

В.М. Лисогор, проф., д-р техн. наук,
Вінницький державний аграрний університет
С.В. Сорокун, асистент, О.М. Циганенко, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Моделі контролю групової взаємодії операторів людино-машинних систем управління у просторі передатних функцій

Проаналізовані та досліджені ряд моделей контролю ефективності групової взаємодії операторів людино-машинних систем управління у просторі передатних функцій відповідних схем з'єднання окремих операторів з їх технічними засобами.

модель, контроль, управління, людино-машинні системи (ЛМС), оператор, групова взаємодія, послідовна взаємодія, паралельна взаємодія, довільна взаємодія, багатокроковий алгоритм, структурні схеми

Відомі моделі контролю поведінки окремого оператора в людино-машинній системі управління у просторі передатних функцій [1, 2]. Відомі моделі контролю параметрів послідовно, паралельно, зустрічно-послідовно-паралельно з'єднаних між собою технічних пристроїв систем управління [3, 4]. Відомі моделі контролю надійності послідовно, паралельно, зустрічно-послідовно-паралельно, місткових з'єднаних між собою технічних пристроїв систем управління.

Невідомі публікації досліджень моделей контролю групової взаємодії операторів (ГВО) людино-машинних систем управління у просторі передатних функцій. Причому недостатні публікації пов'язані з груповою взаємодією операторів при послідовному, паралельному виконаннях задач у системах автоматизованого управління. Публікації зв'язані зустрічно-послідовно-паралельно та місткових групових взаємодій операторів, взагалі відсутні. Тому проведений аналіз матеріалів, у яких відображений сучасний етап розвитку ЛМС показав, що розробка моделей контролю групової взаємодії є актуальним.

Новизна розробки та дослідження пропонованих авторами моделей контролю групової взаємодії операторів людино-машинних систем управління у просторі передатних функцій полягає у розробці та дослідження відповідних схем з'єднання окремих операторів в довільні групи з аналізом ефективності математичних моделей у системі автоматичного управління.

Спрощена модель «людино-машинної системи» (ЛМС)

Зовнішній контур ЛМС представляє організаційну структуру, у яку включені всі характеристики ЛМС, визначаючі людину, що обслуговує машину, і його властивості, а також усю робочу сферу. З цієї організаційної структури виділяється частина задач, що підлягають виконанню людиною. Інші задачі впливають з відповідей машини за результатами відхилень виробничих параметрів, по помилках, по збуренням чи діям людини. Ці задачі сприймає людина за допомогою органів відчуття (як правило, у виді оптичних чи акустичних сигналів). Перетворити ці задачі шляхом запам'ятовування та реагування в конкретні дії (прямий вплив на машину) чи в передачу інформації (повідомлення іншим операторам), забезпечуємо прямий або непрямий вплив на керуючі пристрої машини.

Машиною по її поточному стані виробляється відповідь, що знаходить відбиття в організаційній структурі або сприймається людиною через його органи відчуття за умови, що він знаходиться в тому ж робочому просторі, в якому і машина. Усі взаємозв'язки в людино-машинній системі й окремі її елементи мають вплив, що може відбиватися на працездатності системи або її окремих елементах. Ці впливи при оцінці системи підлягають опису.

