

**МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ДЛЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ  
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ  
ПРОЦЕСАМИ ФОРМОУТВОРЕННЯ****Д. В. Мосьпан**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: denis.mospan@gmail.com**І. Ш. Невлюдов, В. В. Невлюдова, Н. П. Демська**Харківський національний університет радіоелектроніки  
просп. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна. E-mail: igor.nevliudov@nure.ua

У даній роботі на основі відомих наукових напрямків, пов'язаних з розробкою моделей параметричного синтезу системи автоматичного управління, розроблені математичні моделі підвищення ефективності й оперативності прийнятих рішень при синтезі систем автоматичного управління за рахунок обґрунтованого вибору її елементів. Дані моделі використовуються при проектуванні штапового оснащення та прогнозування його довговічності з метою забезпечення експлуатаційної надійності й довговічності машин, агрегатів і деталей. Розроблено узагальнену модель параметричного синтезу системи автоматичного управління, окремі моделі параметричного синтезу елементів систем автоматичного управління (мікроконтролер, частотний перетворювач, вимірювальний перетворювач). Всі ці моделі, на відміну від існуючих, дозволяють з єдиних критеріальних позицій комплексно вирішити задачу системного синтезу систем автоматичного управління за багатьма критеріями. Розроблено модель оцінки і вибору програмного забезпечення для імітаційного моделювання функціонування як всього штампувального пресу, так і окремо кожного його блоку, що дасть можливість підвищити ефективність процесу моделювання шляхом створення всіх елементів, взаємозв'язків між ними і алгоритму роботи систем автоматичного управління. Сучасне приладобудування розвивається в напрямку автоматизації виробництва з широким використанням систем автоматичного управління, впровадження гнучких технологій дозволяють швидко і ефективно перебудовувати технологічні процеси на виготовлення нових виробів. Застосування систем автоматичного управління дозволяє значно підвищити продуктивність обладнання, гнучкість виробництва, скоротити чисельність робітників, а значить, знизити частку ручної праці і суттєво підвищити якість і надійність продукції, що випускається. У зв'язку з цим розробка систем управління для впровадження в існуюче неавтоматизоване обладнання, зокрема штампувальні преси, і їх застосування при проектуванні нових автоматизованих комплексів, дозволить підвищити якість продукції, що випускається і знизити економічні витрати, що є актуальним завданням.

**Ключові слова:** системи автоматичного управління, синтез, математична модель.**МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ  
ПРОЦЕССОМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ****Д. В. Мосьпан**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: denis.mospan@gmail.com**И. Ш. Невлюдов, В. В. Невлюдова, Н. П. Демская**Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
просп. Науки, 14, г. Харьков, 61166, Украина. E-mail: igor.nevliudov@nure.ua

В данной работе на основе известных научных направлений, связанных с разработкой моделей параметрического синтеза системы автоматического управления, разработаны математические модели повышения эффективности и оперативности принимаемых решений при синтезе систем автоматического управления за счет обоснованного выбора ее элементов. Данные модели используются при проектировании штаповой оснастки и прогнозирования его долговечности с целью обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности машин, агрегатов и деталей. Разработана обобщенная модель параметрического синтеза систем автоматического управления, частные модели параметрического синтеза элементов систем автоматического управления (микроконтроллер, частотный преобразователь, измерительный преобразователь). Все эти модели, в отличие от существующих, позволяют из единых критериальных позиций комплексно решить задачу системного синтеза систем автоматического управления по многим критериям. Разработана модель оценки и выбора программного обеспечения для имитационного моделирования функционирования как всего штамповочного пресса, так и отдельно каждого его блока, что позволит повысить эффективность процесса моделирования путем создания всех элементов, взаимосвязей между ними и алгоритма работы систем автоматического управления. Современное приборостроение развивается в направлении автоматизации производства с широким использованием систем автоматического управления, внедрения гибких технологий позволяющих быстро и эффективно перестраивать технологические процессы на изготовление новых изделий. Применение систем автоматического управления позволяет значительно повысить производительность оборудования, гибкость производства, сократить численность рабочих, а значит, снизить долю ручного труда и существенно повысить качество и надёжность выпускаемой продукции. В связи с этим разработка систем управления для внедрения в

существующее неавтоматизированное оборудование, в частности штамповочные прессы, и их применение при проектировании новых автоматизированных комплексов, позволит повысить качество выпускаемой продукции и снизить экономические затраты, что является актуальной задачей.

**Ключевые слова:** системы автоматического управления, синтез, математическая модель.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Холодне листове штампування (ХЛШ) дозволяє виготовляти вироби з підвищеною продуктивністю і коефіцієнтом використання металу, зі знизженими енерговитратами [1].

На поточний час межі промислового використання технології ХЛШ постійно розширюються в напрямку ускладнення геометричної форми виробів, скорочення кількості переходів штампування, знизження собівартості виробів, що збільшує конкурентоспроможність вказаної технології [2].

Оснащення технологічних процесів ХЛШ являє собою важливе завдання, особливо в сучасних умовах, коли для досягнення вищевказаних показників необхідна модернізація існуючого обладнання та систем його управління [3]. Така модернізація пов'язана із впровадженням новітніх систем автоматичного управління, що побудовані на сучасному елементному базисі. Питання аргументованого обрання та ефективного використання якого являють собою мету даної статті.

Обладнання для ХЛШ, в загальному випадку, являє собою складні, багатокомпонентні ієрархічні структури зі складними взаємозв'язками складових елементів, має велике різноманіття конструкцій, що відрізняються по конфігурації, виконуваних функціях, ступеню універсальності та типізації, що у свою чергу викликає необхідність аналізу безлічі елементів, виконання компонувальних робіт, здійснення інженерних розрахунків і ін.

Тому актуальним є розробка та створення технологій [4], математичних моделей формування виробів, проектування штампового оснащення та прогнозування його довговічності з метою забезпечення експлуатаційної надійності й довговічності машин, агрегатів і деталей [5].

