

УДК 614.8

DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-2636.2025.9.1.17>

Андрій ХИЖНЯК², доктор філософії, доцент (ORCID: 0009-0005-1745-0432)

Роман МОТРИЧУК¹, доктор філософії (ORCID: 0000-0002-5670-6788)

Дмитро ФЕДОРЕНКО¹, канд. істор. наук (ORCID: 0000-0002-2069-7760)

Іван ІЩЕНКО¹ (ORCID: 0009-0000-5050-4926)

¹Національний університет цивільного захисту України

²Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА МОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ СІГВЕЮ ПРИ ГАСІННІ ПОЖЕЖ

У роботі розглянуто актуальну науково-технічну проблему підвищення ефективності автономних мобільних пожежних установок на базі сігвей. Дослідження проведено шляхом моделювання поведінки людини-оператора, що є ключовим елементом у системі керування при подачі вогнегасної речовини. Об'єктом дослідження обрано мобільну установку, реалізовану на базі сігвею. Дана платформа характеризується високою маневреністю, компактністю та придатністю до використання в приміщеннях зі складною архітектурною конфігурацією. У статті обґрунтовано необхідність формалізації динамічних характеристик людини-оператора.

Запропоновано лінійну модель оператора, яка включає три послідовні ланки: запізнювальну, безінерційну та інерційну. Для визначення параметрів моделі проведено серію експериментів, у яких оператори реагували на візуальні сигнали, подані через інтерактивну дошку. Вимірювання часу реакції та зміни положення органів керування дозволили розрахувати передавальні функції та ідентифікувати часові параметри. Отримано: час запізнення – 0,17–0,25 с; постійна часу – 0,26–0,30 с; коефіцієнт передачі – 2,34–2,97. Після 12 повторень експерименту зафіксовано стабілізацію значень, що свідчить про тренувальний ефект.

Отримані результати є основою для побудови узагальненої математичної моделі, яка дозволяє підвищити точність, надійність та адаптивність систем автономного пожежогашіння в умовах реального часу. Висновки дають можливість подальшої розробки систем адаптивного керування пожежними установками з елементами участі людини.

Ключові слова: мобільна пожежна установка, сігвей, людина-оператор, оператор, динамічне моделювання.

Постановка проблеми. Зростання урбаністичного навантаження та ускладнення архітектурних конфігурацій об'єктів створює необхідність у розробці мобільних, автономних і високоефективних засобів пожежогашіння. Мобільні установки на базі сігвею відкривають нові можливості для оперативного реагування на загоряння, особливо у приміщеннях зі складним доступом, де традиційні засоби є малоефективними. Дані системи є пілотованими та потребують участі людини-оператора. Від ефективності його роботи напряду залежить якість функціонування таких систем.

Незважаючи на перспективність цього підходу, існує необхідність у проведенні досліджень, присвячених ідентифікації динамічних характеристик оператора як складової керованої системи, а також проектування алгоритмів керування.

Враховуючи вищевикладене, виникає потреба у створенні та експериментальній верифікації математичної моделі людини-оператора мобільної пожежної установки, що

дозволить підвищити надійність, точність і ефективність роботи автономних систем пожежогасіння на базі сігвею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1] досліджено можливості використання сігвеїв як базової платформи для мобільних пожежних установок. Розроблено комплекс математичних моделей, які описують процеси в елементах таких установок, включаючи доставку вогнегасної речовини та взаємодію з людиною-оператором. Дослідження підкреслює переваги сігвеїв, такі як автономність, компактність і маневреність, що робить їх перспективними для гасіння пожеж, особливо на ранніх стадіях, у приміщеннях з використанням різних вогнегасних речовин [1].

У [2] досліджено роль людини-оператора в системах протипожежного керування, з акцентом на математичне моделювання її взаємодії з технічними компонентами. Метою було визначити фактори, що впливають на ефективність оператора під час аварійних ситуацій, та запропонувати інструменти для оптимізації таких систем.

Дослідженню ідентифікації динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки на базі сігвею, з акцентом на аналіз його взаємодії з технікою в аварійних умовах приділено увагу в [3]. Метою роботи було визначити ключові фактори (час реакції, точність керування), що впливають на стабільність системи, та розробити адаптивний алгоритм швидкості сігвею, який автоматично корегує роботу установки відповідно до стану оператора. Експериментальні дані, отримані за допомогою спеціального стенду, показали, що стрес збільшує час реакції на 25–30%, а зменшення ваги платформи покращує маневреність на 18%. Результати доводять, що врахування динамічних параметрів оператора дозволяє підвищити надійність систем та зменшити ризик аварій через людський фактор.

Ці дослідження формують наукову основу для подальшого вдосконалення систем управління мобільними пожежними установками, такими як керування кутовим положенням форсунки з подачею вогнегасної речовини, забезпечуючи підвищення ефективності та безпеки їх експлуатації, а також.