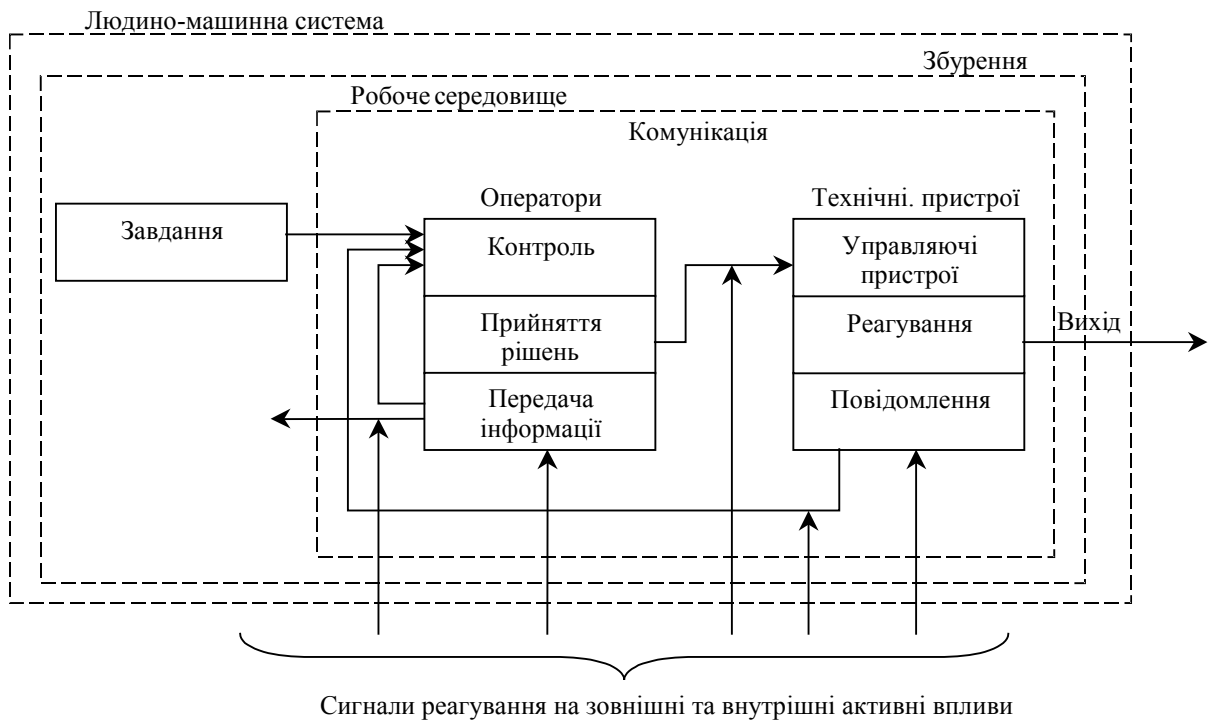


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема людино-машинної системи

Модель ЛМС є основою для вивчення різноманітних систем ергономіки і досліджень питань ймовірності помилок і працездатності ЛМС. При цьому виходячи з того, що підлягають визначенню взаємозв'язку між зовнішнім робочим середовищем і працездатністю людини, тобто надійністю, а також ергономічне відображення машини.

Інформація про ці взаємозв'язки і функціональна залежність людської надійності від параметрів зовнішнього робочого середовища і стану машини являє собою склад бази знань експертної системи.

Ці дані потім використовуються для того, щоб по параметрах зовнішнього середовища і стану машини, які характеризують конкретну ситуацію, щоб визначити ймовірність помилок і показати слабкі місця. Недоліком такої процедури є те, що в ній же враховується індивідуальна складова помилки оператора. Можна, однак, і цей пробіл заповнити науково-практичними дослідженнями, у які для аналізу функцій групи операторів в залежності від параметрів організаційної структури включається ймовірність основної помилки, що не залежить від параметрів навколишнього середовища і стану машини.

Алгоритм реалізації моделі контролю групової взаємодії операторів

Окремі кроки методу схематично представлені на рис. 2. При цьому підкроки: «опитування операторів», «огляд установки», «оцінка виконання дій» для можливої перевірки основних кроків методу повинні проходитися принаймні один раз.

Крок – 1 Визначення дій оператора В межах ймовірного аналізу безпеки оцінка дій людини визначається або по аварійній ситуації, виходячи з якої може бути знайдена необхідна дія, або це звичайно проведений захід щодо технічного обслуговування для усунення порушень.

Крок – 2 Визначення стану технічного пристрою (об'єкту), вивчення інструкції На цьому кроці визначають, які виробничі параметри були перед виконанням дій, під час дії і після неї, а також оцінюють характер зміни їх у часі. При цьому необхідно також стежити за тим, які параметри можуть змінюватися через помилкові дії і який вплив можуть мати ці зміни на хід процесу. Необхідно далі визначити запас часу, яким розраховують для проведення дій, що вимагаються.

На підставі визначення необхідних дій і стану установки виробляється пошук у наявній документації. При цьому повинні бути складені необхідні виробничому персоналу вказівки і робочі документи, а також виконана їх оцінка стосовно до майбутнього виконання дій.