У даній роботі використані відомі наукові напрямки, пов'язані з розробкою моделей параметричного синтезу системи автоматичного управління (САУ) [6, 7].

Враховуючи вищезгадане, метою даної роботи є розробка узагальненої моделі параметричного синтезу САУ та окремих моделей параметричного синтезу елементів САУ, які дозволять з єдиних критеріальних позицій комплексно вирішити задачу системного синтезу САУ за багатьма критеріями.

#### МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

*Узагальнена модель параметричного синтезу елементів САУ*

Після вибору типу і виду штампувальних пресів (ШП) визначаються вимоги і обмеження на системи автоматичного управління та її елементи. Окремі моделі оцінки та вибору САУ та її елементів відносяться до завдань параметричного синтезу.

Завдання параметричного синтезу елементів САУ полягає в наступному [8–10].

Відомо: безліч елементів САУ  $ES = \{ES^m\}$ ,  $m = 1, m'$ .

Введемо змінну  $X_{mow} = \{0; 1\}$ , де  $X_{mow} = 1$ , якщо  $m$ -й елемент САУ обраний  $o$ -го типу  $w$ -го виду,  $X_{mow} = 0$  – в іншому випадку.

Кожна САУ характеризується низкою показників: – функціональні:

1) надійність елементів САУ –  $N_{mow}$ ;

2) напрацювання на відмову елементів САУ –  $NOT_{mow}$ ;

3) статична помилка елементів САУ –  $CTE_{mow}$ ;

4) кінетична помилка елементів САУ –  $KE_{mow}$ ;

5) час регулювання елементів САУ –  $TR_{mow}$ ;

6) перерегулювання елементів САУ –  $PR_{mow}$ ;

7) амплітуда флуктуації елементів САУ –  $SF_{mow}$ ;

8) стійкість елементів САУ –  $PU_{mow}$ ;

9) обсяг елементів САУ –  $G_{mow}$ ;

10) вага елементів САУ –  $P_{mow}$ ;

11) температурний діапазон експлуатації елементів САУ –  $TRE_{mow}$ ;

12) діапазон вологості експлуатації елементів САУ –  $DVE_{mow}$ ;

– витратні:

1) вартість елементів САУ –  $C_{mow}$ ;

2) час проектування елементів САУ –  $TPR_{mow}$ ;

3) кількість споживаної енергії елементів САУ –  $PEN_{mow}$ .

Як приватні критерії для вибору САУ можуть бути:

– максимальна надійність елементів САУ:

$$N^{CAV} = \max \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} N_{mow} X_{mow}; \quad (1)$$

– максимальне напрацювання на відмову елементів САУ:

$$NOT^{CAV} = \max \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} NOT_{mow} X_{mow}; \quad (2)$$

– мінімальна статична помилка елементів САУ:

$$CTE^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} CTE_{mow} X_{mow}; \quad (3)$$

– мінімальна кінетична помилка елементів САУ:

$$KE^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} KE_{mow} X_{mow}; \quad (4)$$

– мінімальний час регулювання елементів САУ:

$$TR^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^o} TR_{mow} X_{mow}; \quad (5)$$

– мінімальне перерегулювання елементів САУ:

$$PR^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} PR_{mow} X_{mow}; \quad (6)$$

– мінімальна амплітуда флуктуації елементів САУ:

$$SF^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} SF_{mow} X_{mow}; \quad (7)$$

– максимальна стійкість елементів САУ:

$$PU^{CAV} = \max \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} PU_{mow} X_{mow}; \quad (8)$$

– мінімальний обсяг елементів САУ:

$$G^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} G_{mow} X_{mow}; \quad (9)$$

– мінімальна вага елементів САУ:

$$P^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} P_{mow} X_{mow}; \quad (10)$$

– мінімальна вартість елементів САУ:

$$C^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} C_{mow} X_{mow}; \quad (11)$$

– мінімальний час проектування елементів САУ:

$$TPR^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} TPR_{mow} X_{mow}; \quad (12)$$

– мінімальна кількість споживаної енергії елементів САУ:

$$PEN^{CAV} = \min \sum_{m=1}^3 \sum_{o=1}^{o^m} \sum_{w=1}^{w^0} PEN_{mow} X_{mow}. \quad (13)$$

Область допустимих рішень при виборі елементів САУ визначається обмеженнями:

– надійність елементів САУ повинна бути більше заданої  $N_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} N_{mow} X_{mow} \geq N_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (14)$$

– напрацювання на відмову елементів САУ повинно бути більше заданого  $NOT_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{mow} X_{mow} \geq NOT_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (15)$$

– статична помилка елементів САУ повинна бути менше заданої  $CTE_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} CTE_{mow} X_{mow} \leq CTE_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (16)$$

– кінетична помилка елементів САУ повинна бути менше заданої  $KE_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} KE_{mow} X_{mow} \leq KE_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (17)$$

– час регулювання елементів САУ має бути менше заданого  $TR_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} TR_{mow} X_{mow} \leq TR_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (18)$$

– перерегулювання елементів САУ має бути

менше заданого  $PR_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} PR_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (19)$$

– амплітуда флуктуації елементів САУ повинна бути менше заданої  $SF_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} SF_{mow} X_{mow} \leq SF_3^{CAV}; \quad m = 1, 3; \quad (20)$$

– стійкість елементів САУ повинна бути більше заданої  $PU_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} PU_{mow} X_{mow} \geq PU_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (21)$$

– параметри кожного елемента САУ ( $GX_{mov}$  – ширина,  $GY_{mov}$  – довжина,  $GZ_{mov}$  – висота) повинні бути менше заданих  $GX_3^m$ ,  $GY_3^m$ ,  $GZ_3^m$ :

$$\begin{cases} \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} GX_{mow} X_{mow} \leq GX_3^m; \\ \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} GY_{mow} X_{mow} \leq GY_3^m; \quad m = 1, 3; \\ \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} GZ_{mow} X_{mow} \leq GZ_3^m; \end{cases} \quad (22)$$

