситься (рис. 4, блоки 8, 9). Наступні лампочки засвічуються лише після повернення маніпулятора пульта в початкове положення (рис. 4, блок 10). Після закінчення циклу отримані дані записуються до файлу (рис. 4, блок 12) і робота алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод завершується.

Відповідно до запропонованого алгоритму був розроблений програмний модуль оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод.

Особливістю оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички є необхідність здійснення дзеркальних рухів маніпуляторами пульта у відповідь на загорання лампочок. Тобто на загорання червоних лампочок, розташованих у правому квадраті, необхідно реагувати рухами лівого маніпулятора пульта, а зелених у лівому квадраті – рухами правого маніпулятора управління (див. рис. 2).

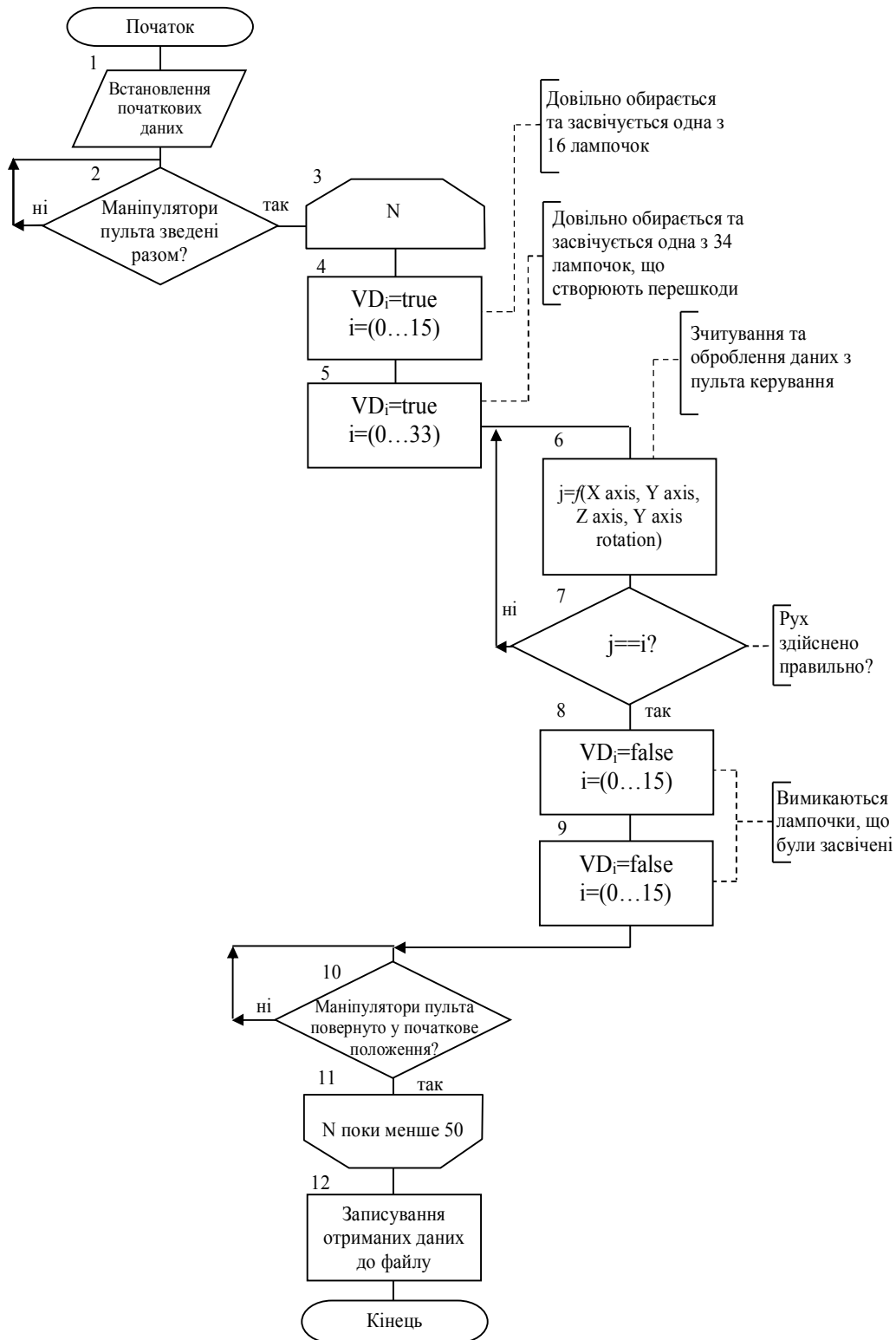


Рис. 4. Блок-схема алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод

Відповідно до цього був розроблений алгоритм оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички, блок-схему якого наведено на рис. 5.