Крок – 3 Визначення кількості операторів та їх групова взаємодія. Після того як встановлено, які дії слід виконати, треба ще вибрати операторів які будуть підходити для реалізації поставленої задачі. При цьому необхідно виходити з мінімізації кількості операторів і їх групової взаємодії.

Крок – 4 Складання плану дій ГВО. На базі попередніх кроків процедури розробляється схема дій і представляється відповідним логічним графом. При написанні графа з початку не беруться в увагу можливі звороти, оскільки в першу чергу необхідно виявити які впливи вказують на невиконання або помилкове виконання деякого кроку дій.

Крок – 6 Аналіз складу задач. За допомогою критерію оцінки складу задач одержують опис дій для кожного приймаючого участь оператора.

Крок – 7 Оцінка діяльності ГВО. Оскільки в процесі дій рішення приймаються операторами об'єктів, вони повинні розглядати та оцінювати розумову діяльність людини.

Крок – 8, 12 Повторні опитування

Після попереднього визначення всіх необхідних для дій суттєвих критеріїв повинен бути проведений огляд установок для того, щоб оцінювач отримав загальне представлення про хід дій на установці.

Крок – 9 Огляд об'єкту, технічного пристрою

Обговорювання удосконалень з персоналом установки необхідно для розуміння і знайомства зі змінами перед їх реалізацією. Завдяки цьому на змінену систему не будуть впливати дії, які можуть стати джерелом нових помилок.

Крок – 10 Визначення ймовірності відмов Для визначення ймовірності відмов у розглянутих діях вони повинні бути перетворені у відповідні логічні графи. Найбільш прийнятним для застосування тут логічних графів є дерево помилок, у якому базисні події формуються по кроках дій, параметрам навколишнього середовища й іншим ясно представленим критеріям оцінки. Атестація цих базисних подій здійснюється експертною системою. При цьому може визначатися як ймовірність виникнення, так і можливий рівень події.

Крок 11 Оцінка та розробка удосконалень ГВО при їх груповій взаємодії. Шляхом обробки *дерева помилок* і аналізу рішень з експертної системи можуть бути отримані:

1. Ступінь можливості небажаної події «відмова дій», якому може відповідати деяке вербальне висловлювання.
2. Перетворене значення для вхідної ймовірності небажаної події «відмова дій».
3. Аналізом важливості і чутливості можуть бути визначені події, що впливають на величину результату.
4. Залученням оцінки за допомогою експертної системи, що дозволяє точніше проаналізувати й одержати критерії оцінки, а їх оптимізацією забезпечити поліпшення людино-машинної системи і тим самим знизити вхідну ймовірність небажаної події «відмова дій».