– вага елементів САУ повинна бути менше заданої  $P_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} P_{mow} X_{mow} \leq P_3^m; \quad P = 1, 3; \quad (23)$$

– температурний діапазон експлуатації елементів САУ повинен бути більше нижньої межі  $TRE_{3H}^m$  і менше верхньої межі  $TRE_{3B}^m$ :

$$TRE_{3H}^m \leq \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} TRE_{mow} X_{mow} \leq TRE_{3B}^m; \quad m = 1, 3; \quad (24)$$

– діапазон вологості експлуатації елементів САУ повинен бути більше нижньої межі  $DVE_{3H}^m$  і менше верхньої межі  $DVE_{3B}^m$ :

$$DVE_{3H}^m \leq \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} DVE_{mow} X_{mow} \leq DVE_{3B}^m; \quad m = 1, 3; \quad (25)$$

– вартість елементів САУ повинна бути менше заданої  $C_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} C_{mow} X_{mow} \leq C_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (26)$$

– час проектування елементів САУ має бути менше заданого  $TPR_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} TPR_{mow} X_{mow} \leq TPR_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (27)$$

– кількість споживаної енергії елементів САУ має бути менше заданої  $PEN_3^m$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} PEN_{mow} X_{mow} \leq PEN_3^m; \quad m = 1, 3; \quad (28)$$

– з безлічі елементів САУ може бути обраний тільки один:

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} X_{mow} = 1; m = 1, 3. \quad (29)$$

Математичні моделі (1)–(29) відносяться до завдань лінійного багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними. Їх рішення в загальному вигляді представляє значні труднощі, як через складність обчислень, так і з-за можливості ідентифікації деяких характеристик тільки в процесі функціонування. Для її спрощення проводиться її декомпозиція на завдання оцінки і вибору елементів САУ – мікроконтролера (МК), частотного перетворювача (ЧП), вимірювального перетворювача (ВП).

*Вибір типу і виду мікроконтролера*

Мікроконтролери можуть виконувати безліч типових функцій завдяки вбудованому обладнанню. Для виконання поставленої технічної задачі може знадобитися певний набір вбудованого обладнання, отже, не може оцінюватися ефективність МК, які не мають даного обладнання [11, 12].

Відомо:

– безліч типів МК  $CAU^1 = \{CAU_0^1\}, o = 1, o^1;$

– безліч видів в кожному типі МК  $CAU_0^1 = \{CAU_{0w}^1\}, w = 1, w^o.$

Отже, змінна  $X_{low} = 1$ , якщо МК обраний  $o$ -го типу  $w$ -го виду,  $X_{low} = 0$  – в іншому випадку.

Необхідно визначити тип і вид МК.

Кожен МК, характеризується низкою показників:

– функціональні:

1) надійність МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $N_{low}$ ;

2) напрацювання на відмову МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду  $NOT_{low}$ ;

3) тактова частота МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $TF_{low}$ ;

4) обсяг Flash МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $VF_{low}$ ;

5) кількість портів у МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $KVP_{low}$ ;

6) обсяг EEPROM МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $VE_{low}$ ;

7) обсяг RAM МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $VR_{low}$ ;

8) температурний діапазон роботи МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $TD_{low}$ ;

9) споживання енергії МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $PEN_{low}$ ;

– витратні:

1) вартість МК  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $PEN_{low}$ .

Як приватні критерії для вибору МК можуть бути:

– максимальна надійність МК:

$$N^{MK} = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} N_{low} X_{low}; \quad (30)$$

– максимальне напрацювання на відмову МК:

$$NOT^{MK} = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{low} X_{low}; \quad (31)$$

– максимальна тактова частота МК:

$$TF = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} TF_{low} X_{low}; \quad (32)$$

– максимальний обсяг Flash МК:

$$VF^{MK} = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} VF_{low} X_{low}; \quad (33)$$

– максимальна кількість портів у МК:

$$KVP^{MK} = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} KVP_{low} X_{low}; \quad (34)$$

– максимальний обсяг EEPROM МК:

$$VE^{MK} = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} VE_{low} X_{low}; \quad (35)$$

– максимальний обсяг RAM МК:

$$VR^{MK} = \max \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} VR_{low} X_{low}; \quad (36)$$

– мінімальне споживання енергії МК:

$$PEN^{MK} = \min \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} PEN_{low} X_{low}; \quad (37)$$

– мінімальна вартість МК:

$$PEN^{MK} = \min \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} PEN_{low} X_{low}. \quad (38)$$

Область допустимих рішень при виборі типу і виду МК визначається обмеженнями:

– надійність МК повинна бути більше заданої  $N_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} N_{low} X_{low} \geq N_3^{MK}; \quad (39)$$

– напрацювання на відмову МК повинне бути більше заданого  $NOT_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{low} X_{low} \geq NOT_3^{MK}; \quad (40)$$

– тактова частота МК повинна бути більше заданої  $TF_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} TF_{low} X_{low} \geq TF_3^{MK}; \quad (41)$$

– обсяг Flash МК повинен бути більше заданого  $VF_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} C_{low} X_{low} \leq C_3^{MK}; \quad (42)$$

– кількість портів у МК має бути більше заданого  $KVP_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} KVP_{low} X_{low} \geq KVP_3^{MK}; \quad (43)$$

– обсяг EEPROM МК повинен бути більше заданого  $VE_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} VE_{low} X_{low} \geq VE_3^{MK}; \quad (44)$$

– обсяг RAM МК повинен бути більше заданого  $VR_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} VR_{1ow} X_{1ow} \geq VR_3^{MK}; \quad (45)$$

– температурний діапазон роботи МК повинен бути більше нижньої межі  $TD_{3H}^{MK}$  і менше верхньої межі  $TD_{3B}^{MK}$ :

$$TD_{3H}^{MK} \leq \sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} TD_{1ow} X_{1ow} \leq TD_{3B}^{MK}; \quad (46)$$

– споживання енергії МК має бути менше заданого  $PEN_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} PEN_{1ow} X_{1ow} \leq PEN_3^{MK}; \quad (47)$$

– вартість МК повинна бути менше заданої  $C_3^{MK}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} C_{1ow} X_{1ow} \leq C_3^{MK}; \quad (48)$$

– з безлічі типів і видів МК може бути обраний тільки один:

$$\sum_{o=1}^{o^1} \sum_{w=1}^{w^0} X_{1ow} = 1. \quad (49)$$

Математична модель (30)–(49) відноситься до завдань лінійного багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

*Вибір типу і виду частотного перетворювача*

Відомо:

– безліч типів ЧП  $CAU^2 = \{CAU^2_o\}$ ,  $o = 1, o^2$ ;

– безліч видів в кожному типі ЧП  $CAU^2_o = \{CAU^2_{ow}\}$ ,  $w = 1, w^o$ .