Постановка задачі та її розв’язання. Метою дослідження є ідентифікація динамічних параметрів людини-оператора мобільної пожежної установки на базі сігвею як елемента системи керування кутовим положенням форсунки з подачею вогнегасної речовини, з метою підвищення ефективності, точності та надійності її функціонування.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні конструкції мобільних засобів пожежогасіння та обґрунтувати доцільність використання платформи типу сігвей;
- провести серію експериментів із залученням операторів без попередньої підготовки;
- вирішити задачі ідентифікації динамічних параметрів людини-оператора мобільної пожежної установки на базі сігвею;
- провести аналіз експериментальних даних для виявлення тенденції щодо зміни значень параметрів із зростанням кількості експериментів;
- сформувати матриці вимірювань для врахування адаптаційних властивостей людини у процесі автоматизованого керування мобільними пожежними установками.

Виклад основного матеріалу дослідження. Широке використання сігвеїв у повсякденному житті призвело до створення перших зразків мобільних пожежних установок на його базі [1,4]. Продуктивність такої пожежної установки складає $20 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$, дальність подачі води – 60 м, а площа покриття вогнегасною рідиною досягає 10^4 м^2 .

Зовнішній вигляд такої мобільної пожежної установки наведено на рис. 1, 2.



Рисунок 1 – Варіант мобільної пожежної установки на базі сігвея, створений в Україні



Рисунок 2 – Варіант мобільної пожежної установки на базі сігвея, створений в США

На рис. 3, наведено схему мобільної автономної пожежної установки, де зображено: 1 – крило колеса; 2 – платформа; 3 – контейнери у вигляді ємності для вогнегасної речовини; 4 – балон із стисненим повітрям; 5 – редуктор; 6 – рульовий стовп; 7 – кермо; 8 – форсунка; 9 – органи управління; 10 – гнучкий шланг для гідравлічних з'єднань; 11 – вентиль. Контейнери 3 встановлені на крилах 1 сігвея, балон із стисненим повітрям 4 встановлений на платформі 2. На балоні із стисненим повітрям 4 встановлений редуктор 5, з'єднаний із балоном зі стисненим повітрям 4. На рульовому стовпі 6 сігвею встановлено вентиль 11, а на кермі 7 – форсунка 8 та органи управління 9. Гнучкі шланги 10 розміщені всередині платформи 2 сігвея та в його рульовому стовпі 6. Гнучкі шланги 10 забезпечують гідравлічне з'єднання між редуктором 5 та контейнерами 3 із вогнегасною речовиною (через вентиль 11), а також між контейнерами 3 та через органи управління 9 із форсункою 8 [5].

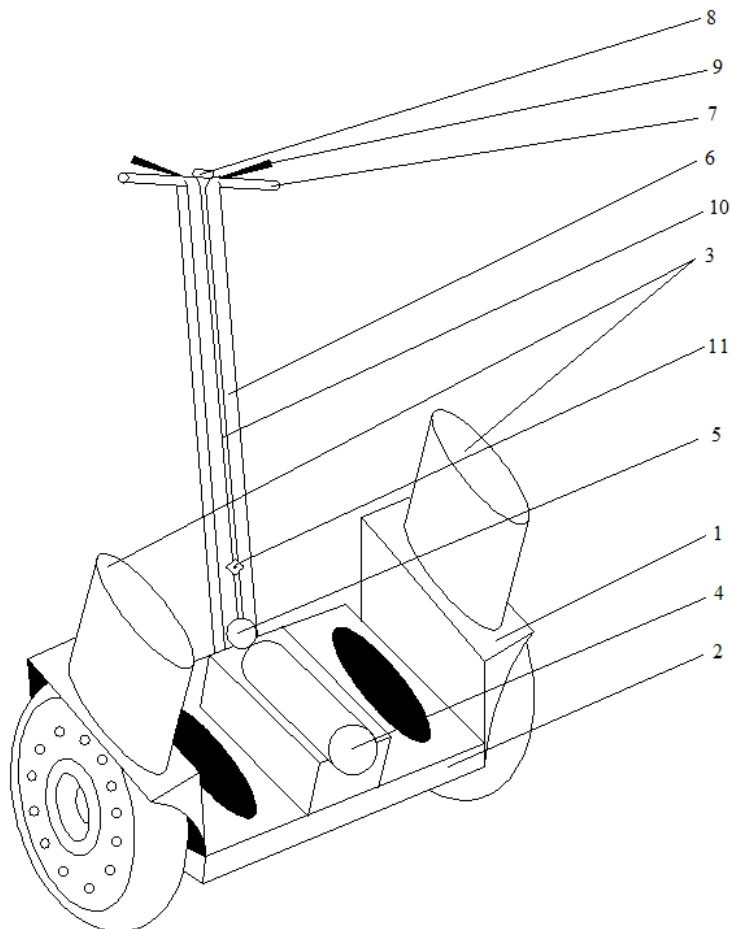


Рисунок 3 – Мобільна пожежна установка на базі сігвея

В якості вогнегасної речовини може використовуватись вода, порошок, гелеутворюючий склад. Джерелом живлення сігвею є дві літій-іонні акумуляторні батареї, на одному заряді яких можливо проїхати до 40 км [6]. Час заряду батарей складає $(6 \div 10)$ год. Для сігвея корисне навантаження досягає 140 кг, тобто при вазі людини-оператора 80 кг, запас вогнегасячої речовини може складати до 50 кг. Швидкість руху – $20 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$. Для важких сігвеїв швидкість руху може досягати $50 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$. Вага легкого сігвею не перевищує 20 – 30 кг, потужність електричного двигуна складає 1 – 1,5 кВт.