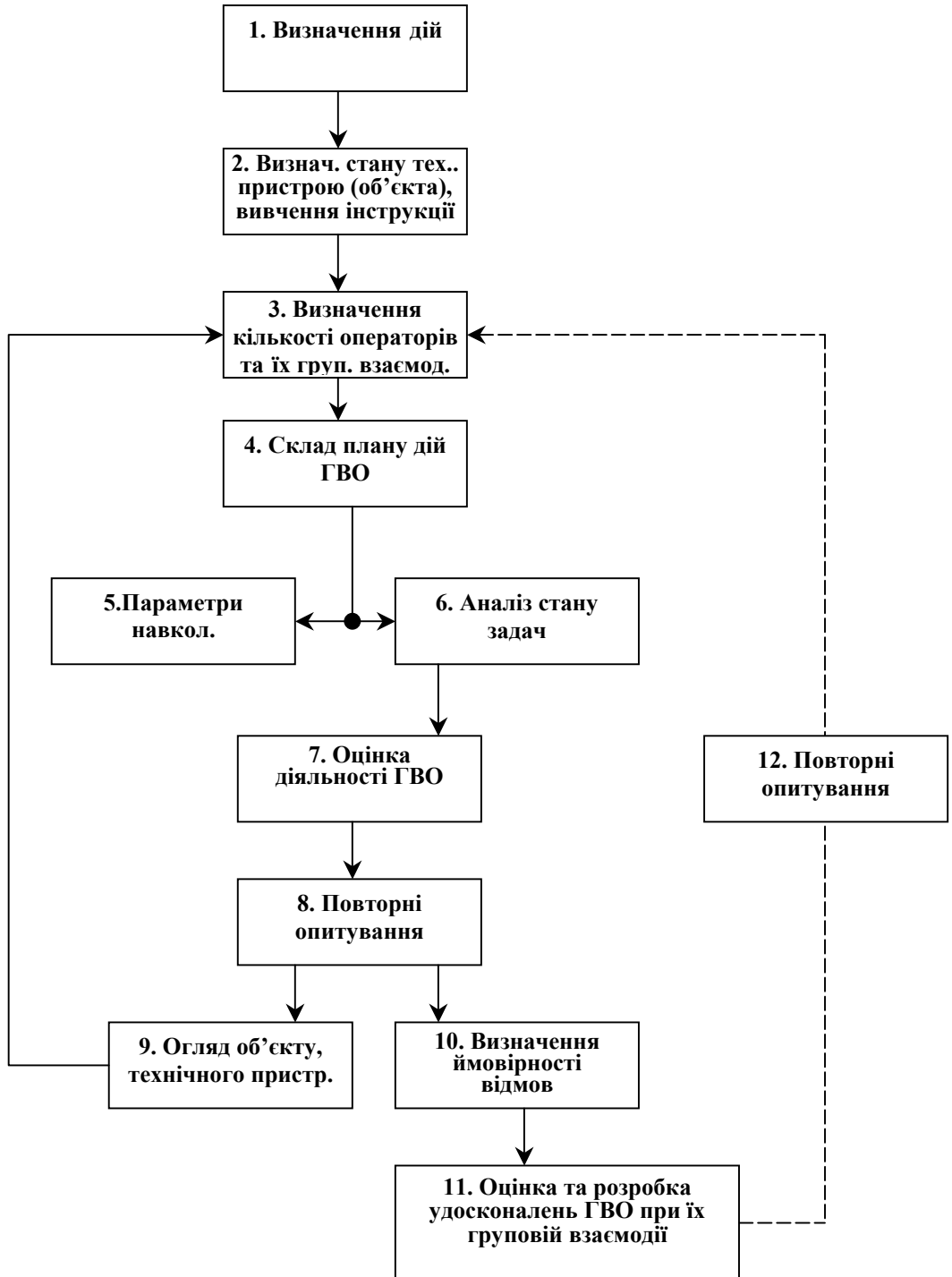


Рисунок 2 – Блок схема оцінки дій операторів при груповій взаємодії операторів

Розроблені удосконалення людино-машинної системи перед їхньою передачею для використання підлягають обговоренню з експертами і операторами технічних пристроїв. Обговорення удосконалень з операторами технічних пристроїв необхідно для осмислення і знайомства зі змінами перед їх реалізацією. Завдяки цьому на змінену систему не будуть перенесені стереотипні дії, що можуть стати джерелом нових помилок.

При розгляді групової взаємодії операторів людино-машинних систем керування в просторі передатних функцій складається з розробки і дослідження відповідних схем приєднаних окремих операторів у визначені групи.

Передатна функція кожної ланки спрямованої дії являє собою записане в операторській формі і дозволено щодо зображення вихідної величини диференціальне рівняння даної ланки. Таким чином, задача складання диференціальних рівнянь системи автоматичного керування в цілому зводиться до складання рівнянь окремих ланок. Одержаний при цьому вираз у частині трудомісткості стає більш очевидним, тому що на практиці в переважній більшості випадків структурні схеми систем автоматичного керування являють собою різні комбінації невеликого числа так званих типових ланок спрямованої дії, передатні функції і динамічні властивості яких можуть бути визначені раз і назавжди.



Рисунок 3 – Узагальнена структурна схема моделі контролю ГВО

Дуже важливою перевагою структурних схем є їх фізична наочність, що дає більш ясне представлення про процеси, що відбуваються в досліджуваній системі, у порівнянні з загальною формою запису диференціальних рівнянь.