Отже, змінна  $X_{2ow} = 1$ , якщо ЧП обраний  $o$ -го типу  $w$ -го виду,  $X_{2ow} = 0$  – в іншому випадку.

Необхідно визначити тип і вид ЧП.

Кожен ЧП характеризується низкою показників:

– функціональні:

1) надійність ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $N_{2ow}$ ;

2) напрацювання на відмову ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $NOT_{2ow}$ ;

3) потужність ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $DW_{2ow}$ ;

4) частота вихідної напруги ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $FU_{2ow}$ ;

5) ступінь захисту ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $SZ_{2ow}$ ;

6) температурний діапазон роботи ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $KU_{2ow}$ ;

7) кількість вбудованих регуляторів в ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $KU_{2ow}$ ;

8) обсяг ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $G_{2ow}$ ;

9) вага ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $P_{2ow}$ ;

– витратні:

1) вартість ЧП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $C_{2ow}$ .

Як приватні критерії для вибору ЧП можуть бути:

– максимальна надійність ЧП:

$$N^{CHP} = \max \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} N_{2ow} X_{2ow}; \quad (50)$$

– максимальне напрацювання на відмову ЧП:

$$NOT^{CHP} = \max \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{2ow} X_{2ow}; \quad (51)$$

– максимальна потужність ЧП:

$$DW^{CHP} = \max \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} DW_{2ow} X_{2ow}; \quad (52)$$

– максимальна частота вихідної напруги ЧП:

$$FU^{CHP} = \max \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} FU_{2ow} X_{2ow}; \quad (53)$$

– максимальний ступінь захисту ЧП:

$$SZ^{CHP} = \max \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} SZ_{2ow} X_{2ow}; \quad (54)$$

– максимальна кількість вбудованих регуляторів ЧП:

$$KU^{CHP} = \max \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} KU_{2ow} X_{2ow}; \quad (55)$$

– мінімальний обсяг ЧП:

$$G^{CHP} = \min \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} G_{2ow} X_{2ow}; \quad (56)$$

– мінімальна вага ЧП:

$$P^{CHP} = \min \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} P_{2ow} X_{2ow}; \quad (57)$$

– мінімальна вартість ЧП:

$$C^{CHP} = \min \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} C_{2ow} X_{2ow}. \quad (58)$$

Область допустимих рішень при виборі типу і виду ЧП визначається обмеженнями:

– надійність ЧП повинна бути більше заданої  $\forall U_{al} = 1$ :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} N_{2ow} X_{2ow} \geq N_3^{CHP}; \quad (59)$$

– напрацювання на відмову ЧП повинно бути більше заданого  $NOT_3^{CHP}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{2ow} X_{2ow} \geq NOT_3^{CHP}; \quad (60)$$

– потужність ЧП повинна бути більше заданої  $DW_3^{CHP}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} DW_{2ow} X_{2ow} \geq DW_3^{CHP}; \quad (61)$$

– частота вихідної напруги ЧП повинна бути більше заданої  $FU_3^{CHP}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} FU_{2ow} X_{2ow} \geq FU_3^{CHP}; \quad (62)$$

– ступінь захисту ЧП повинно бути більше заданого  $SZ_3^{CHP}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} SZ_{2ow} X_{2ow} \geq SZ_3^{CHP}; \quad (63)$$

– температурний діапазон роботи ЧП повинен бути більше нижньої межі  $TD_{3H}^{CHP}$  і менше верхньої

межі  $TD_{3B}^{ЧП}$  :

$$TD_{3H}^{ЧП} \leq \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} TD_{2ow} X_{2ow} \leq TD_{3B}^{ЧП}; \quad (64)$$

– кількість вбудованих регуляторів в ЧП повинно бути більше заданого  $KU_3^{ЧП}$  :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} KU_{2ow} X_{2ow} \geq KU_3^{ЧП}; \quad (65)$$

– параметри ЧП ( $GX_{2ow}$  – ширина,  $GY_{2ow}$  – довжина,  $GZ_{2ow}$  – висота) повинні бути менше заданих  $GX_3^{ЧП}$ ,  $GY_3^{ЧП}$ ,  $GZ_3^{ЧП}$  :

$$\begin{cases} \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} GX_{2ow} X_{2ow} \leq GX_3^{ЧП}; \\ \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} GY_{2ow} X_{2ow} \leq GY_3^{ЧП}; \\ \sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} GZ_{2ow} X_{2ow} \leq GZ_3^{ЧП}; \end{cases} \quad (66)$$

– вага ЧП повинна бути менше заданої  $P_3^{ЧП}$  :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} P_{2ow} X_{2ow} \leq P_3^{ЧП}; \quad (67)$$

– вартість ЧП повинна бути менше заданої  $C_3^{ЧП}$  :

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} C_{2ow} X_{2ow} \leq C_3^{ЧП}; \quad (68)$$

– з безлічі типів і видів ЧП може бути обраний тільки один:

$$\sum_{o=1}^{o^2} \sum_{w=1}^{w^0} X_{2ow} = 1. \quad (69)$$

Математична модель (50)–(69) відноситься до завдань лінійного багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

*Вибір типу і виду вимірювальних перетворювачів*

Відомо:

– безліч типів ВП  $CAV^3 = \{CAV_o^3\}$ ,  $o = 1, o^3$ ;

– безліч видів в кожному типі ВП  $CAV_o^3 = \{CAV_{ow}^3\}$ ,  $w = 1, w^0$ .