Робота алгоритму починається зі встановлення початкових даних (рис. 5, блок 1). Тестування стартує після зведення правої та лівої ручок управління пульта до середини (рис. 5, блок 2). Після цього запускається цикл (рис. 5, блоки 3, 10) на 50 ітерацій.



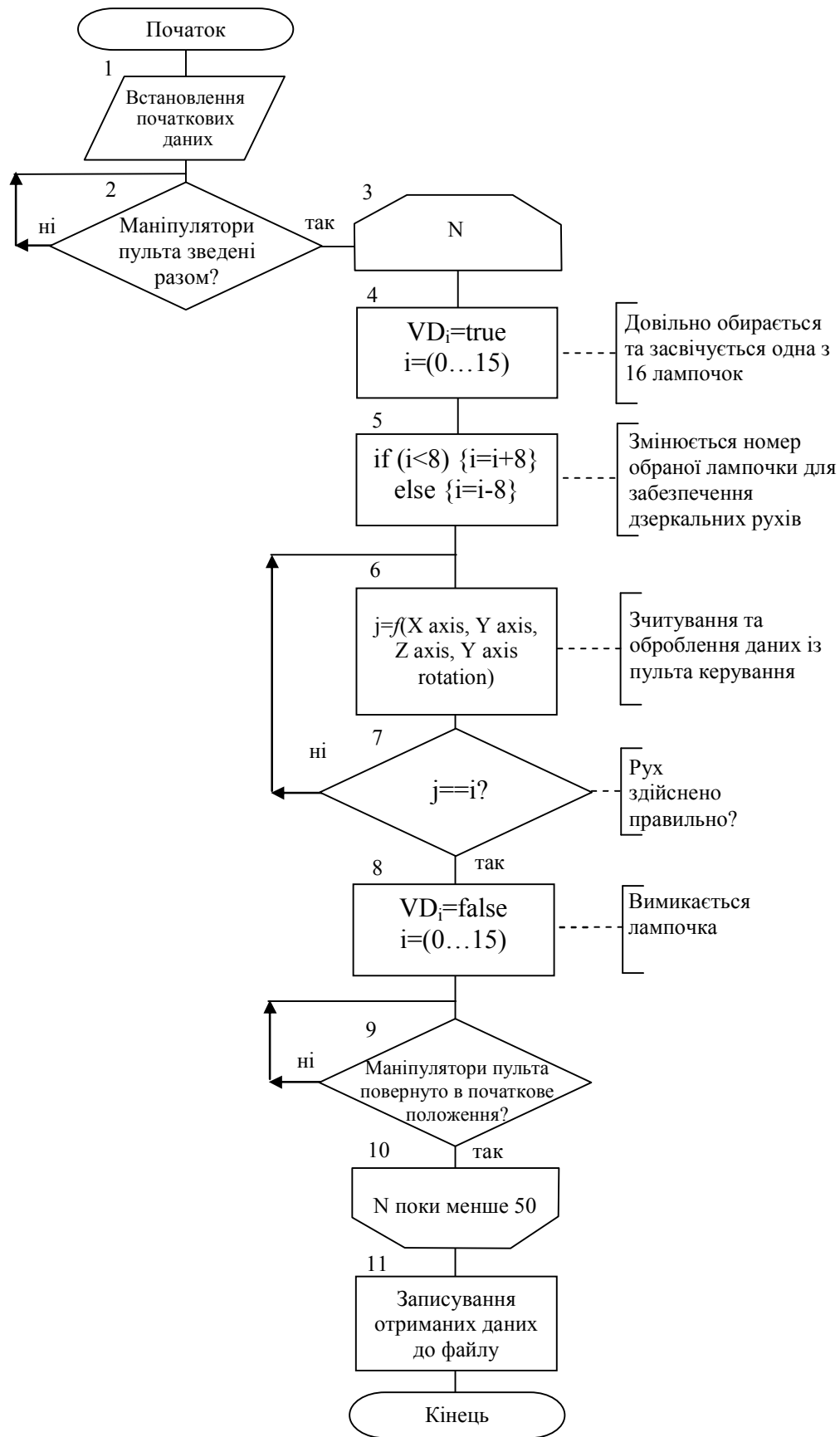


Рис. 5. Блок-схема алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички

У циклі довільно обирається та засвічується одна з 16 лампочок, розташованих у квадратах (рис. 5, блок 4). У блоці 5 алгоритму відбувається зміна номера лампочки, що була засвічена таким чином, щоб забезпечити її погашення дзеркальним рухом маніпулятора пульта. У подальшому програма зчитує дані з пульта та обробляє їх, визначаючи напрямок руху маніпулятора (рис. 5, блок 6).