Основною перевагою такого мобільного пожежного засобу, що відрізняє його від інших мобільних засобів, є компактність, малі габарити та дуже висока маневреність. До кращих моделей сігвеїв належать: AirwheelS5, AirwheelA3, IOCHICSMARTLC 1.06, WindTechH10, LikeBikeElite.

В першому наближенні властивості людини-оператора можна описати лінійною моделлю, яка включає три ланки [17-19]. Перша ланка здійснює прийом сигналів і по своїм динамічним властивостям вона є ланкою запізнення, що характеризується часом запізнення τ_0 . Друга ланка – обчислювальна і вона може бути представлена безінерційною ланкою. Третя ланка по своїм властивостям є інерційною ланкою, що характеризується постійною часу τ_1 .

Таким чином діяльність людини-оператора в першому наближенні описується передаточною функцією виду

$$W(p) = K_0 \exp(-p\tau_0)(\tau_1 p + 1)^{-1}, \quad (1)$$

де K_0 – коефіцієнт передачі.

Такий підхід є загальним [7, 8] і кожний конкретний випадок використання людини-оператора потребує визначення параметрів передаточної функції (1) [9, 10]. Стосовно до параметрів K_0, τ_0 та τ_1 людини-оператора мобільної пожежної установки, то вони визначаються згідно до алгоритму, який наведено в [11, 12].

Згідно із цим алгоритмом на людину-оператора мобільної пожежної установки здійснюється вплив, який описується виразом

$$x(t) = A \cdot 1(t), \quad (2)$$

де $A = \text{const}$; $1(t)$ – функція Хевісайда.

Реакція людини-оператора на такий вплив буде мати вигляд

$$z(t) = L^{-1}[W(p)X(p)] = AK \left[1 - \exp\left(\frac{-t-\tau_0}{\tau_1}\right) \right]. \quad (3)$$

Для моментів часу t_1 та t_2 , причому $t_2 > t_1$, можна записати

$$t_1 = \tau_1 - \tau_0 \ln(1 - z_1); \quad (4)$$

$$t_2 = \tau_1 - \tau_0 \ln(1 - z_2), \quad (5)$$

де $z_i = z(t_i)$, $i = 1, 2$

Після об'єднання (4) та (5) одержимо вирази для часових параметрів τ_0 та τ_1 , які мають вигляд

$$\tau_0 = [\ln(1 - z_1) - \ln(1 - z_2)]^{-1}(t_2 - t_1); \quad (6)$$

$$\tau_1 = [\ln(1 - z_1) - \ln(1 - z_2)]^{-1}[t_2 \ln(1 - z_1) - t_1 \ln(1 - z_2)]. \quad (7)$$

Для визначення цих параметрів проводився експеримент. Вхідний вплив, який сприймався зоровим аналізатором оператора мобільної пожежної установки, створювався за допомогою інтерактивної дошки [14], на якій по команді від ноутбука формувалася осередок горіння. Процес появи такого осередку горіння на інтерактивній дошці формалізувався функцією Хевісайда.

Реакція оператора на такий вплив визначалась по вихідному сигналу потенціометра, механічно зв'язаного із ручкою управління, яка має один кутовий струмінь свободи [13, 15]. Електричний сигнал із виходу потенціометра подавався паралельно на два компаратори [9], що виконані на підсилювачах постійного струму К140УД13, в ланцюг зворотного зв'язку яких включені діод та стабілітрон. На один компаратор подавалась опорна електрична напруга, яка дорівнювала 0,2 Е, а на другий – 0,5 Е, де Е – електрична напруга, величина якої обиралась 6,0 В.

У разі фіксації появи на інтерактивній панелі візуального індикатора осередку горіння, оператор негайно реагував шляхом максимально швидкого обертання ручки керування. Зазначена ручка була механічно з'єднана з потенціометром, що забезпечувало перетворення механічного руху в електричний сигнал. Така дія викликала зміну вхідного сигналу на електронну схему, внаслідок чого формувалися відповідні імпульси на виходах компараторів. Цей етап мав вирішальне значення для подальшого аналізу динаміки реакції операторів у відповідь на раптове виявлення критичної події. При цьому, на виході першого компаратора формувалася прямокутний імпульс тривалості t_1 , а на виході другого компаратора – прямокутний імпульс тривалості t_2 . Ці інтервали часу вимірювались за допомогою частотомірів 43-64/1.

Для реалізації експериментального дослідження було залучено $m = 12$ учасників, відібраних на умовах добровільної участі. Важливо зазначити, що всі вони не мали попереднього досвіду роботи з відповідним технічним обладнанням, що дозволило виключити вплив навичок чи професійної підготовки на результати вимірювань. З кожним із залучених операторів було послідовно проведено $n = 16$ експериментальних спроб за ідентичних умов.

На основі отриманих під час експериментів даних були сформовані дві числові матриці, кожна розміром $m \times n$, у яких зафіксовано результати вимірювань параметрів часових інтервалів реакції операторів.

