УДК 621.317

д.т.н., проф. **Кузавков В.В.** (ВІТІ)
док.філ. **Солодовник В.І.** (ВІТІ)
Лапа В.І. (ВІТІ)

DOI: http://doi.org/10.17721/2519-481X/2024/84-09

ІНТЕГРАЦІЯ ОБ'ЄКТА ТЗ-ВЗ В АВТОМАТИЗОВАНУ СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ АРТИЛЕРІЇ

Автоматизовані системи управління вогнем артилерії (АСУва) відіграють важливу роль у сучасних бойових діях у прикордонних областях України. Такі системи дозволяють значно підвищити ефективність застосування не лише окремих вогневих засобів, а й угруповань таких систем. Автоматизація процесу управління вогнем забезпечує оперативну передачу (розподіл та перерозподіл) цілевказань, що призводить до підвищення точності та ефективності дій артилерійських підрозділів.

На практиці, існуючі АСУва мають ряд недоліків, таких як складність, вартість та тривалі терміни розробки. Наявність та використання на фронті артилерійських систем розробки минулого століття та різних виробників значно ускладнює (а іноді – унеможливлює) впровадження АСУва, внаслідок відсутності уніфікації та стандартизації компонентів.

Одним зі шляхів розвитку та вдосконалення АСУва є впровадження уніфікованої системи автоматизованого управління (САУ) об'єктом типу транспортний засіб – вогневий засіб (ТЗ-ВЗ). Така САУ може бути використана як основа для розробки нових АСУва, а також для модернізації існуючих.

У статті розглядаються принципи та завдання АСУ вогнем артилерії, а також пропонується напрямок їх удосконалення за допомогою САУ ТЗ-ВЗ.

У класичних задачах теорії автоматичного управління часто виникає необхідність врахування обмежень на змінні стану. Наявність таких обмежень розглядається в рамках двох підходів. Обмеження можуть розглядатися як певні умови, виконання яких не гарантується фізичними властивостями об'єкта і повинно забезпечуватися належним вибором управління. При другому підході, обмеження на змінні стану враховуються за допомогою введення нелінійних статичних характеристик із насиченням. При цьому, в моделі об'єкта обмеження накладаються не на вектор змінних стану, а на вектор їх похідних – вхідні сигнали окремих ланок системи. Вихід змінних стану за межі, визначеними статичними нелінійностями, загалом, можливий.

Ключові слова: ланцюг із обмеженням, засоби автоматизації, технічна система, стабілізація, автоматичне керування, математична модель, параметри.

Постановка задачі у загальному вигляді. Аналіз та синтез САУ з обмежувачем у об'єкті управління з відповідними показниками, з можливістю контролю параметрів періодичних рухів (коливань системи), визначенням динамічних характеристик за корисним сигналом є актуальним науковим завданням. Впровадження такої САУ є можливим напрямком удосконалення АСУ вогнем артилерії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз публікацій щодо інтеграції об'єкта ТЗ-ВЗ в автоматизовану систему управління вогнем артилерії свідчить про зростаючий інтерес до впровадження уніфікованих САУ в артилерійських системах. Останні дослідження підтверджують, що використання САУ може значно підвищити ефективність і точність стрільби, а також спростити процеси управління вогнем. Стаття [1] присвячена дослідженню можливостей впровадження САУ в артилерійських системах. Автори статті підкреслюють, що використання САУ може зменшити складність і вартість розробки артилерійських систем, а також покращити їх взаємодію з іншими системами. Публікація [2] присвячена розробці нових методів управління вогнем артилерії з використанням САУ. Автори статті пропонують новий підхід до управління вогнем, що базується на використанні САУ для координації дій

артилерійських підрозділів. Варто зауважити, що внаслідок швидкого розвитку нейромереж зростає зацікавленість щодо використання штучного інтелекту (ШІ) у бойових діях та в цивільному просторі [3]. Публікацію [4] присвячено розробці системи управління дронами з використанням ШІ. Автори статті підкреслюють, що використання ШІ може значно покращити ефективність і точність стрільби. Вцілому, аналіз останніх джерел свідчить про те, що інтеграція об'єкта ТЗ-ВЗ в автоматизовану систему управління вогнем артилерії є перспективним напрямком розвитку артилерійських систем. Використання САУ і ШІ може значно покращити ефективність і точність стрільби, а також спростити процеси управління вогнем.