Зі сказаного зрозуміла необхідність в умінні розділяти системи автоматичного керування на ланки спрямованої дії і складати структурні схеми в загальному вигляді, ґрунтуючись на принципових і функціональних схемах систем керування.

Після того як складена структурна схема й отримані передатні функції вхідних у неї ланок, необхідно визначити передатну функцію всієї системи. При цьому, якщо для поділу систем управління на ланки спрямованої дії не можна дати якогось єдиного рецепта, а приходиться щораз керуватися значною мірою розуміннями загального порядку й інтуїцією, що здобуваються в процесі накопичення досвіду і виконання спеціальних вправ, то для визначення передатної функції системи по її структурній схемі можна скористатися спеціальними правилами перетворення структурних схем, основні з яких приводяться нижче.

Розглянемо розімкнуту систему, що володіє властивістю спрямованої дії (рис.3). Це може бути як одна ланка, так і будь-яка їх комбінація.

По визначенню передатної функції

$$W(p) = \frac{X_{\text{вих}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)}, \quad (1)$$

відкля впливає основна властивість спрямованої системи

$$X_{\text{вих}}(p) = W(p)X_{\text{вх}}(p), \quad (2)$$

тобто операторне зображення вихідної величини дорівнює передатній функції системи, помноженій на зображення вхідної величини.

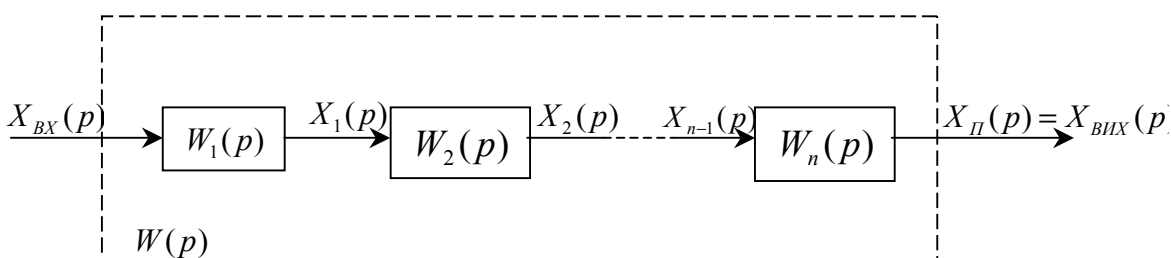


Рисунок 4 – Структурна схема моделі контролю послідовної групової взаємодії операторів

Розглянемо основні випадки включення ланок спрямованої дії.

1. Структурна схема моделі контролю послідовної групової взаємодії операторів (одноконтурна розімкнута система). Структурна схема приведена на рис.4.

На підставі формули (2) для кожної з n ланок можна записати:

$$\begin{aligned} X_1(p) &= W_1(p)X_{BX}(p), \\ \dots & \\ X_i(p) &= W_i(p)X_{i-1}(p), (i = \overline{1, n}) \end{aligned} \quad (3)$$

Крім усіх проміжних величин, тобто підставляючи попередні в наступні, одержимо вираз для останнього члена:

$$X_n(p) = W_n(p)X_{n-1}(p) = W_n(p)W_{n-1}(p)X_{n-2}(p) = \dots \quad (4)$$

З огляду на те, що вихід останньої n -ї ланки є одночасно вихідною величиною системи, тобто

$$X_n(p) = X_{ВИХ}(p). \quad (5)$$

Отримаємо

$$X_{ВИХ}(p) = W_1(p)W_2(p)\dots W_i(p)\dots W_{n-1}(p)W_n(p)X_{BX}(p). \quad (6)$$

Так як відношення

$$\frac{X_{ВИХ}(p)}{X_{BX}(p)} \quad (7)$$

по визначенню є передатна функція всієї системи $W(p)$, то остаточно будемо мати

$$\frac{X_{ВИХ}(p)}{X_{BX}(p)} = W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (8)$$

Отже, передатна функція послідовно ввімкнених ланок спрямованої дії дорівнює добутку передатних функцій окремих ланок.