Стовбцями цих матриць є результати вимірювань параметрів t_1 або t_2 в i -му експерименті всіма операторами, а строками матриць служать результати вимірювань параметрів t_1 або t_2 j -го оператора для всіх n експериментів. В табл. 1 наведені значення параметрів t_1 , а в табл 5.3 – значення параметрів t_2 , одержаних при проведенні таких експериментів.

За результатами вимірювань визначились математичні очікування t_{1j} та t_{2j} , для кожного із n -операторів

$$t_{1j} = n^{-1} \sum_{i=1}^n t_{1i}; \quad t_{2j} = n^{-1} \sum_{i=1}^n t_{2i}, \quad (8)$$

а потім – математичні очікування t_{10} та t_{20} для всіх m -операторів

$$t_{10} = m^{-1} \sum_{j=1}^m t_{1j}; \quad t_{20} = m^{-1} \sum_{j=1}^m t_{2j}. \quad (9)$$

За результатами експериментів були одержані значення

$$t_{10} = 0,31c; \quad t_{20} = 0,41c. \quad (10)$$

При цьому, середньоквадратичне відхилення для величин t_1 та t_2 відповідно складають $\tau_1 = 0,028c$ та $\tau_2 = 0,027c$.

Величинам параметрів (10) у відповідності із (4)÷(7) відповідають значення параметрів оператора $\tau_0 = 0,21\text{с}$ та $\tau_1 = 0,28\text{с}$ із середньоквадратичним відхиленнями $0,08\text{ с}$ та $0,04\text{ с}$ відповідно.

Із довірчою вірогідністю $0,95$ значення параметрів τ_0 та τ_1 , знаходяться відповідно в межах

$$0,17\text{с} \leq \tau_0 \leq 0,25\text{с};$$

$$0,26\text{с} \leq \tau_0 \leq 0,30\text{с};$$

(11)

Таблиця 1 – Значення параметра t_1

i j	1	16
1	0,35	0,26
2	0,33	0,27
3	0,37	0,28
4	0,36	0,29
5	0,36	0,29
6	0,38	0,28
7	0,37	0,27
8	0,36	0,29
9	0,39	0,28
10	0,34	0,26
11	0,35	0,27
12	0,36	0,26

Таблиця 2 – Значення параметра t_2

i j	1	16
1	0,45	0,36
2	0,47	0,37
3	0,48	0,38
4	0,45	0,37
5	0,46	0,37
6	0,49	0,37
7	0,46	0,37
8	0,47	0,37
9	0,49	0,36
10	0,48	0,36
11	0,47	0,37
12	0,46	0,36

Для визначення величини параметра K_0 використовувалось емпіричне співвідношення [7]:

$$K_0 = 9\tau_1, \quad (12)$$

що приводить до того, що $K_0 = 2.34 \div 2.97$.

На рис. 4, та рис. 5, наведені області існування параметрів t_1 та t_2 відповідно.