Для створення уніфікованої системи автоматизованого управління керування об'єктом типу транспортний засіб – вогневий засіб потрібні виконавчі пристрої із ударними взаємодіями. Теорія створення систем з такими виконавчими пристроями об'єднує теорію коливань і теорію віброударних та віброзахисних систем. Багато досліджень присвячено вивченню цих систем [5, 6]. Окрема увага у теорії коливань механічних систем приділяється вивченню систем із зіткненнями та визначенню умов виникнення періодичних коливань різних типів [7, 8], розробці методики розрахунку періодичних режимів [9] та отриманню режимів с заданими параметрами [10], дослідженню біфуркацій руху [11] тощо. При цьому використовуються як точні, так і наближені методи [12].

Метою статті є розгляд варіанту системи автоматичного управління вогнем із новими принципами управління (з можливістю включення елементів штучного інтелекту для врахування стохастичних змін зовнішніх впливів) із реалізацією інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та системи підтримки прийняття рішень.

Виклад основного матеріалу. Одним із пріоритетних напрямків розвитку Збройних Сил залишається вдосконалення систем бойового управління військами, включаючи модернізацію наявних засобів та систем подвійного призначення, впровадження нових систем і засобів автоматики та автоматизації управління військами та озброєнням із використанням досягнень у галузі інформаційних технологій.

Система управління вогнем (СУВ) або автоматизована система управління вогнем артилерії (АСУва) – автоматизована система, що об'єднує комплекс датчиків та технічних засобів, забезпечуючи пошук, виявлення та ідентифікацію цілей, а також підготовку системи озброєння до їх вогневого ураження, напрямок цілі та вирішення завдань враження цілі. Застосовуються на військових кораблях, підводних човнах, літаках, танках, самохідних артилерійських установках та комплексах ППО. У якості датчиків можуть використовуватись радари, інфрачервоні пристрої, лазерні далекоміри тощо. До складу системи управління вогнем також включаються приціли, а серед виконавчих пристроїв присутні стабілізатори озброєння, системи програмування та наведення керованої зброї.

Прикладами можуть служити прийняті на озброєння системи західних партнерів, зокрема автоматизована система управління (АСУ) вогнем польової артилерії ADLER (Artillerie Daten Lage Einsatz Rechnerverbund) та її модернізації ADLER II, АСУ вогнем мінометних підрозділів та реактивних систем залпового вогню DVA II (виробництва Німеччини), AFATDS (США), BATES (Великобританії) та ATLAS (Франції).

Не є винятком і системи, що використовуються на сході України в ході бойових дій на теперішній час. Прикладом системи, що реалізує автоматизацію процесу управління озброєнням, може бути програмний комплекс управління вогнем артилерії – ArtOS (Україна, місто Дніпро).

АСУв відповідного типу призначена для вирішення наступних основних завдань:

- координація дій засобів вогневого ураження із системами виявлення та супроводження цілей;
- оптимальний розподіл цілей;
- управління системами вогневої підтримки бойових дій з'єднань та частин з урахуванням складної тактичної обстановки або за попередньо спланованим сценарієм;

- автоматизована обробка та передача наказів та розпоряджень;
- визначення стану артилерійських систем, облік витрат та кількості боєприпасів;
- вибір оптимальних місць розташування систем артилерійської розвідки;
- управління та контроль за матеріально-технічним забезпеченням артилерійських підрозділів.

Модернізація існуючих засобів та систем, створення нових високомобільних артилерійських систем, дозволяє:

- здійснювати одночасне виконання багатьох вогневих задач;
- обмінюватися повідомленнями у цифровій формі;
- розгортати апаратуру та вогневі засоби на будь-якій транспортній базі.

У загальному випадку, це об'єднані в єдину мережу (систему) автоматизовані робочі місця, розташовані на командно-штабних машинах. Зв'язок між окремими (мобільними) компонентами системи здійснюється за допомогою засобів зв'язку короткохвильового та ультракороткохвильового діапазонів довжин хвиль. Обмін інформацією відбувається в автоматизованому режимі в реальному часі.