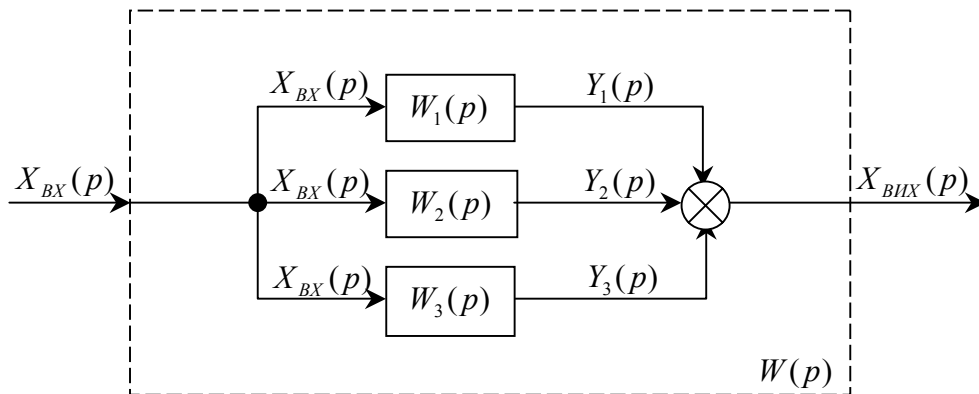


Рисунок.5 – Структурна схема моделі контролю паралельної ГВО

2. Паралельне ввімкнення. Паралельним включенням ланок спрямованої дії вважається таке, при якому вхідна величина системи подається паралельно на входи всіх ланок, а їх вихідні величини алгебраїчно складаються на виході системи. На рис.

5 зображений окремий випадок паралельного включення трьох ланок спрямованої дії.

На підставі формули (2) для кожного з n паралельно включених ланок можна записати:

$$\begin{aligned} Y_1(p) &= W_1(p)X_{BX}(p), \\ \dots & \\ Y_i(p) &= W_i(p)X_{BX}(p), (i = \overline{1, n}) \end{aligned} \quad (9)$$

Підсумовуючи написані рівності і приймаючи в увагу, що по визначенню паралельного включення ланок спрямованої дії сума лівих частин є вихідною величиною системи, одержимо

$$\begin{aligned} X_{ВНХ}(p) &= Y_1(p) + Y_2(p) + \dots + Y_i(p) + \dots + Y_n(p) = \\ &= [W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_i(p) + \dots + W_n(p)]X_{BX}(p). \end{aligned} \quad (10)$$

Відповідно до визначення передатної функції (1), з останнього виразу будемо мати

$$\frac{X_{ВНХ}(p)}{X_{BX}(p)} = W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p). \quad (11)$$

Таким чином, передатна функція паралельно включених ланок спрямованої дії дорівнює алгебраїчній сумі передатних функцій окремих ланок.

3. Структурна схема моделі контролю послідовно-паралельного зустрічного включення ГВО. (зворотній зв'язок). Розглянемо спочатку основний випадок — негативний зворотній зв'язок.

На рис. 6 зображена структурна схема замкнутої системи автоматичного керування в найбільш загальному виді, де $G(p)$ і $Z(p)$ передатні функції відповідно прямої ланцюга системи і ланцюга зворотнього зв'язку. Сигнал зворотнього зв'язку $X_{oc}(p)$ віднімається з вхідного сигналу $X_{вх}(p)$ (у випадку позитивного зворотнього зв'язку вони не віднімаються, а складаються).

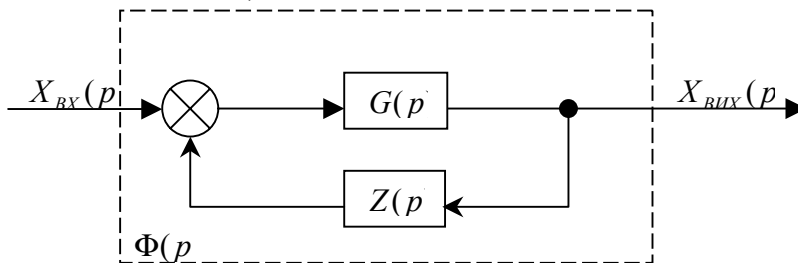


Рисунок 6 – Структурна схема моделі контролю паралельної ГВО

Передатні функції $G(p)$ і $Z(p)$ можуть відповідати як простим ланкам спрямованої дії, так і їх будь-яким комбінаціям.