Зчитування відбувається доти, доки не буде здійснено правильний рух маніпулятором управління (рис. 5, блок 7). У разі правильного руху маніпулятором світло лампочки вимикається (рис. 5, блок 8). Наступна лампочка засвічується тільки після повернення маніпулятора пульта у початкове положення (рис. 5, блок 9). Після закінчення циклу отримані дані записуються до файлу (рис. 5, блок 11) і робота алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перебудови навички завершується.

Відповідно до запропонованого алгоритму був розроблений програмний модуль оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички.

Для оцінювання сенсомоторної реакції операторів БпЛА з використанням розробленого апаратно-програмного комплексу було обґрунтовано критерії [3], згідно з якими здійснюватиметься розрахунок узагальненої оцінки за результатами оброблення вимірних величин тривалості реакцій операторів БпЛА в різних режимах тестування.

На даний час проведено значну кількість досліджень щодо визначення загального часу сенсомоторних реакцій та його компонентів [3]. У результаті накопичено достатній статистичний матеріал та обґрунтовано нормативи, що дозволяє використовувати розроблені алгоритми для визначення сенсомоторних реакцій людини в різних галузях діяльності [2–7, 12].

Особливістю досліджень є використання спеціалізованих методик та систем (комплексів) оцінювання сенсомоторних реакцій залежно від мети, характеристик тих, хто обстежується (вік, стать, професійна діяльність тощо), типу сенсомоторної реакції (проста, складна) та її періодів (латентний, моторний) тощо. Критерії оцінювання сенсомоторної реакції обґрунтовуються в кожному дослідженні окремо, відповідно до обраної методики та системи (комплексу) і зазначених особливостей.

Отже, розроблення нового комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій потребує обґрунтування відповідних критеріїв, за якими буде здійснюватися розрахунок узагальненої оцінки за результатами оброблення вимірних величин тривалості реакцій.

Найбільш поширеним підходом до обґрунтування критеріїв та нормативів оцінювання сенсомоторної реакції є накопичення статистичного матеріалу та його математичне оброблення [3, 6, 12]. Для визначення критеріїв розрахунку узагальненої оцінки сенсомоторних реакцій операторів БпЛА було проведено апробацію розробленого апаратно-програмного комплексу під час проведення курсів підготовки операторів БпАК А1-СМ “Фурія” та Spagrow на базі Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. У результаті було отримано статистичні дані щодо тривалості сенсомоторних реакцій кандидатів на навчання в умовах вироблення та вдосконалення навички, а також перешкод. Наведені значення є випадковими неперервними величинами, що можуть приймати значення з деякого проміжку. Тобто постає завдання,

що полягає у встановленні нормативу, з яким будуть порівнюватися отримані значення та прийматися рішення щодо придатності кандидатів до навчання. Для вирішення поставленого завдання необхідно оцінити числові характеристики отриманих даних у кожному з трьох режимів.

Для оцінювання числових характеристик розподілу тривалості середнього часу реакції побудуємо статистичні ряди для трьох режимів оцінювання (табл. 1). Для цього розділимо весь діапазон отриманих значень на інтервали та підрахуємо кількість значень  $x_i$ , що потрапили у кожен  $i$ -й інтервал [13].

Таблиця 1

Статистичний ряд отриманих значень

$i$	$x_i$ в умовах вироблення навички, с	$x_i$ в умовах перешкод, с	$x_i$ в умовах перебудови навички, с
0,8–0,9	2	1	5
0,9–1,0	1	1	5
1,0–1,1	11	4	7
1,1–1,2	17	9	7
1,2–1,3	10	13	8
1,3–1,4	6	11	10
1,4–1,5	9	8	4
1,5–1,6	3	4	5
1,6–1,7	4	7	4
1,7–1,8	1	7	6
1,8–1,9	1	1	2
1,9–2,0	0	1	1
2,0–2,1	0	0	1
2,1–2,2	1	0	1
2,2–2,3	1	0	1

На підставі отриманого статистичного ряду побудуємо гістограми розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах вироблення навички (рис. 3), перешкод (рис. 4), удосконалення навички (рис. 5).