Спеціалізоване програмне забезпечення у системі управління вогнем дозволяє:

- проводити самостійний (незалежно від даних пункту управління вогнем) розрахунок та визначення налаштувань для пострілу;
- передавати повідомлення в ієрархічно структурованій мережі з численними користувачами (абонентами);
- забезпечувати доступ всіх користувачів (абонентів) за допомогою функціонально орієнтованої адресації;
- здійснювати управління пріоритетами та передачу повідомлень в режимі множинного доступу;
- організувати взаємодію з аналогічними АСУ збройних сил країн НАТО.

Розглянемо реалізацію подібних систем вітчизняними розробниками на прикладі програмного комплексу управління вогнем артилерії – ArtOS.

Застосування ArtOS значно скорочує час між моментом виявлення цілі та відкриттям вогню, а також усуває помилки при розрахунках. Такий комплекс здатний вирішувати 70% тактичних та бойових завдань, із якими стикається артилерія. Всі розрахунки відбуваються в автоматичному режимі і можуть бути дистанційно відправлені на артилерійський засіб.

Дані цілі, введені з планшету командира, з урахуванням метеорологічних та балістичних умов для націлювання вогневого засобу, отримують одночасно всі командири гармат та навідники батареї.

Комплекс зменшує час, який витрачається на ідентифікацію та ураження об'єкта, в чотири рази (до двох хвилин).

ArtOS складається з комунікаційних модулів Mikrotik, антен MIMO (Multiple Input – Multiple Output) та AirMax Omni, безпроводової точки доступу для зовнішнього застосування Rocket M, радіостанцій Motorola, які транслюють зашифрований сигнал, планшетів Sigma x-treme PQ70 та блоків інформації для артилерійських установок, створених у програмному середовищі Noosphere Engineering School.

Ситуація, з якою зіткнулись Збройні Сили України під час бойових дій, обумовлює широке використання високомобільних транспортних засобів цивільного виробництва, на яких встановлені нетипові вогневі засоби. Переваги та недоліки таких систем розглянуті в навчальних і аналітичних матеріалах [13]. Експлуатація цивільних транспортних засобів у воєнних умовах, зокрема з встановленими на них військовими системами, породжує ряд технічних питань.

Важливі переваги такого підходу – це висока мобільність та низька вартість. Водночас, існують обмеження за бойовою потужністю та захистом особового складу, які слід враховувати при прийнятті тактичних рішень (при використанні системи).

До основних недоліків належать такі: відсутність відповідності конструкції транспортної бази до умов використання артилерійського озброєння; неможливість інтегрування подібних систем в єдину АСУ вогнем (зброї).

У [14] розглядається необхідність і можливість створення уніфікованої стабілізованої платформи під управлінням САУ. У такій системі передбачається автоматична компенсація деструктивного впливу на транспортну базу від застосування вогневого засобу. При цьому канал компенсації будується як упереджувальна система автоматизованого управління розімкненого типу. Величина та напрямок компенсаційного впливу визначається автоматично у відповідності до моделі підресорної частини транспортного засобу. Початковою (вхідною) інформацією для розрахунку напряму та величини компенсаційного впливу є:

тип транспортної бази (кінематична схема та параметри побудови підресорної частини);

чисельне значення кута в азимутальній площині між напрямком ведення вогню та продольної вісі транспортної бази;

чисельне значення кута ведення вогню в горизонтальній площині;

технічні характеристики (параметри) вогневого засобу;

характеристики механічної конструкції, реалізованої при встановленні вогневого засобу на уніфіковану платформу стабілізації (зсув центру ваги в горизонтальній та вертикальній площинах).

Побудова САУ, що складається лише з одного каналу управління, наведеного вище, не є доцільною. Така система (ТЗ-ВЗ) ефективна і здатна виконувати завдання як самостійна бойова одиниця. До складу обслуговуючого персоналу повинні входити (окрім водія) професійні артилеристи. Використання подібної системи в єдиної АСУв все ще буде ускладненим.