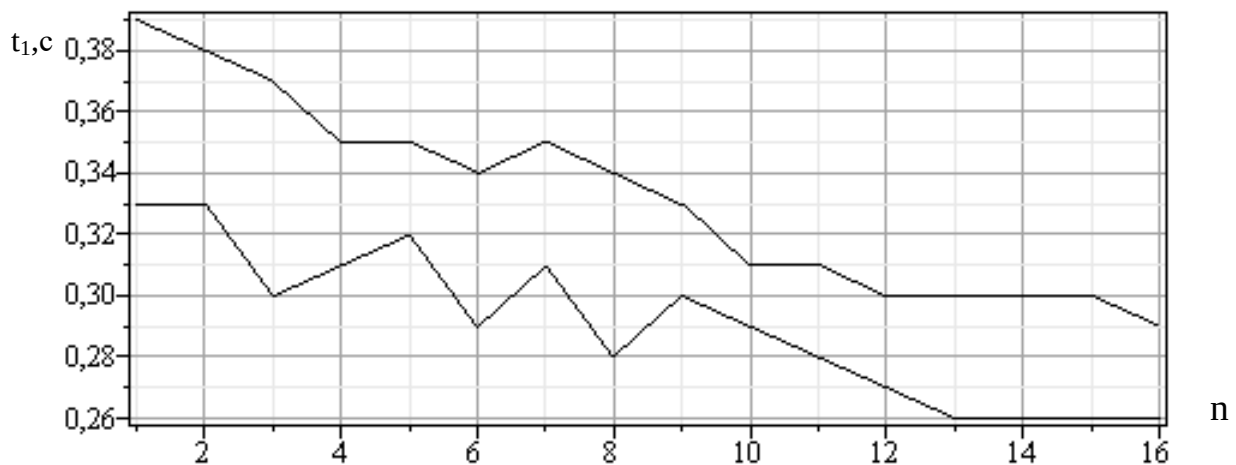


Рисунок 4 – Залежність параметру t_1 від номеру експерименту

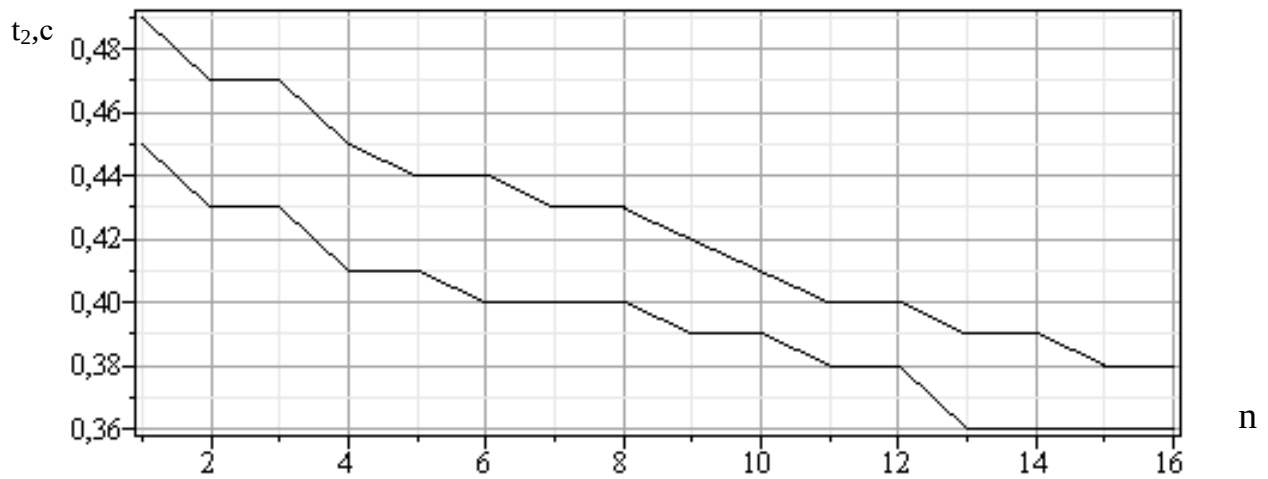


Рисунок 5 – Область існування параметра t_2

Аналіз цих залежностей свідчить, що із зростанням числа експериментів має місце тенденція до зменшення значень цих параметрів. Така тенденція обумовлена зростанням ступеня тренуваності операторів. Починаючи із 12-го експерименту, має місце стабілізація значень параметрів t_1 та t_2 . Середні значення цих параметрів асимптотично наближаються відповідно до величин 0,28 с та 0,37 с. Цим значенням відповідно до виразів (6) та (7) будуть відповідати мінімальні величини параметрів оператора мобільної пожежної установки $\tau_{0min} \text{стат} \tau_{1min} \text{с}$.

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) оператора мобільної пожежної установки згідно (1) описується виразом:

$$W_0(j\omega) = K_0 \exp(-j\omega\tau_0)(1 + j\omega\tau_1)^{-1}, \quad (13)$$

а її графічна інтерпретація при $\tau_0 = 0,2$ с та $\tau_1 = 0,3$ с для $K_0 = 2,4$ та $K = 3,0$ наведена на рис. 6. Залежності наведені для $\omega \leq 10,0 \text{с}^{-1}$.

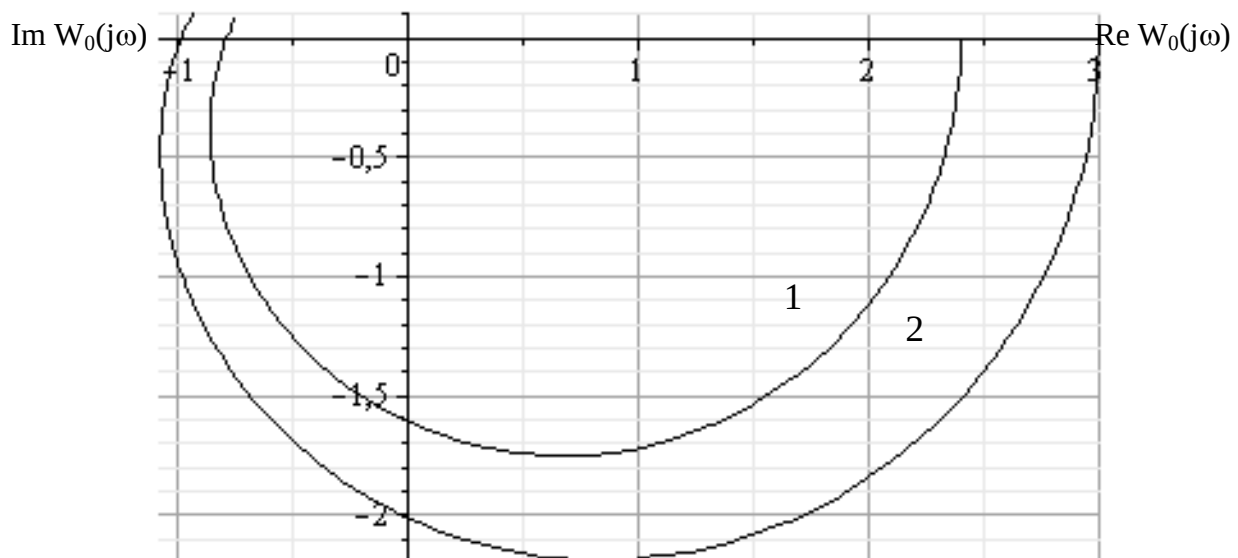


Рисунок 6 – АФЧХ оператора мобільної пожежної установки: 1 – $K_0 = 2,4$; 2 – $K = 3,0$

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) оператора мобільної пожежної установки має вираз

$$A_0(\omega) = \text{mod} W_0(j\omega) = K_0(1 + \omega^2\tau_1^2)^{-0.5}, \quad (14)$$

а її графічні інтерпретації наведені на рис. 7 (при $\tau_1 = 0,3$ с).