Для схеми, зображеної на рис. 6,

$$\begin{aligned} X_{ВНХ}(p) &= G(p)[X_{BX}(p) - X_{oc}(p)], \\ X_{oc}(p) &= Z(p)X_{ВНХ}(p). \end{aligned} \quad (12)$$

Виключивши з них проміжну величину X_{oc} , одержимо передатну функцію замкнутої системи

$$\frac{X_{ВНХ}(p)}{X_{BX}(p)} = \Phi(p) = \frac{G(p)}{1 + W(p)}, \quad (13)$$

де

$$W(p) = G(p)Z(p) \quad (14)$$

є передатна функція розімкнутої системи. Зміст останньої назви стає зрозумілим, якщо розімкнути контур управління в будь-якому місці і, «випрямивши» його, розглядати проходження сигналу, поданого в місці розмикання, по ланцюжку послідовно включених ланок спрямованої дії.

Отже, передатна функція замкнутої системи автоматичного керування дорівнює відношенню передатної функції прямого ланцюга до збільшеного на одиницю передатної функції розімкнутої системи.

Слід зазначити, що цей висновок, рівно як і формула (13), справедливий лише для зображеного на рис. 6 випадку, коли зовнішній вплив надходить на вхід системи управління. Тому $\Phi(p)$ іноді називають передатною функцією замкнутої системи по вхідному впливі.

У дійсності, крім управляючого вхідного впливу, вся реальна система піддається різним впливам, що обурюють, (коливання навантаження, нестабільність характеристик елементів, перешкоди і т.д.), що можуть надходити в систему в будь-якому місці. Для обліку їхнього впливу потрібно вміти за допомогою структурної схеми встановлювати залежності між цими збурюваннями і змінами керованої (вихідний) величини системи.

Розглянемо структурну схему системи автоматичного керування, зображену на рис. 7. Прямий ланцюг системи складається з послідовно включених ланок спрямованої дії з

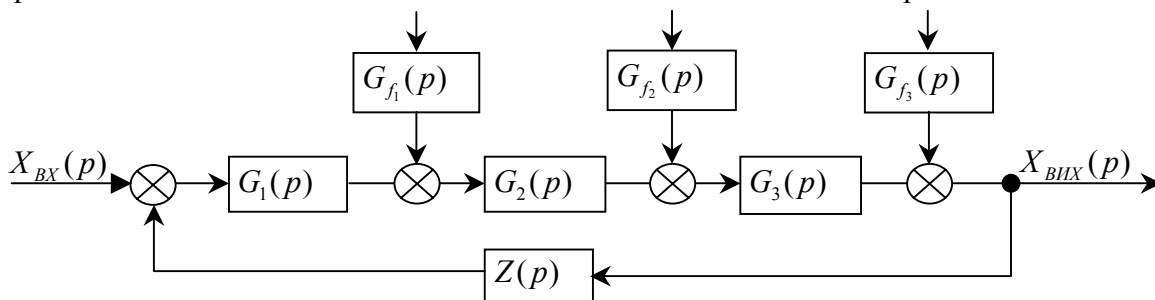


Рисунок 7 – Структурна схема моделі контролю автоматичного управління ГВО

передатними функціями $G_1(p), G_2(p), G_3(p)$. На вході двох останніх ланок надходять збурюючі впливи, $F_1(p)$ і $F_2(p)$, що складаються з відповідними вихідними величинами попередніх ланок. Крім того, збурення $F_3(p)$ діє безпосередньо на вихідну величину системи, що позначено на схемі спеціальним елементом підсумовування. При цьому принципово важливо, що місце додатка збурення $F_3(p)$ охоплено зворотнім зв'язком, тобто на ланку з передатною функцією $Z(p)$ надходить вихідна величина системи уже з урахуванням дії $F_3(p)$. У протилежному випадку ніякого ефекту регулювання не було б, тому що керована величина системи, перевернувшись впливом впливу, що обурює, не коректувалася б зворотнім зв'язком.