Отже, змінна  $X_{3ow} = 1$ , якщо ВП обраний  $o$ -го типу  $w$ -го виду,  $X_{3ow} = 0$  – в іншому випадку.

Необхідно визначити тип і вид ВП.

Кожен ВП характеризується низкою показників:

– функціональні:

1) надійність ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $N_{3ow}$ ;

2) напрацювання на відмову ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $NOT_{3ow}$ ;

3) діапазон виміру ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $DI_{3ow}$ ;

4) динамічна точність ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $DQ_{3ow}$ ;

5) статична точність ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $SQ_{3ow}$ ;

6) коефіцієнт перетворення ВП  $o$ -го типу  $w$ -го

виду –  $KPR_{3ow}$ ;

7) потужність вихідного сигналу ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $WS_{3ow}$ ;

8) стійкість ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $PU_{3ow}$ ;

9) обсяг ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $G_{3ow}$ ;

10) вага ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $P_{3ow}$ ;

– витратні:

1) вартість ВП  $o$ -го типу  $w$ -го виду –  $C_{3ow}$ .

Як приватні критерії для вибору ВП можуть бути:

– максимальна надійність ВП:

$$N^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} N_{3ow} X_{3ow}; \quad (70)$$

– максимальне напрацювання на відмову ВП:

$$NOT^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{3ow} X_{3ow}; \quad (71)$$

– максимальний діапазон виміру ВП:

$$DI^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} DI_{3ow} X_{3ow}; \quad (72)$$

– максимальна динамічна точність ВП:

$$DQ^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} DQ_{3ow} X_{3ow}; \quad (73)$$

– максимальна статична точність ВП:

$$SQ^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} SQ_{3ow} X_{3ow}; \quad (74)$$

– максимальний коефіцієнт перетворення ВП:

$$KPR^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} KPR_{3ow} X_{3ow}; \quad (75)$$

– максимальна потужність вихідного сигналу ВП:

$$WS^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} WS_{3ow} X_{3ow}; \quad (76)$$

– максимальна стійкість ВП:

$$PU^{ВП} = \max \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} PU_{3ow} X_{3ow}; \quad (77)$$

– мінімальний обсяг ВП:

$$G^{ВП} = \min \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} G_{3ow} X_{3ow}; \quad (78)$$

– мінімальна вага ВП:

$$P^{ВП} = \min \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} P_{3ow} X_{3ow}; \quad (79)$$

– мінімальна вартість ВП:

$$C^{ВП} = \min \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} C_{3ow} X_{3ow}. \quad (80)$$

Область допустимих рішень при виборі типу і виду ВП визначається обмеженнями:

– надійність ВП повинна бути більше заданої  $N_3^{ВП}$  :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} N_{3ow} X_{3ow} \geq N_3^{ВП}; \quad (81)$$

– напрацювання на відмову ВП повинно бути більше заданого  $NOT_3^{ВП}$  :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} NOT_{3ow} X_{3ow} \geq NOT_3^{BII}; \quad (82)$$

– діапазон виміру ВП повинен бути більше нижньої межі  $DI_{3H}^{BII}$  і менше верхньої межі  $DI_{3B}^{BII}$ :

$$DI_{3H}^{BII} \leq \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} DI_{3ow} X_{3ow} \leq DI_{3B}^{BII}; \quad (83)$$

– динамічна точність ВП повинна бути більше заданої  $DQ_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} DQ_{3ow} X_{3ow} \geq DQ_3^{BII}; \quad (84)$$

– статична точність ВП повинна бути більше заданої  $SQ_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} SQ_{3ow} X_{3ow} \geq SQ_3^{BII}; \quad (85)$$

– коефіцієнт перетворення ВП повинен бути більше заданого  $KPR_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} KPR_{3ow} X_{3ow} \geq KPR_3^{BII}; \quad (86)$$

– потужність вихідного сигналу ВП повинна бути більше заданої  $WS_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} WS_{3ow} X_{3ow} \geq WS_3^{BII}; \quad (87)$$

– стійкість ВП повинна бути більше заданої  $PU_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} PU_{3ow} X_{3ow} \geq PU_3^{BII}. \quad (88)$$

Параметри ВП ( $GX_{3ow}$  – ширина,  $CY_{3ow}$  – довжина,  $GZ_{3ow}$  – висота) повинні бути менше заданих  $GX_3^{BII}$ ,  $GY_3^{BII}$ ,  $GZ_3^{BII}$ :

$$\begin{cases} \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} GX_{3ow} X_{3ow} \leq GX_3^{BII}; \\ \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} GY_{3ow} X_{3ow} \leq GY_3^{BII}; \\ \sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} CZ_{3ow} X_{3ow} \leq GZ_3^{BII}; \end{cases} \quad (89)$$

– вага ВП повинна бути менше заданої  $P_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} P_{3ow} X_{3ow} \leq P_3^{BII}; \quad (90)$$

– вартість ВП повинна бути менше заданої  $C_3^{BII}$ :

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} C_{3ow} X_{3ow} \leq C_3^{BII}; \quad (91)$$

– з безлічі типів і видів ВП може бути обраний тільки один:

$$\sum_{o=1}^{o^3} \sum_{w=1}^{w^0} X_{3ow} = 1. \quad (92)$$

Математична модель (70)–(92) відноситься до

завдань лінійного багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

Блок сполучення (БС) вибирається в залежності від типів і видів обраних блоків ШП і елементів САУ. Модель вибору типу і виду БС аналогічна для розглянутих вище елементів САУ.

*Модель вибору типів і видів зв'язків між блоками ШП і елементами САУ*

Всі блоки ШП і елементи САУ інформаційно пов'язані один з одним і ці зв'язки відображені в матрицях інцидентності, які являють собою квадратні матриці розмірністю  $v' + m'$  заповнені одиницями або нулями, одиниця встановлюється, якщо є зв'язок між обраними компонентами ШП, нуль – в іншому випадку.