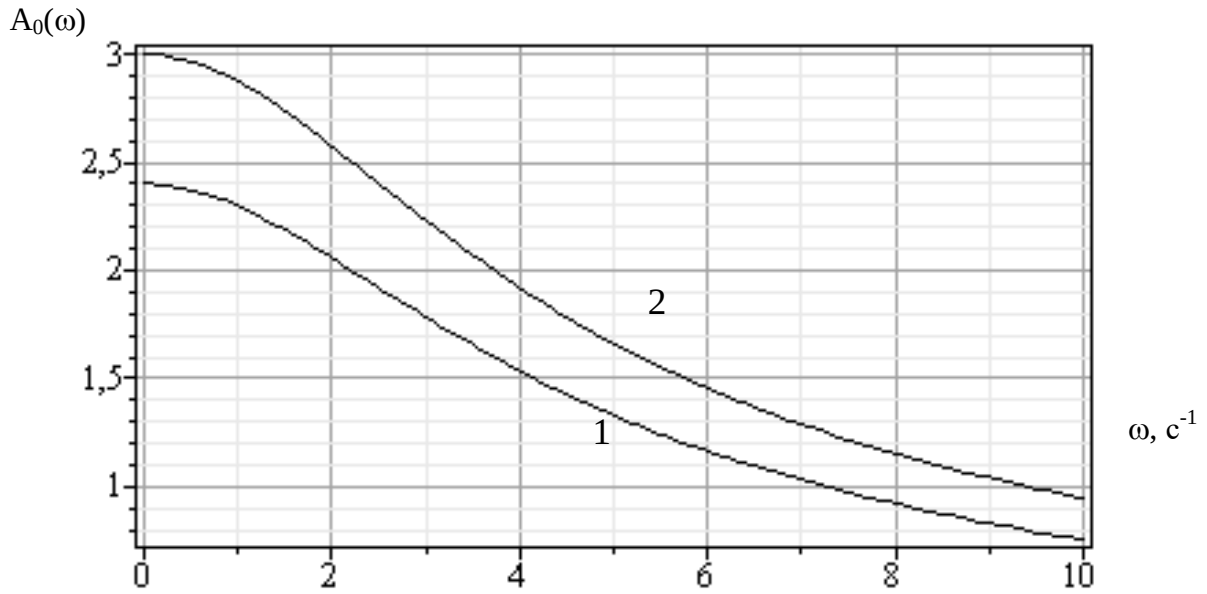


Рисунок 7 – АЧХ оператора мобільної пожежної установки: 1 – $K_0 = 2,4$; 2 – $K = 3,0$

Для фазово-частотної характеристики (ФЧХ) оператора мобільної пожежної установки має місце залежність:

$$\phi_0(\omega) = -\omega\tau_0 - \arctg\omega\tau_1 \quad (15)$$

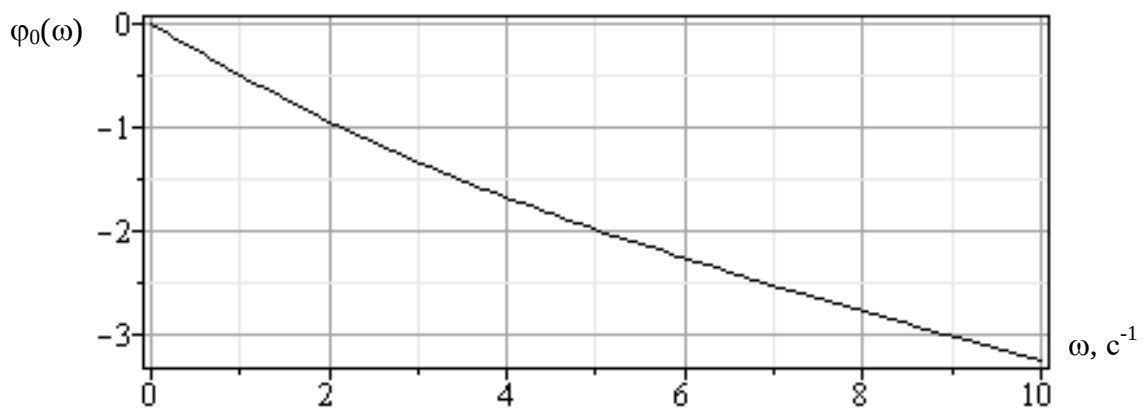


Рисунок 8 – ФЧХ оператора мобільної пожежної установки

Графік залежності $\phi_0(\omega)$ для $\tau_0 = 0,2$ с та $\tau_1 = 0,3$ с наведено на рис. 8.

Висновки. У ході дослідження експериментальним шляхом було вирішено задачу ідентифікації динамічних параметрів людини-оператора мобільної пожежної установки на базі сігвею, включеної до контуру управління кутовим положенням форсунки для розпилення вогнегасної речовини. Визначено, що коефіцієнт передачі операторської ланки знаходиться в межах 2,34–2,97, час запізнення – 0,17–0,25 с, а постійна часу – 0,26–0,30 с.