Для вирішення завдання інтеграції системи високомобільної транспортної бази цивільного виробництва – вогневий засіб (ТЗ-ВЗ) в єдину систему управління вогнем запропоновано додати ще три додаткові канали САУ замкнутого типу:

1) для автоматичного позиціонування уніфікованої платформи в азимутальній площині;

2) для автоматичного позиціонування вогневої системи в горизонтальній площині; в обох каналах передбачається можливість дистанційного керування (надходження керуючих сигналів від центру управління вогнем);

3) для стабілізації рухомої частини уніфікованої платформи в горизонтальній площині.

Оскільки цей процес відбуватиметься автоматично (без зовнішнього керування), обслуговуючий персонал позбавляється необхідності вибору горизонтальної поверхні для транспортного засобу перед веденням вогню.

Загальна структура системи управління об’єктом ТЗ-ВЗ наведена на рис.1.

Блок датчиків об’єднує в собі вимірювальні та задаючі датчики всіх контурів керування САУ (інерційні вимірювачі, приймач супутникових сигналів системи GPS, статичні та динамічні датчики, датчики кутів тощо).

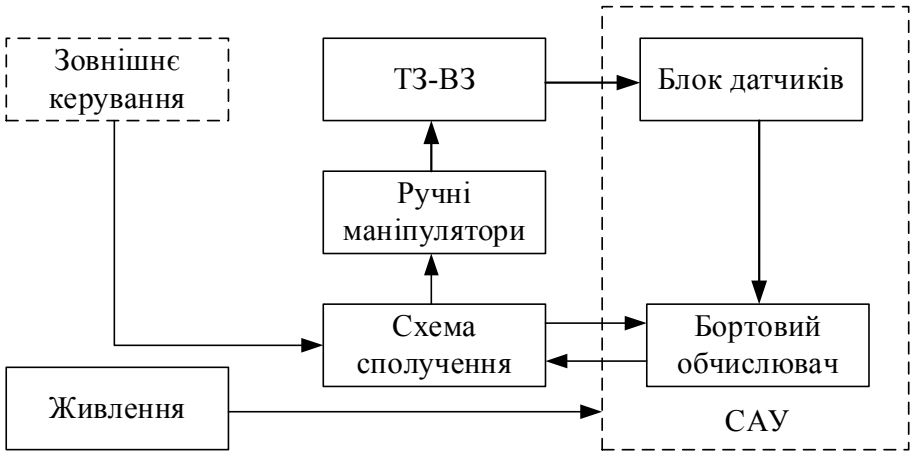

Рисунок 1 – Структура системи управління ТЗ-ВЗ

В якості бортового обчислювача може бути використано як одноплатний комп'ютер, так і прості мікропроцесорні системи. Перевага, не зважаючи на більші габарити та більше енергоспоживання, надається комп'ютеру. Це забезпечить більшу гнучкість використання та запас обчислювальної потужності.

У контурі стабілізації платформи з вогневим засобом можливо застосування ультразвукових висотомірів (малі габарити та енергоспоживання, незначна вартість).

Таким чином, САУ уніфікованої платформи ТЗ-ВЗ повинна включати в себе чотири контури автоматичного управління, три з яких замкнутого типу з регулюванням за зворотнім зв'язком (на рис. 2 показаний один з них), і роз'єднаного типу з параметрами управляючого впливу, отриманими за математичною моделлю, та виконавчим пристроєм з властивостями ланцюга з обмежувачем (ЛО).