У наведених статистичних розподілах присутня помилка репрезентативності, тому в ході оброблення даного статистичного матеріалу необхідно розв'язати задачу вирівнювання статистичного ряду, що полягає в підборі для нього теоретичної кривої розподілу, яка буде відображати лише суттєві риси статистичного матеріалу, а не випадковості, пов'язані з недостатнім об'ємом експериментальних даних [13]. Для цього проведемо апроксимацію гістограми розподілу поліномом четвертого ступеня (див. рис. 6–8) у середовищі Microsoft Office Excel.

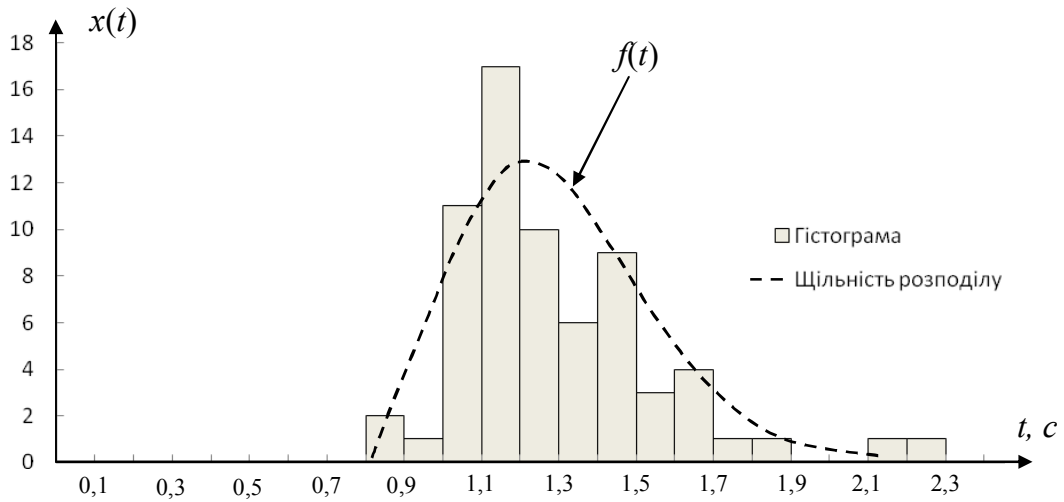


Рис. 6. Гістограма розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах вироблення навички

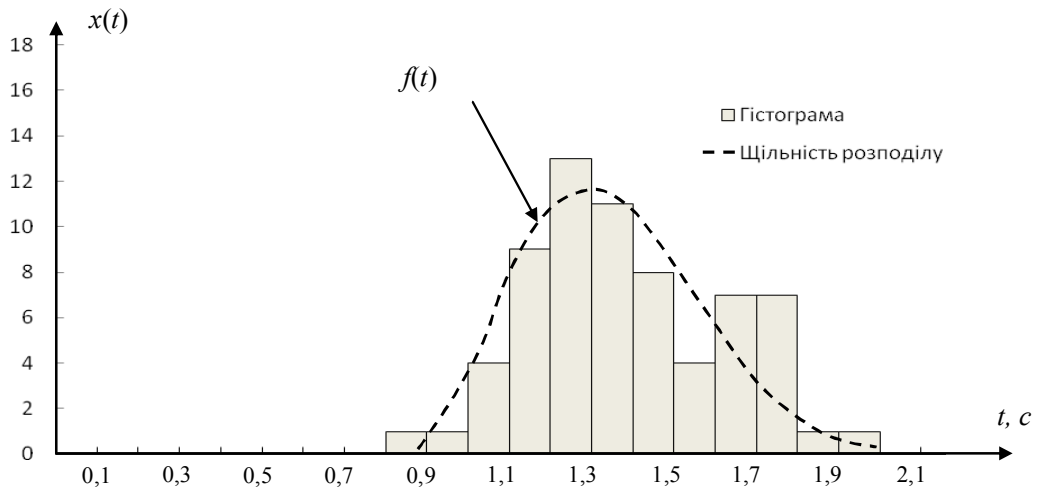


Рис. 7. Гістограма розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах переходу