Для параметричного синтезу зв'язків між блоками ШП і елементами САУ був введений параметр  $U_{al} = \{0, 1\}$ .

Для синтезу цих зв'язків відомо:

– безліч типів зв'язків  $ST = \{ST^s\}$ ,  $s = 1, s'$ ;

– безліч видів зв'язків в кожному типі  $ST^s = \{ST^s_y\}$ ,  $y = 1, y^s$ .

Введемо змінну  $X_{alsy} = \{0, 1\}$ , де  $X_{alsy} = 1$ , якщо обрана лінія зв'язку  $s$ -го типу  $a$ -м-го виду між і 1-м блоками і елементами ШП САУ,  $X_{alsy} = 0$  – в іншому випадку.

Необхідно визначити тип і вид зв'язків між блоками ШП і елементами САУ за обраними критеріями і обмеженням.

Кожен тип і вид зв'язків характеризується низкою показників.

– функціональні:

1) надійність зв'язку –  $N_{alsy}$ ;

2) напрацювання на відмову зв'язку –  $NOT_{alsy}$ ;

3) перешкодозахищеність зв'язку –  $PZ_{alsy}$ ;

4) швидкість передачі даних –  $VD_{alsy}$ ;

– витратні:

1) вартість зв'язку –  $C_{alsy}$ .

Параметричний синтез зв'язку між блоками і елементами ШП САУ можна оцінити за такими критеріями:

– максимальна надійність зв'язку:

$$F^C(X_{alsy}) = \max \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} N_{alsy} U_{al} X_{alsy}; \quad (93)$$

$$a \neq l; \forall U_{al} = 1;$$

– максимальне напрацювання на відмову зв'язку:

$$F^C(X_{alsy}) = \max \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} NOT_{alsy} U_{al} X_{alsy}; \quad (94)$$

$$a \neq l; \forall U_{al} = 1;$$

– максимальна перешкодозахищеність зв'язку:

$$F^C(X_{alsy}) = \max \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y^s} PZ_{alsy} U_{al} X_{alsy}; \quad (95)$$

$$a \neq l; \forall U_{al} = 1;$$

– максимальна швидкість передачі даних:

$$F^C(X_{alsy}) = \max \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} VD_{alsy} U_{al} X_{alsy}; \quad (96)$$

$a \neq l; \forall U_{al} = 1;$

– мінімальна вартість:

$$F^C(X_{alsy}) = \min \sum_{a=1}^{v'+m'} \sum_{l=1}^{v'+m'} \sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} C_{alsy} U_{al} X_{alsy}; \quad (97)$$

$a \neq l; \forall U_{al} = 1.$

Область допустимих рішень при виборі типу і виду зв'язку визначається обмеженнями:

– надійність кожного зв'язку повинна бути більше заданої  $N_3^{al}$ :

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} N_{alsy} U_{al} \overline{\overline{X}}_{alsy} \geq N_3^{al};$$

$a, l = \overline{1, v' + m'}; a \neq l; \forall U_{al} = 1; \quad (98)$

– напрацювання на відмову кожного зв'язку повинно бути більше заданого  $NOT_3^{al}$ :

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} NOT_{alsy} U_{al} \overline{\overline{X}}_{alsy} \geq NOT_3^{al};$$

$a, l = \overline{1, v' + m'}; a \neq l; \forall U_{al} = 1; \quad (99)$

– перешкодозахищеність кожного зв'язку повинна бути більше заданої  $PZ_3^{al}$ :

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} PZ_{alsy} U_{al} \overline{\overline{X}}_{alsy} \geq PZ_3^{al};$$

$a, l = \overline{1, v' + m'}; a \neq l; \forall U_{al} = 1; \quad (100)$

– швидкість передачі даних кожного зв'язку повинна бути більше заданої  $VD_3^{al}$ :

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} VD_{alsy} U_{al} \overline{\overline{X}}_{alsy} \geq VD_3^{al};$$

$a, l = \overline{1, v' + m'}; a \neq l; \forall U_{al} = 1; \quad (101)$

– вартість кожного зв'язку повинна бути менше заданої  $C_3^{al}$ :

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} C_{alsy} U_{al} \overline{\overline{X}}_{alsy} \geq C_3^{al};$$

$a, l = \overline{1, v' + m'}; a \neq l; \forall U_{al} = 1; \quad (102)$

– з безлічі типів і видів кожного зв'язку може бути обраний тільки один:

$$\sum_{s=1}^{s'} \sum_{y=1}^{y'} \overline{\overline{X}}_{alsy} = 1; a, l = \overline{1, v' + m'}; a \neq l. \quad (103)$$

Математична модель (93)–(103) відноситься до завдань лінійного багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

*Модель вибору програмного засобу для імітаційного моделювання ШП*

Для оцінки ефективності обраного набору блоків ШП і елементів САУ необхідно провести імітаційне моделювання їх функціонування. Це можливо зробити за допомогою спеціалізованого програмного засобу (ПЗ). На даний час відома велика кількість ПЗ,

які забезпечують чисельні способи і методи моделювання одного і того ж процесу або об'єкта, що дозволяє моделювати складні системи. Для кожного способу передбачені свої набори бібліотечних елементів. Тому завдання полягає в тому, щоб вибрати такі ПЗ, які забезпечать розв'язання зазначеного завдання та нададуть, після процесу моделювання, пакет інформації в зручному вигляді для подальшого аналізу ефективності ШП. При реалізації цих функцій повинні забезпечувати мінімальні витрати часу та фінансів.

Відомо безліч ПЗ моделювання  $M = \{M_t\}$ ,  $t = \overline{1, t'}$ , де  $t'$  – число ПЗ моделювання, кожен з яких забезпечує можливість побудови імітаційної моделі функціонування синтезованої ШП і її САУ.