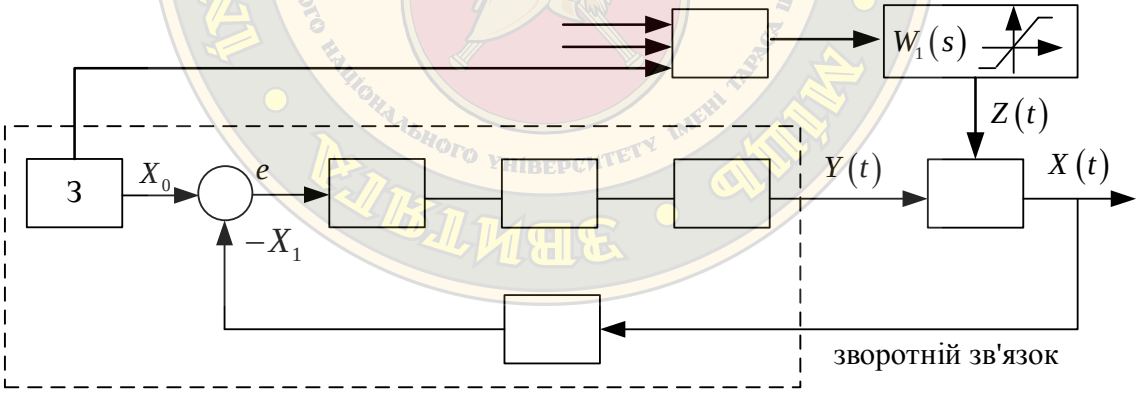

Рисунок 2 – Функціональна схема САУ

На схемі рис. 2 позначено: З – сигнал керуючої інформації (в аналоговому або цифровому вигляді) X_0; Д – датчик; Р – регулятор, ВП – виконавчий пристрій; ОУ – орган управління; О – об'єкт регулювання – уніфікована платформа; $Y(t)$ – управляючий вплив; $Z(t)$ – сигнал збудження від пострілу; $X(t)$ – параметр регулювання; X_1 – сигнал на виході датчика; $e = X_1 - X_0$ – похибка, що виникає при відхиленні параметра від завдання; ММ – математична модель підресорної частини транспортної бази; $W_1(s)$ – передаточна функція об'єкту (виконавчого приводу) з обмеженням.

Параметри контурів замкнутого типу визначаються виключно можливостями фізичної реалізації виконавчого пристрою (потужністю та запасом енергії на борту). Швидкодія (час перехідного процесу) в цих контурах відходить на другий план. На першому місці – відсутність перерегулювання та точність стеження. Для контурів регулювання введено обмеження:

- в азимутальній площині $(20 – 340)^0$;
- у кутомісній площині – $(0 – 80)^0$;
- для системи стабілізації платформи обмеження встановлюються в залежності від тактико-технічних характеристик транспортної бази. Максимальні кути регулювання не перевищують 15^0 в будь-якій площині.

В якості виконавчого пристрою контуру САУ розімкнутого типу для компенсації збуджувального впливу на транспортну базу розглядається виконавчий гідропривід. Використання гідроприводу обумовлено низкою особливостей функціонування механізмів у цьому контурі, а також характером впливу вогневого засобу під час застосування на підресорну частину транспортної бази. Цей вплив можливо характеризувати як ударний (одноразовий короткотривалий вплив значної інтенсивності).

На перше місце серед вимог до регуляторів у ньому віднесено швидкодію. Слід зауважити, що наявність гідроприводу дозволяє віднести САУ до класу систем з обмежувачем в об’єкті управління. Це випадок, коли завдяки конструктивним особливостям або фізичним властивостям об’єкту управління, вихід змінних станів за деякі межі принципово неможливий. Ланка, вихідна змінна якої має таку властивість, називають ланкою з обмежувачем (ЛО).

У приводах цього класу використовуються релейні закони управління, що пояснюється простотою виробництва та експлуатації релейних систем, а також можливістю отримання високих динамічних характеристик при малих габаритах і вазі керуючих пристроїв. Окрім релейних законів, в таких системах застосовують лінійні закони управління, які також володіють рядом позитивних властивостей.

Об’єкти з ЛО, є суттєво нелінійними, специфічними системами, а потреба врахування обмежувачів виникає при дослідженні багатьох технічних об’єктів. До них належать об’єкти з механічними обмежувачами, основною особливістю яких є наявність ударних взаємодій. Наявність ланок з ударними взаємодіями є характерною особливістю автоматичних (автоматизованих) систем. Ланки з механічними упорами входять до складу управляючих пристроїв газових та гідравлічних приводів стеження. При цьому для ряду систем (пропорційні приводи) ударні взаємодії вважають небажаними. В інших випадках (релеєві автоколивальні системи, системи з зовнішнім лініаризуючим впливом) удари об обмежувачі становлять невід’ємну частину робочих процесів.

Процес удару розглядається як миттєва дія, яка впливає на зміни стану системи при незмінних інших координатах. Для опису ударної взаємодії використовується концепція Ньютона, яка використовує коефіцієнт пропорційності між швидкостями тіл, що рухаються, до і після удару.