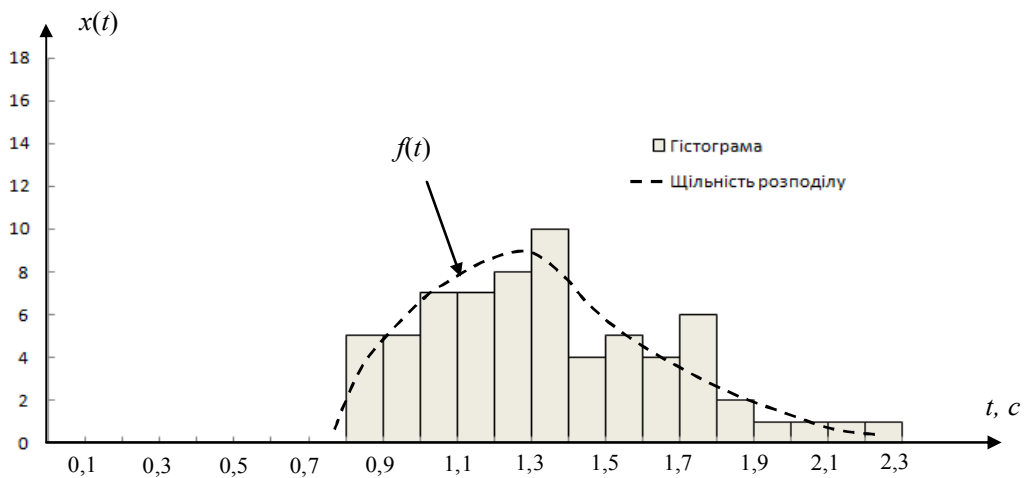


Рис. 8. Гістограма розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах удосконалення навички

У результаті отримаємо теоретичні щільності розподілу тривалості середнього часу реакції. Для обґрунтування критерію, згідно з яким буде здійснюватися розрахунок узагальненої оцінки сенсомоторної реакції операторів БпЛА необхідно встановити інтервал теоретичної щільності розподілу, попадання в який тривалості сенсомоторної реакції довільної особи вважається нормою. При цьому задамося ймовірністю достовірності такої події – 0,95. Тобто необхідно знайти величини, що обмежують графік розподілу ліворуч та праворуч, за яких виконується така умова:

$$\int_a^b f(t)dt = 0,95. \quad (1)$$

Апріорно більшістю дослідників припускається, що розподіл часу сенсомоторних реакції близький до нормального. Однак отриманий графік щільності розподілу тривалості середнього часу реакції має асиметрію, що узгоджується із численними експериментальними роботами, у яких показано, що розподіл часу реакції в більшості випадків має значущу позитивну асиметрію [3, 8, 14]. Дане явище має переконливе пояснення: для часу реакції характерна наявність жорсткої нижньої межі, обумовленої фізіологічними можливостями людини та комплексу, на якому проводиться дослідження, верхня ж межа змінюється в широкому діапазоні і зазвичай пов'язується з особливостями випробуваного.

Встановлення закону розподілу величин зі щільністю розподілу, зображеною на рис. 6–8, та обчислення його параметрів потребують проведення додаткових досліджень. Тому, враховуючи необхідність визначення нормативу тільки для верхньої межі вимірних значень, у подальших розрахунках обмежимося даними, що описують праву гілку щільності розподілу відносно її моди. У разі збільшення спостережень розглянута гілка буде наближатися до відповідної гілки щільності розподілу нормального закону [16] з математичним очікуванням  $m_t$ , що дорівнює моді щільності розподілу. У цьому випадку вираз (1) набуде такого вигляду:

$$\int_{m_t}^{T_H} f(t)dt = 0,48. \quad (2)$$

Ймовірність попадання випадкової величини, розподіленої за нормальним законом на інтервал  $m_t + T_H$ , буде мати значення 0,48, коли

$$T_H = m_t + 2\sigma, \quad (3)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення, с [21].

Для отримання оцінки середньоквадратичного відхилення використаємо вираз

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m_t)^2}{n - 1}}. \quad (4)$$

З використанням вирівняних статистичних даних (що описуються теоретичними графіками щільності розподілу тривалості середнього часу реакції) були проведені

розрахунки за виразами **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.** та отримано нормативи для верхньої межі вимірних значень тривалості сенсомоторних реакцій кандидатів на навчання в умовах вироблення навички, перешкод, удосконалення навички (табл. 2). У подальшому з накопиченням статистичного матеріалу значення нормативів можуть корегуватися.

Таблиця 2

Результати проведених розрахунків

Показник	Значення показників		
	в умовах вироблення навички, с	в умовах перешкод, с	в умовах удосконалення навички, с
$m_t$ , с	1,22	1,33	1,30
$\hat{\sigma}$ , с	0,33	0,29	0,4
$T_H$ , с	1,88	1,91	2,10

Для висновків щодо професійної психологічної придатності кандидатів до успішного навчання за відповідною програмою і оволодіння військовою спеціальністю оператора БПЛА результати вимірювання сенсомоторних реакцій кандидатів оцінено за 9-бальною шкалою.