Зі структурної схеми (рис. 7) видно, що збурюючі впливи $F_2(p), F_3(p)$ надходять на входи ланок прямого ланцюга системи не безпосередньо, а через додаткові ланки з передатними функціями $G_{f1}(p), G_{f2}(p), G_{f3}(p)$, що відбивають характер залежності даної величини системи від конкретного збурення.

У силу лінійності розглянутої системи керування до неї застосуємо принцип накладення, що дає можливість визначити загальну реакцію системи (зміна вихідної величини) як суму приватних реакцій від кожного з зовнішніх впливів окремо.

Якщо $X_{BX}(p)=0, F_2(p)=0, F_3(p)=0$, то визначимо залежність $X_{VIX}(p)$ от $F_1(p)$. На вході ланки $G_2(p)$ діє сума сигналів $F_1(p)+G_1(p)[0-Z(p)X_{VIX}(p)]$ які, пройшовши крізь ланки $G_2(p), G_3(p)$, дадуть на виході

$$X_{VIX}(p) = G_2(p)G_3(p)[F_1(p) - G_1(p)X_{VIX}(p)]. \quad (15)$$

Дозволивши останнє рівняння відносно $X_{вих}(p)$, будемо мати

$$X_{вих}(p) = \frac{G_2(p)G_3(p)}{1+W(p)} F_1(p), \quad (16)$$

де $W(p) = G_1(p)G_2(p)G_3(p)Z(p)$ — передатна функція розімкнутої системи.

Отриманий результат можна узагальнити у виді наступного правила: операторське зображення вихідної величини системи дорівнює дробу, чисельник якого є добуток зображення зовнішнього впливу на передатні функції ланок, включених послідовно між додатком впливу і виходом системи, а знаменник — збільшена на одиницю передатна функція розімкнутої системи.

Аналогічним шляхом одержимо вираз і для інших зовнішніх впливів:

$$X_{вих}(p) = \frac{G_{f_2}(p)G_3(p)}{1+W(p)} F_2(p), \quad (17)$$

$$X_{вих}(p) = \frac{G_{f_1}(p)G_3(p)}{1+W(p)} F_3(p); \quad (18)$$

$$X_{вих}(p) = \frac{G_1(p)G_2(p)G_3(p)}{1+W(p)} X_{вх}(p). \quad (19)$$

При одночасному впливі всіх збурень результуюче значення $X_{вих}(p)$ визначиться як сума отриманих приватних значень, що може бути записане в такий спосіб:

$$X_{вих}(p) = \frac{G_1(p)G_2(p)G_3(p)X_{вх}(p) + G_2(p)G_3(p)F_1(p)}{1+W(p)} + \frac{G_{f_2}(p)G_3(p)F_2(p) + G_{f_3}(p)F_3(p)}{1+W(p)}. \quad (20)$$

З виразу (13) можемо отримати (як приватний випадок) формули характерні для слідкуючих систем.

Таким чином, проаналізовані та досліджені ряд моделей контролю ефективності групової взаємодії операторів людино-машинних систем управління. В результаті чого, у статті запропоновано модифікований алгоритм реалізації моделі контролю групової взаємодії операторів у просторі передатних функцій. Даний алгоритм може бути використаний для відповідних схем з'єднання окремих операторів з їх технічними засобами в послідовні, паралельні, послідовно-зустрічно-паралельні, довільні ланки виконання поставлених задач.

Список літератури

1. В.И. Архангельский, И.Н. Богоенко Человечно-машинные системы автоматизации. Управление качеством, безопасностью, надежностью. К., 2000г., -296с.
2. Цыбулевский И.Е. Человек как звено следящей системы М., 1980г., -288с.
3. Сапожников Р.А., Бессонов А.А., Шоломицкий А.Г., Надежность автоматических управляющих систем М., 1964г.
4. Д.В. Васильев, В.Г. Чуич Системы автоматического управления М., 1967г., -419с.

Проанализированы и исследованы ряд моделей контроля эффективности группового взаимодействия операторов человеко-машинных систем управления в пространстве передаточных функций соответствующих схем соединения отдельных операторов с их техническими средствами

Analysed and investigational row of models of control of efficiency of group co-operation of operators of the cheloveko-mashynnykh control systems in space of transmissions functions of the proper charts of connection of separate operators with their hardwares