У просторі стану системи можна виділити області, рухи в яких описуються різними диференціальними рівняннями. При переході з однієї області в іншу фазова траєкторія може залишатися неперервною (обмежувачі типу насичення) або зазнавати розриву (обмежувачі типу механічний опір). Таким чином, системи з обмежувачами описуються диференціальними рівняннями з розривними частинами, причому розривними можуть бути і фазові траєкторії.

Завдання дослідження систем з обмеженнями, розглянуті в теорії коливань, мають свою специфіку. У більшості випадків досліджуються вимушені або параметричні коливання роз’єднаних механічних систем. Найбільший інтерес представляє визначення амплітуди цих коливань. У конкретних задачах, застосовуючи точні методи, використовуються математичні моделі невисокого (2-го, 3-го) порядку. Щодо можливості використання наближених методів

можна, з деякими застереженнями, посилатися на точку зору Ю.І. Неймарка, який зауважував, що "...особливості динаміки систем із ударними взаємодіями роблять малопридатними застосування вивчених методів типу гармонічної лінеаризації, малого параметра і усереднення".

Задачі дослідження систем автоматичного управління зазвичай відрізняються за змістом від задач теорії коливань. У них розглядаються закриті системи високого порядку, які, крім обмежувачів, мають інші нелінійності. Одержання періодичних рухів із заданими параметрами у цьому випадку є не лише необхідною, але й недостатньою умовою задоволення вимог, які висуваються до системи. Таким чином, при дослідженні систем автоматичного управління з обмежувачами відомі методи теорії коливань виявляються недостатніми.

Отже, синтез частини САУ з ЛО для системи ТЗ-ВЗ представляє собою актуальну наукову задачу, в якій поєднано наукові положення теорії коливань та теорії віброударних та віброзахисних систем.

Синтезу регуляторів стану (САУ) замкнених контурів приділяється значна увага в ряді джерел, а тому не викликає принципових труднощів. Вирішення цієї задачі значно спрощується при використанні сучасного програмного забезпечення, призначеного для автоматизації математичних та наукових розрахунків, наприклад, пакетів Mathematica, MathCAD, MATLAB, Maple.

При цьому система програмування MATLAB суттєво відрізняється від інших "математичних" пакетів наявністю в ній додатку для структурного математичного моделювання Simulink, інструментів, спеціально призначених для аналізу та синтезу лінійних систем автоматичного управління (Control System Toolbox) та розвиненої об'єктно-орієнтованої алгоритмічної мови, а також можливістю доступу до своїх функцій.

Таким чином, запропонована система (структура системи з регуляторами певних типів у різних каналах управління) у складі високомобільного транспортного засобу та нетипового вогневого засобу може бути інтегрована в єдину систему управління вогнем. При цьому, склад екіпажу (за необхідністю) може бути скорочений до однієї людини, завдання якої полягатиме в доставці транспортного засобу із зарядженим і готовим до застосування вогневим засобом до заздалегідь визначеного місця (позиції). Після прибуття екіпаж може бути приховано, а виконання бойового завдання (наведення, виконання стрільб, згортання) може бути виконано дистанційно та автоматично. Задачі проведення попередніх розрахунків з урахуванням географічних координат, вибір об'єкта ураження, час виконання стрільб, синхронізація з іншими подібними системами покладаються на центр прийняття рішень – центр управління.

Залежно від розв'язуваних задач та тактичної обстановки, систему ТЗ-ВЗ можна використовувати в сплячому режимі, а за необхідності – дистанційно знищити.

Висновки. Одним із напрямків створення (вдосконалення) АСУва є переобладнання уніфікованими засобами САУ широко застосовуваних на сьогодні у військах систем типу – високомобільна транспортна база цивільного виробництва з нетиповими вогневими засобами. Створення (синтез, адаптація, модернізація) системи автоматичного управління вогнем із новими принципами управління, елементами штучного інтелекту, з реалізацією інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу та системи підтримки прийняття рішень дозволяє суттєво скоротити час управління вогневими засобами та уникнути помилок операторів.

Наявність обмежувача в контурі системі управління суттєво впливає на її динамічні властивості. Представлення обмежувача безінерційним ланцюгом типу насичення призводить до значних похибок при вирішенні завдань аналізу та синтезу САУ, тому такий підхід є неприпустимий. Існуючі методи дослідження нелінійних систем у теорії автоматичного управління, в основному, передбачають наявність лише статичних нелінійностей, і їх застосовування до систем із обмежувачами на практиці дещо ускладнене.