Введемо змінну  $\widehat{X}_t = \{0, 1\}$ , де  $\widehat{X}_t = 1$ , якщо вибрано  $t$ -ий програмний засіб моделювання,  $\widehat{X}_t = 0$  – в іншому випадку.

Кожна імітаційна модель, що синтезується ПЗ моделювання, характеризується низкою показників:

– функціональні:

1) адекватність імітаційної моделі –  $A_t^{ПЗ}$ ;

2) кількість параметрів ШП, що відображаються імітаційною моделлю –  $I_t^{ПЗ}$ ;

3) кількість елементів імітаційної моделі, які можна редагувати –  $UR_t^{ПЗ}$ ;

4) машинний час, необхідний для роботи імітаційної моделі –  $TM_t^{ПЗ}$ ;

– витратні:

1) вартість ПЗ –  $C_t^{ПЗ}$ ;

2) час синтезу імітаційної моделі –  $TSM_t^{ПЗ}$ .

Вибір ПЗ моделювання ШП має проводитись за наступними критеріями:

– максимальна адекватність імітаційної моделі:

$$A^{ПЗ} = \max \sum_{t=1}^{t'} A_t^{ПЗ} \widehat{X}_t; \quad (104)$$

– максимальна кількість параметрів ШП, що відображаються імітаційною моделлю:

$$I^{ПЗ} = \max \sum_{t=1}^{t'} I_t^{ПЗ} \widehat{X}_t; \quad (105)$$

– максимальна кількість елементів імітаційної моделі, які можна редагувати:

$$UR^{ПЗ} = \max \sum_{t=1}^{t'} UR_t^{ПЗ} \widehat{X}_t; \quad (106)$$

– мінімальний машинний час, необхідний для роботи імітаційної моделі:

$$TM^{ПЗ} = \max \sum_{t=1}^{t'} TM_t^{ПЗ} \widehat{X}_t; \quad (107)$$

– мінімальна вартість ПЗ:

$$C^{ПЗ} = \max \sum_{t=1}^{t'} C_t^{ПЗ} \widehat{X}_t; \quad (108)$$

– мінімальний час синтезу імітаційної моделі:

$$TSM^{ПЗ} = \max \sum_{t=1}^{t'} TSM_t^{ПЗ} \widehat{X}_t. \quad (109)$$

Область допустимих рішень при виборі ПЗ визначається обмеженнями:

– адекватність імітаційної моделі повинна бути більше заданої  $A_3^{ПЗ}$  :

$$\sum_{t=1}^{t'} A_t^{ПЗ} \widehat{X}_t \geq A_3^{ПЗ}; \quad (110)$$

– кількість параметрів ШП, що відображаються імітаційною моделлю має бути більше заданих  $I_3^{ПЗ}$  :

$$\sum_{t=1}^{t'} I_t^{ПЗ} \widehat{X}_t \geq I_3^{ПЗ}; \quad (111)$$

– кількість елементів імітаційної моделі, які можна редагувати, має бути більше заданого  $UR_3^{ПЗ}$  :

$$\sum_{t=1}^{t'} UR_t^{ПЗ} \widehat{X}_t \geq UR_3^{ПЗ}; \quad (112)$$

– машинний час, необхідний для роботи імітаційної моделі, має бути менше заданого  $TM_3^{ПЗ}$  :

$$\sum_{t=1}^{t'} TM_t^{ПЗ} \widehat{X}_t \geq TM_3^{ПЗ}; \quad (113)$$

– вартість ПЗ повинна бути менше заданої  $C_3^{ПЗ}$  :

$$\sum_{t=1}^{t'} C_t^{ПЗ} \widehat{X}_t \geq C_3^{ПЗ}; \quad (114)$$

– час синтезу імітаційної моделі має бути менше заданого  $TSM_3^{ПЗ}$  :

$$\sum_{t=1}^{t'} TSM_t^{ПЗ} \widehat{X}_t \geq TSM_3^{ПЗ}; \quad (115)$$

– з безлічі ПЗ може бути вибрано тільки одне:

$$\sum_{t=1}^{t'} \widehat{X}_t = 1. \quad (116)$$

Наведена математична модель (104)–(116) відноситься до завдань лінійного багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

**ВИСНОВКИ.** В роботі розроблено узагальнену модель параметричного синтезу САУ [6] та окремі моделі параметричного синтезу елементів САУ. Ці моделі дозволяють з єдиних критеріальних позицій комплексно вирішити задачу системного синтезу САУ за багатьма критеріями.

Розроблено модель оцінки і вибору типів і видів зв'язків між блоками ШП і елементами САУ. Ця модель, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити за багатьма критеріями всі типи і види зв'язків, що містяться в ШП і вибрати ефективну.

Дані моделі використовуються при проектуванні та модернізації систем управління штампового

оснащення та прогнозування його довговічності з метою забезпечення експлуатаційної надійності й довговічності машин, агрегатів і деталей.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Клещов Г. М. Інформаційні конструкторські масиви штампів холодної листової штамповки. *Вісник Інженерної академії України*. 2010. №3–4. С. 74–77.

2. Каложний В. Л. Холодне штампування виробу з двома фланцями із листової заготовки шляхом використання операцій витягування, роздачі і осаджування. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво*. 2013. № 2. С. 105–110.

3. Шамарін Ю. Є., Тітов В. А., Носар Є. А. Напрямки модернізації штамувального обладнання. *Journal of Mechanical Engineering NTUU Kyiv Polytechnic Institute*. 2011. № 62. С. 92–94.

4. Каложний В. Л. Створення інформаційних технологій реалізації інтенсивного пластичного деформування матеріалів та поверхневого зміцнення при виготовленні деталей для забезпечення надійності та довговічності штампів. *НТУУ «КПІ»*. 2010.

5. Мосьпан Д. В., Наумова Е. А., Воронин А. В., Драгобецкий В. В. Корректировка режимов упрочнения пластическим деформированием. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии*. Харьков : НТУ "ХПИ". 2014. № 43 (1086). С. 117–122.

6. Невлюдов І. Ш., Токарева О. В. Автоматичне управління технологічними об'єктами: Підручник. Київ : НАУ, 2018. 200 с.