Для цього за кожним етапом розраховано коефіцієнт за таким виразом:

$$K = 10 \frac{T_H}{T_\phi}, \quad (5)$$

де  $T_H$  – нормативний час виконання етапу (див. табл. 2), с;

$T_\phi$  – фактичний час виконання етапу кандидатом, с.

Отже, було отримано три показники за кожен етап, які оцінені за 9-бальною шкалою (табл. 3).

Таблиця 3

Нормативи оцінювання за 9-бальною шкалою

Бал	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Показник – K	≤7	7	8	9	10	11	12	13	≥13

Остаточна оцінка виводиться як середнє арифметичне балів за три етапи. У випадку отримання дробового числа його округлюють до цілого залежно від напруженості.

**Висновки.** У результаті дослідження було проаналізовано підходи до розроблення комплексів оцінювання сенсомоторних реакцій операторів за різними профілями

діяльності. Встановлено, що відомі комплекси оцінювання сенсомоторних реакцій не враховують специфіки сенсомоторики оператора БпЛА.

За результатами аналізу розроблено алгоритми оцінювання, методику, структуру комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій оператора БпЛА, обґрунтовано режими тестування. Розроблено алгоритми функціонування програмного модуля апаратно-програмного комплексу в режимах вироблення навички, в умовах перешкод та удосконалення навички.

На основі проведених досліджень розроблено та налагоджено апаратно-програмний комплекс, який включає ПЕОМ зі спеціалізованим програмним забезпеченням, до якої під'єднується пристрій для здійснення рухів у відповідь, він забезпечує оцінювання складної сенсомоторної реакції на зоровий подразник, що виводиться на монітор ПЕОМ. За зовнішній пристрій, що забезпечує специфічні рухи у відповідь на стимули, використано пульт керування, що застосовується в авіаційних симуляторах, під'єднаний до ПЕОМ через інтерфейс USB.

Упровадження розробленого апаратно-програмного комплексу дозволить автоматизувати процес оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА, тим самим підвищити якість їх професійного психологічного відбору для потреб ЗС України.

Подальші дослідження слід зосередити на уточненні критеріїв розрахунку узагальненої оцінки сенсомоторних реакцій операторів БпЛА.

### **СПИСОК БІБЛІОТЕЧНИХ ПОСИЛАНЬ**

1. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України : наказ Міністерства оборони України від 08.12.2016 № 661 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> (дата звернення: 16.11.2022).
2. Про затвердження Інструкції про організацію та проведення військово-професійної орієнтації молоді та прийому до вищих військових навчальних закладів та військових навчальних підрозділів вищих навчальних закладів : наказ Міністерства оборони України від 05.06.2014 № 360. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0704-14> (дата звернення: 16.11.2022).
3. Макаревич Р. А. Експериментальна психологія: теоретичні основи, лабораторний практикум : навч. посіб. Мінськ : Університетське, 2000. 173 с.
4. Ровний А. С. Психофізіологічне сприйняття зорової інформації рухової діяльності людини // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту : зб. наук. праць. Харків : ХДАДМ, 2002. № 26. С. 17–23.
5. Зайцев А. В., Лупандин В. Я., Сурнина О. Е. Оценка биологического возраста методом регистрации времени реакции // Экология образования: актуальные проблемы. Архангельск : Изд-во Поморского госун-та, 1999. С. 45–48.
6. Шмаргун В. М. Час сенсомоторної реакції як показник швидкості розумових дій // Психологія і суспільство. 2007. № 3 (29). С. 115–123.
7. Зайцев А. В., Лупандин В. Я. Диагностика задержки психического развития детей методом регистрации времени реакции // Медицинская техника. 2000. № 6. С. 62–70.