Таким чином, незважаючи на значну кількість робіт, присвячених системам з ударними взаємодіями, наявні результати мають обмежене застосування до систем управління об'єктами з обмежувачами і не дозволяють вирішити ряд завдань, що виникають при їх дослідженні. Тому аналіз та синтез САУ з обмежувачем у об'єкті управління з відповідними показниками, з можливістю контролю параметрів періодичних рухів, визначенням динамічних характеристик за корисним сигналом є актуальним науковим завданням. Впровадження такої САУ є можливим напрямком удосконалення АСУва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bendersky, M., Raz, D. Artillery Firing Shift with Two Registration Targets. Military Operations Research Society Vol. 28, No. 4, 2023, pp. 23 – 38.

2. Рябих, В. Повелитель вогню – все про автоматизовану систему керування артилерійським вогнем TOPAZ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/povelitel_vognju_vse_pro_avtomatizovanu_sistemu_keruvannja_artilerijskim_vognem_topaz-4554.html.

3. Hui, Liu. Investigation on Works and Military Applications of Artificial Intelligence. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9143084.

4. Пилипів, І. Війну виграють технології. Як штучний інтелект допоможе перемогти у війні з РФ? [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.epravda.com.ua/publications/2023/12/4/707197.

5. Симоновський, В.І. Коливання нелінійних систем. Суми: СумДУ, 1999. 131 с.

6. Воробьев, В.В., Киба, С.П., Самойлов, Н.Г. Колебания материальной точки. Кременчуг: КДПУ, 2000. 58 с.

7. Горошко, О.О., Дем'яненко, А.Г., Киба, С.П. Двохвильові процеси в механічних системах. К.: Либідь, 1991. 188 с.

8. Киба, С.П., Дем'яненко, А.Г. Узагальнення методу розділення змінних та деякі його застосування в механіці. К.: МВССО УРСР, НМК ВО, 1991. 120 с.

9. Назаренко, И.И. Прикладные задачи теории вибрационных систем.К.: ИСИО, 1993. 216 с.

10. Павловський, М.А. Теоретична механіка. К.: Техніка, 2002. 512 с.

11. Василенко, М.В., Алексейчук, О.М. Теорія коливань і стійкості руху. К.: Вища шк., 2004. 525 с.

12. Василенко, Н.В. Теория колебаний. К.: Вища шк., 1992. 430 с.

13. Кузавков, В.В., Поляк, І.Є. Аналіз транспортної бази для встановлення стабілізованої платформи нетипової артилерійської системи. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Випуск № 50. Луцьк, 2023. 15-20 с.

14. Кузавков, В.В., Мацаєнко, А.М., Поляк, І.Є. Модель оцінки впливу вогневого засобу на підресорну частину транспортної бази. *Modern knowledge: research and discoveries.* Випуск № 40(183). Vancouver, Canada, 2023, pp. 600 – 610.

REFERENCES:

1. Bendersky, M. and Raz, D. (2023) Artillery Firing Shift with Two Registration Targets. Military Operations Research Society Vol. 28, No. 4, pp. 23 – 38.

2. Rjabykh, V. Povelytelj voghnju – vse pro avtomatyzovanu systemu keruvannja artylerijsjkym voghnem TOPAZ. [Fire Lord - all about the TOPAZ automated artillery fire control system]. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/povelitel_vognju_vse_pro_avtomatizovanu_sistemu_keruvannja_artilerijskim_vognem_topaz-4554.html.

3. Hui, Liu. Investigation on Works and Military Applications of Artificial Intelligence. [URL]: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9143084.

4. Pylypiv, I. Vijnu vyghrajutj tekhnologhiji. Jak shtuchnyj intelekt dopomozhe peremoghty u vijni z RF? [Technology will win the war. How will artificial intelligence help win the war with the Russian Federation?]. https://www.epravda.com.ua/publications/2023/12/4/707197.

5. Symonovsjkyj, V.I. (1999) Kolyvannja nelinijnykh system [Oscillations of nonlinear systems]. Sumy: SumDU. 131 p.

6. Vorobj'ev, V.V., Kyba, S.P. and Samojlov, N.G. (2000) Kolebanyja materyaljnoj tochky [Oscillations of a material point]. Kremenchugh: KDPU. 58 p.