7. Нефедов Л. И., Осьмачко А. А. Обобщенная модель системного синтеза автоматической трансмиссии. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009. № 6/4 (42). С. 10–14.

8. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Пер. с англ. Б. И. Копылова. М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 832 с.

9. Джон Парк, Стив Маккей. Сбор данных в системах контроля и управления. М. : Группа ИДТ, 2006. 504 с.

10. Гульков Г. И. Петренко Ю. Н., Раткевич Е. П., Симоненков О. Л. Системы автоматизированного управления электроприводами. М. : Новое знание, 2007. 400 с.

11. Парр Э. Программируемые контроллеры. Руководство для инженера. Programmable Controllers: An Engineer's Guide. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2007. 520 с.

12. Трапперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров. Messen, Steuern und Regeln mit AVR-Mikrocontroller. М. : МК-Пресс, 2006. 208 с.

## PARAMETRIC SYNTHESIS MODEL FOR ELEMENT BASE IN DESIGN OF CONTROL SYSTEMS FOR FORMATION TECHNOLOGICAL PROCESS

**D. Mospan**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: denis.mospan@gmail.com

**I. Nevliudov, V. Nevliudova, N. Demska**

Kharkiv National University of Radio Electronics  
prosp. Nauky, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: E-mail: igor.nevliudov@nure.ua

**Purpose.** Development of a generalized model for the parametric synthesis of ACS, particular models for the parametric synthesis of ACS elements. Development of a model for evaluating and selecting software for simulation of the functioning of both the entire chat and each of its blocks separately, which will improve the efficiency of the modeling process by creating all the chat elements of the relationships between them and the ACS algorithm. **Methodology.** The mathematical models calculated are related to the problems of linear multicriteria discrete programming with Boolean variables. Their solution in general form presents considerable difficulties, both because of the complexity of the calculations and because of the possibility of identifying some characteristics only in the process of operation. To simplify it, it is decomposed into the task of evaluation and selection of elements. **Results.** A generalized model of parametric synthesis of ACS and separate models of parametric synthesis of ACS elements are developed. These models make it possible, from a single criterion point, to comprehensively solve the problem of system synthesis of the ACS by many criteria. A model for estimating and selecting types and types of relationships between process equipment units and ACS elements has been developed. This model, unlike the existing ones, allows you to evaluate by many criteria all types and types of connections contained in technological equipment and to choose the most effective. **Originality.** All developed models, unlike existing ones, allow complexly solving the problem of system synthesis of self-propelled guns using many criteria from a single criteria position. **Practical value.** These models are used in the design and modernization of control systems for stamping equipment and the prediction of its durability in order to ensure the operational reliability and durability of machines, units and parts. References 12.

**Key words:** automatic control systems, synthesis, mathematical model.

## REFERENCES

1. Kleshchov, H. M. (2010). Informatsiini konstruktorski masvyv shtampiv kholodnoi lystovoi shtampovky. *Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy*, 3-4, 74–77. [in Ukrainian]
2. Kaliuzhnyi, O. V. (2013). Kholodne shtampuvannia vyrobu z dvoma flantsiamy iz lystovoi zahotovky shliakhom vykorystannia operatsii vytyahuvannia, rozdachi i osadzhuвання. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, 2, 105–110. [in Ukrainian]
3. ShamarIn, Yu. E., TItov, V. A., & Nosar, E. A. (2011). Napryamki modernizatsiyi shtamuvannogo obladnannya. *Journal of Mechanical Engineering NTUU Kyiv Polytechnic Institute*, 62, 92–94. [in Ukrainian]
4. Kaliuzhnyi, V. L. (2010). Stvorennia informatsiinykh tekhnolohii realizatsii intensyvnoho plastychnoho deformuvannia materialiv ta poverkhnevoho zmitsnennia pry vyhotovlenni detalei dlia zabezpechennia nadiinosti ta dovhovichnosti shtampiv. *NTUU «KPI»*. [in Ukrainian]
5. Naumova, E. A., Mospan, D. V., Voronyn, A. V., & Drahobetskyi, V. V. (2014). Korrektyrovka rezhymov uprochnnyia plastycheskym deformyrovanyem. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI" : sb. nauch. tr. Temat. vyp. : Innovatsionnye tekhnologii i oborudovanie obrabotki materialov v mashinostroenii i metallurgii*. Kharkov: NTU "KhPY", 43 (1086), 117–122. [in Russian]
6. Nevliudov, I. Sh. (2018). *Avtomatychne upravlinnia tekhnolohichnyimi ob'ektami [Automatic management of technological objects: A tutorial]*. Kyiv: NAU. [in Ukrainian]
7. Nefyodov, L. I., & Osmachko, A. A. (2009). Obobschennaya model sistemnogo sinteza avtomaticheskoy transmissii. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, 6 (4), 10–14. [in Russian]
8. Dorf, R., & Bishop, R. (2004). *Sovremennye sistemy upravleniya [Modern management systems]*. Moscow: Lab. bazovykh znaniy. [in Russian]
9. Park, D., & Makkey, S. (2006). *Sbor dannykh v sistemakh kontrolya i upravleniya [Data collection in control and management systems]*. Moscow: OOO Gruppya IDT. [in Russian]
10. Gulkov, G. I., Petrenko, Yu. N., Ratkevich, E. P., & Simonenkova, O. L. (2004). *Sistemy avtomatizirovannogo upravleniya elektroprivodami [Automated control systems for electric drives]*. Moscow: Novoe izdanie. [in Russian]
11. Parr, E. (2007). *Programmiruemye kontrollery. Rukovodstvo dlya inzhenera [Programmable Controllers. Engineer's Guide]*. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy. [in Russian]
12. Trampert, V. (2006). Izmerenie, upravlenie i regulirovanie s pomoschy AVR-mikrokontrollerov [Measure, control and regulate with AVR microcontrollers]. Kyiv: MK-Press. [in Russian]

Стаття надійшла 13.11.2019.