Проведений аналіз експериментальних даних дозволив виявити тенденцію до зниження значень параметрів із зростанням кількості експериментів, що пояснюється процесом тренування операторів. Після виконання 12 експериментів спостерігається стабілізація параметрів, а їхні середні значення асимптотично наближаються до 0,28 с (час запізнення) та 0,37 с (постійна часу), що відповідає мінімальним значенням операторської реакції.

На основі результатів було сформовано дві матриці вимірювань, які охоплюють дані для всіх операторів і всіх експериментів, що забезпечує репрезентативну базу для подальшої побудови узагальненої моделі поведінки оператора. Це дозволяє враховувати адаптаційні властивості людини у процесі автоматизованого керування мобільними пожежними установками, що підвищує ефективність їх використання в умовах реальних пожеж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хижняк А.А. Обґрунтування параметрів та характеристик мобільних пожежних установок на базі сігвеїв: дис. канд. техн. наук. – Харків: НУЦЗУ, 2021. – С. 210.
2. Абрамов Ю.О., Собина В.О. Математичне моделювання людини-оператора у складі системи керування пожежною установкою // Збірник наукових праць НУЦЗУ. – Харків: НУЦЗУ, 2021. – С. 75–81.
3. Собина В.О., Абрамов Ю.О., Хижняк А.А. Ідентифікація динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки на базі сігвею // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Технології безпеки життєдіяльності», 2022. – С. 47–48.
4. Роботи, схожі на сегвеї, покликані допомагати пожежникам і рятувати життя [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://newatlas.com/firefighting-robot-ffr/27849/>. Дата доступу: 21.02.2025.
5. Мобільна пожежна установка: пат. 119180 Україна. №201704071; заявл. 24.04.2017; опубл. 11.09.2017; Бюл. №17. 4 с.
6. Сігвеї. Види. Влаштування та робота. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electrosamoru.gov.ua/naj-jelektrooborudovanie/ustrojstva/sigvei/>. Дата доступу: 29.04.2019.
7. Poukoff K. The optimization of connection between Human and techniques in Man-Machine Systems // Preprints of JFAC-JFORS Symposium (Varna, Bulgaria, 8-11 oct. 1974). P. 419-426.
8. Mononen K., Konttinen N., Vitasalo J., Era P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooting // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2007, Vol. 17. № 2. P. 180-185.
9. Собина В.О., Хижняк А.А., Абрамов Ю.А. Обґрунтування вибору параметрів каналу управління кутовим положенням форсунки мобільної пожежної установки // Збірка наукових праць «Проблеми пожежної безпеки». – Харків: НУЦЗ України, 2020. – Випуск 47. – С. 193-198.
10. Abramov Y., Basmanov O., Krivtsova V., Khyzhnyak A. Estimating the influence of wind exposure on the motion of an extinguishing substance // EUREKA: Physics and Engineering, 2020. – №. 5. – P. 51-59. DOI:10.21303/2461-4262.2020.001400.
11. Mononen K., Konttinen N., Vitasalo J., Era P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooting // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2007, Vol. 17. № 2. P. 180-185.
12. Пристрій для визначення характеристик оператора мобільного пожежного робота: пат. 128951 Україна, № 201805111; заявл. 8.05.2018; опубл. 10.10.2019, Бюл. № 19. 5 с.
13. Мобільна пожежна установка: пат. 124928 Україна. № 201711464; заявл. 23.11.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8. 6 с.
14. Пристрій для визначення характеристик оператора мобільного пожежного робота: пат. 130568 Україна, № 201807407; заявл. 2.07.2018; опубл. 10.12.2018, Бюл. № 23. 5 с.
15. Мобільна пожежна установка: пат. 136909 Україна. № 201903554; заявл. 8.04.2019; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17. 4 с.
16. Poukoff K. The optimization of connection between Human and techniques in Man-Machine Systems // Preprints of JFAC-JFORS Symposium (Varna, Bulgaria, 8-11 oct. 1974). P. 419-426.

17. Ding Y., Duffy V. G. Global Research Trends of Human Factors and Ergonomics in Robots, Intelligent and Automation Systems: A Bibliometric Analysis (2010–2020). In: Automation, Collaboration, & E-Services, Springer, 2022, pp. 453–469.
18. Guastello S. J. Human Factors Engineering and Ergonomics: A Systems Approach. Boca Raton: CRC Press, 2022. 560 p.
19. Mononen K., Konttinen N., Vitasalo J., Era P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooting // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2007, Vol. 17. № 2. P. 180-185.