7. Ghoroshko, O.O., Dem'janenko, A.G. and Kyba, S.P. (1991) Dvokhvyljovi procesy v mekhanichnykh systemakh [Two-wave processes in mechanical systems]. K.: Lybidj. 188 p.

8. Kyba, S.P. and Dem'janenko, A.G. (1991) Uzaghaljnennja metodu rozdilennja zminnykh ta dejaki jogho zastosuvannja v mekhanici [Generalization of the method of separation of variables and some of its applications in mechanics.]. K.: MVSSO URSR, NMK VO. 120 p.

9. Nazarenko, Y.Y. (1993) Prykladnie zadachy teoryy vybracyonnikh system [Applied problems of the theory of vibration systems]. K.: YSYO. 216 p.

10. Pavlovsjkyj, M.A. (2002) Teoretychna mekhanika [Theoretical mechanics]. K.: Tekhnika. 512 p.

11. Vasylenko, M.V. and Aleksejchuk, O.M. (2004) Teorija kolyvanj i stijkosti rukhu [Theory of oscillations and stability of motion]. K.: Vyshha shk.. 525 p.

12. Vasylenko, N.V. (1992) Teoryja kolebanyj [Theory of oscillations]. K.: Vyshha shk. 430 p.

13. Kuzavkov, V.V. and Poljak, I.Je. (2023) Analiz transportnoji bazy dlja vstanovlennja stabilizovanoji platformy netypovoji artylerijsjkoji systemy [Analysis of the transport base for the installation of a stabilized platform of an atypical artillery system]. Komp'juterno-integhrovani tekhnologhiji: osvita, nauka, vyrobnyctvo. Vypusk № 50. Lucjk, pp. 15-20.

14. Kuzavkov, V.V., Macajenko, A.M. and Poljak, I.Je. (2023) Modelj ocinky vplyvu voghnevogho zasobu na pidresornu chastynu transportnoji bazy [A model for assessing the effect of a fire agent on the spring-loaded part of the transport base]. Modern knowledge: research and discoveries. Vypusk № 40(183). Vancouver, Canada, pp. 600 – 610.

Dr. Tech. Sci. Prof. Kuzavkov V.V., Ph.D. Solodovnick V.I., Lapa V.I.

INTEGRATION OF V-F FACILITY IN AUTOMATED ARTILLERY FIRE CONTROL SYSTEM

Automated artillery fire control systems (ACSaf) play an important role in modern combat operations in the border regions of Ukraine. Such systems make it possible to significantly increase the effectiveness of the use of not only individual firearms, but also groups of such systems. Automation of the fire control process ensures prompt transfer (distribution and redistribution) of targets, which leads to an increase in the accuracy and efficiency of the actions of artillery units.

In practice, existing ACSaf have a number of disadvantages, such as complexity, cost, and long development times. The presence and use on the front of artillery systems developed in the last century and by different manufacturers makes it much more difficult (and sometimes impossible) to implement the ACSaf, due to the lack of unification and standardization of components.

One of the ways of development and improvement of ACSaf is the introduction of a unified system of automated control (SAC) of an object of the vehicle-firearm type (V-F). Such an automatic control system can be used as a basis for the development of new ACSaf, as well as for the modernization of existing ones.

The article examines the principles and tasks of ACS artillery fire, and also suggests the direction of their improvement with the help of V-F SAC.

In classic problems of the theory of automatic control, it is often necessary to take into account restrictions on state variables. The presence of such limitations is considered in the framework of two approaches. Restrictions can be considered as certain conditions, the fulfillment of which is not guaranteed by the physical properties of the object and must be ensured by a proper choice of management. In the second approach, constraints on the state variables are taken into account by introducing nonlinear static characteristics with saturation. At the same time, in the object model, restrictions are imposed not on the vector of state variables, but on the vector of their derivatives - input signals of individual links of the system. It is, in general, possible for the state variables to go beyond the limits defined by static nonlinearities.

Keywords: chain with limitation, means of automation, technical system, stabilization, automatic control, mathematical model, parameters.

УДК 004.94+004.056+658.5:159.953+612.821