8. Vakaliuk T. A., Pilkevych I. A., Tokar A. M., Loboda R. I. Criteria for Estimating the Sensorimotor Reaction Time by the Small UAV Operator // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2021. No 2. P. 189–197. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-19>
9. Навчально-тренувальна система для підготовки операторів безпілотних авіаційних комплексів / І. А. Пількевич, А. М. Токар, О. В. Франжі, Р. І. Лобода, В. В. Дмитрук // Проблеми, створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2021. Вип. 20. С. 83–97.
10. Пількевич І. А., Токар А. М., Лобода Р. І. Апаратно-програмний комплекс оцінювання сенсомоторних реакцій операторів безпілотних літальних апаратів // Інформаційно-комп'ютерні технології: стан, досягнення та перспективи розвитку : тези доповідей ІV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Житомир, 25–26 листопада 2021 р.). Житомир : Держ. ун-т «Житомирська політехніка», 2021. С. 25–26. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/25-4.pdf> (дата звернення: 23.11.2022).
11. Методичні рекомендації щодо проведення психологічної підготовки особового складу Збройних сил України, затверджені наказом Генерального штабу Збройних Сил України URL: [https://www.mil.gov.ua/content/social\\_adaptation/psychological\\_preparation/recommend\\_pcuvo1\\_pidgotovka\\_2013.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/social_adaptation/psychological_preparation/recommend_pcuvo1_pidgotovka_2013.pdf) (дата звернення: 16.11.2022).
12. Барыбина Л. Н., Козина Ж. Л. Характеристика психофизиологических показателей студентов различных спортивных специализаций // Физическое воспитание студентов. 2010. № 4. С. 6–11.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 4-е изд. Москва : Наука, 1969. 567 с.
14. Шмаргун В. Час сенсомоторної реакції як показник швидкості розумових дій // Психологія і суспільство. 2007. № 3. С. 115–123. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/30234/1/Шмаргун.pdf> (дата звернення: 16.11.2022).

Стаття надійшла до редакції 13.12.2022.

## REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Pravyl vykonannia polotiv bezpilotnymy aviatsiinymy kompleksamy derzhavnoi aviatsii Ukrainy : nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 08.12.2016 № 661 [On the approval of the Rules for the execution of flights by unmanned aircraft complexes of the state aviation of Ukraine: order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 08.12.2016 № 661]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia Instruksii pro orhanizatsiiu ta provedennia viiskovo-profesiinoi oriientatsii molodi ta pryomu do vyshchyykh viiskovykh navchalnykh zakladiv ta viiskovykh navchalnykh pidrozdiliv vyshchyykh navchalnykh zakladiv : nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 05.06.2014 № 360 [On the approval of the Instructions on the organization and conduct of military-professional orientation of youth and admission to higher military educational institutions and military educational units of higher educational institutions: order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 06.05.2014 № 360.]. Retrieved from: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0704-14> [in Ukrainian].



3. Makarevych, P. A. (2000). *Eksperymentalna psykholohiia: teoretychni osnovy, laboratornyi praktykum [Experimental psychology: theoretical foundations, laboratory practice]*. Minsk [in Ukrainian].
4. Rovnyi, A. S. (2002). Psykhofiziologichne spryiniattia zorovoi informatsii rukhovoii diialnosti liudyny [Psychophysiological perception of visual information of human motor activity]. *Pedahohika, psykholohiia ta medyko-biologichni problemy fizychnoho vykhovannia i sportu : zb. nauk. prats [Pedagogy, psychology and medical and biological problems of physical education and sports: coll. of science works]*, 26, 17–23. Kharkiv [in Ukrainian].
5. Zaitsev, A. V., Lupandin, V. Ia., & Surnina, O. E. (1999). Otsenka biologicheskogo vozrasta metodom registratsii vremeni reaktsii [Evaluation of biological age by the method of registration of reaction time]. *Ekologiya obrazovaniia: aktual'nye problemy [Ecology of Education: Actual Problems]*, 45–48. Arkhangelsk [in Russian].
6. Shmarhun, V. M. (2007). Chas sensomotornoi reaktsii yak pokaznyk shvydkosti rozumovykh dii [Sensorimotor reaction time as an indicator of the speed of mental actions]. *Psykholohiia i suspilstvo [Psychology and society]*, 3 (29), 115–123 [in Ukrainian].
7. Zaitsev, A. V., & Lupandin, V. Ia. (2000). Diagnostika zaderzhki psikhicheskogo razvitiia detei metodom registratsii vremeni reaktsii [Diagnosis of mental retardation in children by registering reaction time]. *Meditinskaiia tekhnika [Meditinskaya tekhnika]*, 6, 62–70 [in Russian].
8. Vakaliuk, T. A., Pilkevych, I. A., Tokar, A. M., & Loboda, R. I. (2021). Criteria for Estimating the Sensorimotor Reaction Time by the Small UAV Operator. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, 189–197. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-19>
9. Pilkevych, I. A., Tokar, A. M., Franzhi, O. V., Loboda, R. I., & Dmytruk, V. V. (2021). Navchalno-trenavalna systema dlia pidhotovky operatoriv bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [A Training System for Preparing Operators of Aerial Vehicle Systems]. *Problemy, stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 20, 83–97. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2021.20.08> Zhytomyr: ZhMI [in Ukrainian].
10. Pilkevych, I. A., Tokar, A. M., & Loboda, R. I. (2021). Aparatno-prohramnyi kompleks otsiniuvannia sensomotornykh reaktsii operatoriv bezpilotnykh litalnykh aparativ [Hardware and software complex for evaluating sensorimotor reactions of operators of unmanned aerial vehicles]. In *Informatsiino-komp'iuterni tekhnolohii: stan, dosiahnennia ta perspektyvy rozvytku : tezy dopovidei IV Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. [Information and computer technologies: state, achievements and prospects of development: theses of reports IV All-Ukrainian science and practice Internet Conf.]*. Zhytomyr: Zhytomyr polytechnic, November, 25–26, 2021. (pp. 25–26). Retrieved from <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/25-4.pdf> [in Ukrainian].
11. *Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia psykholohichnoi pidhotovky osobovoho skladu Zbroinykh syl Ukrainy, zatverdzeni nakazom Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy [Methodological recommendations for conducting psychological training of personnel of the Armed Forces of Ukraine, approved by order of the General Staff of the Armed Forces]*