REFERENCES

1. Substantiation of the parameters and characteristics of mobile fire-fighting units based on sigways: PhD thesis - Kharkiv: NUFPU, 2020.
2. Abramov Y.O., Sobina V.O. Mathematical modeling of a human operator as part of a fire station control system // Collection of scientific papers of NUCSU: NUCSU, 2021. PP. 75-81.
3. Sobina V.O., Abramov Y.O., Khyzhnyak A.A. Identification of the dynamic parameters of the operator of a mobile fire station based on sigway // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Life Safety Technologies”, 2022.
4. Segway-like robots are designed to help firefighters and save lives [Electronic resource]: <https://newatlas.com/firefighting-robot-ffr/27849/>. Access date: 21.02.2025.
5. Mobile fire-fighting unit: pat. 119180 Ukraine. No. 201704071; declared on April 24, 2017; published on September 11, 2017; Bulletin No. 17. 4 c.
6. Cigueras. Types. Arrangement and work. [Access mode: [https://electrosamoru/glav-naja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/sigvei/](https://electrosamoru.glav-naja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/sigvei/). Access date: 29.04.2019.
7. Poukoff K. The optimization of connection between Human and techniques in Man-Machine Systems // Preprints of JFAC-JFORS Symposium (Varna, Bulgaria, 8-11 Oct. 1974). P. 419-426.
8. Mononen K., Konttinen N., Vitasalo J., Era P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooting // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2007, Vol. 17. № 2. P. 180-185.
9. Sobyna V.O., Khyzhniak A.A., Abramov Yu.A. Obgruntuvannia vyboru parametriv kanalu upravlinnia kutovym polozhenniam forsunky mobilnoi pozhezhnoi ustanovky // Zbirka naukovykh prats «Problemy pozhezhnoi bezpeky». – Kharkiv: NUTsZ Ukrainy, 2020. – Vypusk 47. – S. 193-198.
10. Abramov Y., Basmanov O., Krivtsova V., Khyzhnyak A. Estimating the influence of wind exposure on the motion of an extinguishing substance // EUREKA: Physics and Engineering, 2020. – №. 5. – P. 51-59. DOI:10.21303/2461-4262.2020.001400.
11. Mononen K., Konttinen N., Vitasalo J., Era P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooting // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2007, Vol. 17. № 2. P. 180-185.
12. Device for determining the characteristics of a mobile fire robot operator: pat. 128951 Ukraine, No. 201805111; declared on May 8, 2018; published on October 10, 2019, Bulletin No. 19. 5 p.
13. Mobile fire-fighting unit: pat. 124928 Ukraine. No. 201711464; declared on November 23, 2017; published on April 25, 2018, Bulletin No. 8. 6 p.
14. Device for determining the characteristics of the operator of a mobile fire robot: pat. 130568 Ukraine, No. 201807407; application for registration on July 2, 2018; published on December 10, 2018, Bulletin No. 23. 5 p.
15. Mobile fire-fighting unit: pat. 136909 Ukraine. No. 201903554; application for registration on April 8, 2019; published on September 10, 2019, Bulletin No. 17. 4 p.
16. Mobile fire installation: pat. 136909 Ukraine. No. 201903554; appl. 08.04.2019; publ. 10.09.2019, Bull. No. 17. 4 p.

16. Poukoff K. The optimization of connection between Human and techniques in Man-Machine Systems // Preprints of JFAC-JFORS Symposium (Varna, Bulgaria, 8-11 oct. 1974). P. 419-426.
17. Ding Y., Duffy V. G. Global Research Trends of Human Factors and Ergonomics in Robots, Intelligent and Automation Systems: A Bibliometric Analysis (2010–2020). In: Automation, Collaboration, & E-Services, Springer, 2022, pp. 453–469.
18. Guastello S. J. Human Factors Engineering and Ergonomics: A Systems Approach. Boca Raton: CRC Press, 2022. 560 p.
19. Mononen K., Kontinen N., Vitasalo J., Era P. Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifle shooting // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2007, Vol. 17. № 2. P. 180-185.

Andrii KHYZHNIAK², Doctor of Philosophy, Docent

Roman MOTRICHUK¹, Doctor of Philosophy

Dmytro FEDORENKO¹, PhD in Historical Sciences

Ivan ISHCENKO¹

¹National University of Civil Protection of Ukraine

²National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

SOLUTION TO THE PROBLEM OF IDENTIFYING THE DYNAMIC PARAMETERS OF A HUMAN OPERATOR OF A MOBILE FIRE-FIGHTING UNIT BASED ON SEGWAY WHILE EXTINGUISHING FIRES

This study addresses the pressing scientific and technical challenge of enhancing the efficiency of autonomous mobile firefighting units based on Segway platforms. The research focuses on modeling the behavior of the human operator, a key component in the control system responsible for directing the extinguishing agent. The subject of the study is a Segway-based mobile firefighting unit, characterized by its high maneuverability, compact size, and suitability for operation in environments with complex architectural layouts.

The paper emphasizes the necessity of formalizing the operator's dynamic characteristics. A linear model of the operator is proposed, comprising three sequential elements: a delay link, a non-inertial link, and an inertial link. To identify the parameters of this model, a series of experiments was conducted in which operators responded to visual stimuli presented via an interactive whiteboard. Measurements of reaction times and control movements enabled the calculation of transfer functions and identification of time-related parameters.

The experimental results revealed the following operator characteristics: delay time — 0.17–0.25 seconds; time constant — 0.26–0.30 seconds; transfer coefficient — 2.34–2.97. Stabilization of these values was observed after 12 trials, indicating a training effect. These findings form the basis for constructing a generalized mathematical model that enhances the accuracy, reliability, and adaptability of autonomous firefighting systems operating in real-time. The conclusions support the development of adaptive control systems incorporating human-in-the-loop dynamics.

Keywords: mobile fire unit, segway, human operator, operator, dynamic modeling.