of Ukraine]. Retrieved from [https://www.mil.gov.ua/content/social\\_adaptation/psychological\\_preparation/recomend\\_pcuvo1\\_pidgotovka\\_2013.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/social_adaptation/psychological_preparation/recomend_pcuvo1_pidgotovka_2013.pdf) [in Ukrainian].

12. Barybina, L. N., & Kozina, Zh. L. (2010). Kharakteristika psikhofiziologicheskikh pokazatelei studentov razlichnykh sportivnykh spetsializatsii [Characteristics of psychophysiological indicators of students of various sports specializations]. *Fizicheskoe vospitanie studentov [Physical education of students]*, 4, 6–11 [in Russian].

13. Venttsel', E. S. (1969). *Teoriia veroiatnostoni*. (4th ed.). Moscow [in Russian].

14. Shmarhun, V. (2007). Chas sensomotornoj reaktsii yak pokaznyk shvydkosti rozumovykh dii [Sensorimotor reaction time as an indicator of the speed of mental actions]. *Psykhologhiia i suspilstvo [Psychology and society]*, 3, 115–123. Retrieved from <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/30234/1/Shmarhun.pdf> [in Ukrainian].

**I. A. Pilkevych, A. M. Tokar, R. I. Loboda, V. V. Loboda**

### **TIME ESTIMATION ALGORITHMS OF SENSORIMOTOR REACTIONS OF UNMANNED AIRCRAFT OPERATORS**

*The rapid development of science and technology is leading to a significant expansion of the application areas of unmanned aerial systems for various purposes. The key to their effective use of unmanned aerial systems is the quality training of operators, an important element of which is the professional psychological selection of candidates, in particular, the assessment of their sensorimotor reactions. This can be ensured by selecting and justifying appropriate assessment algorithms. The article proposes algorithms that make it possible to estimate the time of sensorimotor reactions of an operator of unmanned aerial systems of the first class based on the accumulation of statistical material and its mathematical processing based on the results of a full-scale experiment. This makes it possible to evaluate the numerical characteristics of the distribution of the duration of the average reaction time in three modes: skill development, under conditions of interference, and under conditions of skill reconstruction, and ultimately to obtain a generalized assessment. By analyzing random continuous values that acquire a value over a certain interval, it was possible to establish standards against which the obtained indicators of sensorimotor reaction time of the operator of unmanned aerial systems of the first class are compared and a conclusion is made about their suitability for training. The results of testing of the proposed algorithms were carried out, statistical series for three evaluation modes were obtained. For a visual representation of the series, the corresponding histograms of the distribution of the duration of the average reaction time were constructed. In order to eliminate the representativeness error, the statistical series were aligned by selecting a theoretical distribution curve for each, which reflects only the essential features of the statistical material. For this purpose, the distribution histogram was approximated by a fourth-degree polynomial. The interval of the theoretical density of the distribution, falling within which the sensorimotor reaction of an arbitrary person is considered normal, is established. For a given probability of such an event, the reliability of such an event is 0.95. To verify the effectiveness of the proposed methodology, an algorithm for estimating the time of sensorimotor reaction of the operator of unmanned aerial systems of class 1 in three modes was synthesized and the corresponding software implementing the developed algorithm was developed.*

**Keywords:** *unmanned aircraft complexes; sensorimotor reaction; mean reaction time.*